

UNIVERSITE DE YAOUNDE I

FACULTE DES SCIENCES

CENTRE DE RECHERCHE ET DE
FORMATION DOCTORALE EN
SCIENCES DE LA VIE, SANTE ET
ENVIRONNEMENT

UNITE DE RECHERCHE ET DE
FORMATION DOCTORALE EN
SCIENCES DE LA VIE

DEPARTEMENT DE BIOCHIMIE



UNIVERSITY OF YAOUNDE I

FACULTY OF SCIENCES

CENTER FOR RESEARCH AND
TRAINING IN GRADUATE STUDIES IN
LIFE-HEALTH AND
ENVIRONMENTAL SCIENCE

RESEARCH AND DOCTORATE
TRAINING UNIT IN LIFE
SCIENCE

DEPARTMENT OF BIOCHEMISTRY

LABORATOIRE DE PHYTOBIOCHIMIE ET D'ETUDES DES PLANTES MEDICINALES

LABORATORY OF PHYTOBIOCHEMISTRY AND MEDICINAL PLANT STUDIES

UNITE DES AGENTS ANTIMICROBIENS ET DE BIOCONTROLE

ANTIMICROBIAL AND BIOCONTROL AGENTS UNIT

Effets protecteurs de l'huile essentielle de *Cymbopogon citratus* (citronnelle) sur le poisson fumé (*Clarias gariepinus*) en stockage contre deux insectes ravageurs

Mémoire présenté comme requis partiel en vue de l'obtention du diplôme
de Master en Biochimie

Spécialité : **Biotechnologie et Développement (BTD)**

Par :

MEMADJI-LO ALLAH Gerald

Matricule : 22W2265

(Licenciés-Sciences)

Sous la Co-Direction de

FEKAM BOYOM Fabrice

Professeur

Université de Yaoundé I

FOKOM Raymond

Maître de Conférences

Université de Douala



2023-2024

Table des matières

DEDICACE.....	v
REMERCIEMENTS.....	vii
LISTE DES ABREVIATIONS ET ACRONYMES	viii
LISTE DES FIGURES.....	viii
LISTE DES TABLEAUX	ix
LISTE DES PHOTOGRAPHIES.....	x
LISTE DES ANNEXES	xi
RESUME.....	xiii
ABSTRACT	Erreur ! Signet non défini.i
INTRODUCTION.....	2
CHAPITRE 1 : REVUE DE LA LITTERATURE	5
I.1. Généralité sur les poissons	5
I.1.1 Méthodes de conservation.....	6
I.1.2. Le fumage	6
I.1.2.1. Poisson fumé dans l'alimentation humaine	6
I.1.2.2. Importance socioéconomique du poisson fumé dans le monde.....	7
I.1.2.3. Problèmes liés à la conservation du poisson fumé.....	7
I.2. Les insectes ravageurs des poissons fumés	7
I.2.1. Généralité sur les Dermestidae	8
I.2.1.1 Biologie des Dermestidae	8
I.2.1.2. Mode de vie et reproduction des Dermestes	10
I.2.1.3. Ecologie	10
I.2.1.4. Dommages causés aux poissons fumés	11
I.2.2. Généralité sur les cleridae	12
I.2.2.1. Cycle biologique	12
I.2.2.2. Ecologie des <i>N. rufipes</i>	13

I.2.2.3. Dommages causés aux poissons fumés.....	13
I.2.3. Lutte chimique contre les ravageurs du poisson fumé.....	14
I.2.4. Limites de l'utilisation des produits chimiques	14
I.2.4.1. La toxicité des composés organophosphorés.....	15
I.2.4.2. Mode d'action des organophosphorés.....	15
I.3. Généralité sur Cymbopogon citratus.....	15
I.3.1. La botanique de Cymbopogon citratus	16
I.4. Les huiles essentielles.....	18
I.4.1. Caractéristiques physico-chimiques des huiles essentielles	19
I.4.2. Méthodes d'extraction des huiles essentielles	19
I.4.2.1. Hydrodistillation	20
I.4.3. Utilisation des huiles essentielles dans la lutte contre les ravageurs des stocks	20
I.4.4. Les huiles essentielles de Cymbopogon citratus.....	20
I.4.4.1. Utilisation de l'huile essentielle de Cymbopogon citratus dans la protection des denrées stockées contre les insectes ravageurs	20
I.4.5. Les impacts environnementaux sur les métabolismes secondaires des plantes.....	21
CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES	23
II.1. Matériels.....	23
II.1.1. Matériel végétal	23
II.1.2. Matériel animal.....	23
II.2. METHODES.....	24
II.2.1. Elevage des <i>D. maculatus</i> et <i>N. rufipes</i>	24
II.2.2. Test de résistance de <i>D. maculatus</i> et <i>N. rufipes</i>	24
II.2.3. Préparation des solutions des huiles essentielles.....	25
II.2.4. Dispositifs expérimentaux du bio-essai in vitro et in vivo	25
II.2.5. Effets larvicides des huiles essentielles de la citronnelle sur les larves de <i>D. maculatus</i> et <i>N. rufipes</i> par contact sur papiers filtres	25
II.2.6. Effet insectifuge des huiles essentielles de la citronnelle.....	26

II.2.7. Effets insecticides des huiles essentielles de la citronnelle par fumigation en absence et présence du poisson fumé	28
II.2.8. Test in vivo des effets protecteurs des huiles essentielles de la citronnelle sur le poisson fumé contre les adultes de <i>N. rufipes</i> et <i>D. maculatus</i>	29
II.2.8.1. Evaluation de l'émergence des larves	30
II.2.9. Suivi sensoriel cinétique du poisson fumé au cours de 42 jours de stockage	30
II.2.10. Appréciation de la mortalité des insectes	30
II.2.11. Variables mesurées et calculées	30
II.2.12. Analyses statistiques	31
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSIONS	33
III.1. RESULTATS	33
III.1.1. Elevage de <i>N. rufipes</i> et <i>D. maculatus</i>	33
III.1.2. Test de résistance de <i>N. rufipes</i> et <i>D. maculatus</i>	33
III.1.3. Effets toxiques des huiles essentielles I et II	34
III.1.4. Effets insectifuges des huiles essentielles I et II vis-à-vis des <i>N. rufipes</i> et <i>D. maculatus</i>	35
III.1.5. Effet par fumigation des huiles essentielles de <i>C. citratus</i> I et II vis-à-vis des <i>N. rufipes</i> et <i>D. maculatus</i> en absence de poisson fumé	37
III.1.6. Effets par fumigation des huiles essentielles de <i>C. citratus</i> I et II vis-à-vis des <i>N. rufipes</i> et <i>D. maculatus</i> en présence de poisson fume	38
III.1.7. Effets protecteurs in vivo des HE I et HE II à 5% sur les adultes de <i>N. rufipes</i> et <i>D. maculatus</i>	40
III.1.8. Emergence des larves de <i>N. rufipes</i> et <i>D. maculatus</i> au cours de 42 jours de traitements	41
III.2. DISCUSION	41
IV.1. CONCLUSION	49
IV.2. Perspectives	49
REFERENCES	51
ANNEXES	a

DEDICACE

À

Ma mère DENEMADJI Jeanne

REMERCIEMENTS

A l'issu de ce travail, je tiens à exprimer ma sincère gratitude à :
L'Eternel Dieu Tout Puissant qui m'a gardé en bonne santé, m'a donné la force, le courage et le sens de discernement nécessaire à la réalisation de ce travail.

Pr. FEKAM BOYOM Fabrice qui m'a accueilli avec la plus grande bienveillance dans son laboratoire. Votre encouragement, votre confiance et votre rigueur scientifique m'ont guidé tout au long de ce travail. En témoignage de ma profonde gratitude, veuillez trouver ici mes remerciements les plus sincères.

Pr. FOKOM Raymond pour m'avoir initié et tenue la main tout au long de ce travail et dont les précieux conseils autant scientifiques que sociaux, l'attention à mon égard et la générosité m'ont été d'un apport particulier.

Le Chef de Département de Biochimie de l'Université de Yaoundé I, **Pr. MOUNDIPA FEWOU Paul** et tous les enseignants dudit département pour la qualité des enseignements, du suivi et des conseils.

Laboratoire de Microbiologie des Sols, du Centre Biotechnologique de NKOLBISSON, Université de Yaoundé I, Cameroun, pour les huiles essentielles.

Chef du laboratoire des Sciences Alimentaires et Métabolismes, **Pr. FOKOU Elie** de m'avoir autorisé à réaliser mes analyses sensorielles au sein de son laboratoire

Dr EKE Pierre, Dr TSOUH FOKOU V et Dr MABOU Lile pour m'avoir initié et tenue la main tout au long de ce travail, pour leurs encouragements et leurs conseils illimités.

À tous les aînés du **Laboratoire de Phytobiochimie et d'études des plantes médicinales** particulièrement à **M. NGHOMSI ; Mlle NYA DINANGO V ; M. SOUANA Emmanuel ; M. PINLAP Brice et M. Junior MVONGO** pour leurs orientations, conseils et les critiques constructives pour la réalisation de ce travail.

M. WANDJI Yves pour m'avoir tenu sur la paillasse ainsi que pour ses conseils, sa disponibilité et l'apport scientifique dans la réalisation de ce travail. Trouvez ici l'expression de ma profonde gratitude.

La grande famille **MBAIMBIA** en particulier mon grand frère **YOSSANGUEM MBAIMBIA Innocent** pour le soutien infailible, Trouvez ici le fruit de tous vos sacrifices.

Tous les camarades de la promotion de **Master II biochimie 2022-2023**, en particulier **NTEP PIERRE C ; LAOMAYE Saturnin ; DJIKOLOUM Firmin ; FITLIAVOM MOUANJI M ; TCHUENDEM Diane ; YANKAM ATCHOUKEU L** pour leur assistance physique, morale et les meilleurs moments passé ensemble.

A tous ceux qui, de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce travail.

LISTE DES ABREVIATIONS ET ACRONYMES

AG	Acceptabilité Générale
AM	Mycorhize Arbusculaire
CI	Concentration Inhibitrice
CN	Contrôle Négatif
CS	Contrôle Stérilité
DL	Dose Létale
FAO	Food and Agriculture Organisation of the United Nation
MC	Mortalité Corrigée
NC	Nombre d'insecte présent sur le disque témoin
Nt	Nombre d'insecte présent sur le disque traité
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
PAM	Programme Alimentaire Mondial
PR	Pourcentage de Répulsion
TM	Taux de Mortalité

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Cycle de développement d'un dermeste (Ambadahalli et al., 2016)	10
Figure 2: Dégâts causé par Dermestes sp sur Heterotis sp sec transformé (www.agromaroc.com).....	11
Figure 3: Cycle de développement de <i>N. rufipes</i>	13
Figure 4: Dégâts causés par <i>Necrobia rufipes</i> sur Heterotis sp sec transformé (www.agromaroc.com).....	14
Figure 5: Illustration de la citronnelle : partie aérienne (a), tige et feuille (b) (Teuscher et al., 2005).....	17
Figure 6: Résistance de : (a) <i>N. rufipes</i> et (b) <i>D. maculatus</i>	33
Figure 7: Influence des HEs de <i>C. citratus</i> : action de HE I sur <i>N. rufipes</i> (a) et <i>D. maculatus</i> (b) et l'action de HE II sur <i>N. rufipes</i> (c) et <i>D. maculatus</i> (d) par contact sur papier filtre	34
Figure 8: Effet répulsif des HEs de <i>C. citratus</i> HEI sur <i>N. rufipes</i> (a) et <i>D. maculatus</i> (b) et HE II sur <i>N. rufipes</i> (c) et <i>D. maculatus</i> (d)	36
Figure 9: Influence des HEs de <i>C. citratus</i> par fumigation en absence du poisson fumé : HE I sur <i>N. rufipes</i> (a) et <i>D. maculatus</i> (b) et HE II sur <i>N. rufipes</i> (c) et <i>D. maculatus</i> (d).....	38
Figure 10: Influence des HEs de <i>C. citratus</i> par fumigation en présence du poisson fumé : HE I sur <i>N. rufipes</i> (a) et <i>D. maculatus</i> (b) et HE II sur <i>N. rufipes</i> (c) et <i>D. maculatus</i> (d).....	39
Figure 11: Influence des huiles de <i>C. citratus</i> in vivo : HE I sur <i>N. rufipes</i> (a) et <i>D. maculatus</i> (b) et HE II sur <i>N. rufipes</i> (c) et <i>D. maculatus</i> (d).....	40
Figure 12: L'influence des HEs de <i>C. citratus</i> sur l'oviposition : HE I sur <i>N. rufipes</i> (a) et <i>D. maculatus</i> (b) et HE II sur <i>N. rufipes</i> (a) et <i>D. maculatus</i> (b).....	41
Figure 13: Influence des traitements sur les qualités sensorielles du poisson fumé	42

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Les deux des coléoptères des poissons fumés et leurs espèces	8
Tableau 2 : Classification de la répulsivité selon Mc Donald et al., (1970)	27
Tableau 3: Classement de la répulsivité des huiles essentielles C. citratus	36

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

Photographie 1: Poison fumé (<i>C. gariepenus</i>) (Memadji, 2023).....	23
Photographie 2: Stades de développement de <i>N. rufipes</i> : phase larvaire (a) ; phase nymphale (b) ; phase adulte (c) (Memadji, 2023).....	23
Photographie 3: Stades de développement de <i>D. maculatus</i> : phase larvaire (a) ; phase nymphale (b) ; phase adulte (c) (Memadji, 2023).....	24
Photographie 4: Dispositif expérimental de la toxicité des HEs par contact sur papier filtre (Memadji, 2023).....	26
Photographie 5: Dispositif expérimental du test de répulsion (Memadji, 2023).	27
Photographie 6: Dispositif expérimental du test de fumigation en absence de poisson fumé (Memadji, 2023).....	29
Photographie 7: Dispositif expérimental du test de fumigation en présence de poisson fumé (Memadji, 2023).....	29
Photographie 8: Dispositif expérimental du test de toxicité par contact aux poissons fumés des huiles essentielles de la citronnelle sur le poisson fumé contre les <i>N. rufipes</i> et <i>D. maculatus</i> (Memadji, 2023).....	30
Photographie 9: Echantillons des poissons codés présentés aux panelistes dont (a) échantillon de poisson traité aux solutions des HEs, (b) échantillon de poisson non traité servant de contrôle négatif et (c) l'échantillon de poisson traité uniquement au tween 80 à 5% (Memadji, 2023).....	d

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1: Dispositif d'élevage des D. maculatus et N. rufipes	a
Annexe 2: Préparation des solutions d'huile essentielle.....	a
Annexe 3: Fiche de suivi sensoriel des échantillons.....	b
Annexe 4: Suivi qualitatif du poisson fumé au cours du test in vivo	d
Annexe 5 : Diagramme d'appréciation générale des échantillons de poissons fumés après les traitements.	d

RESUME

Le poisson joue un rôle important dans le monde car il renferme la plupart des vitamines et oligoéléments nécessaires pour combler certaines carences plus graves et plus répandues, il constitue l'un des segments du secteur alimentaire mondial où les échanges commerciaux sont énormes. Cet aliment très riche fait face à des différents problèmes dont la détérioration dû à ses propres enzymes, la prolifération microbienne, les pertes causées par les acariens et les insectes ravageurs au cours du stockage. Les produits chimiques sont les moyens de lutte, malheureusement ces produits sont extrêmement dangereux. *Cymbopogon citratus* est longtemps utilisé pour ses effets fongicides et également insecticides et insectifuges sur diverses populations d'insecte des denrées alimentaires entreposées, constituerait une alternative à ces pesticides dangereux. L'étude vise à évaluer les effets protecteurs des huiles essentielles de *Cymbopogon citratus* en particulier *Cymbopogon citratus* mycorhizé sur le poisson fumé en stockage contre deux insectes ravageurs.

Pour y parvenir, la toxicité des huiles essentielles a été effectuée In vitro par contact sur papier filtre. L'effet insectifuge a été effectué In vitro selon la méthode de la zone préférentielle dans les boîtes de Pétries. Le test de fumigation a été réalisé dans les bocal en verre de 270 cm³ de volume à couvercle étanches, des disques de papier filtre (Whatman HPL3.1) de 9 cm³ de surface ont été fixés chacun à l'aide d'un fil noir au centre de la face interne des couvercles afin qu'ils prennent la mi-hauteur de ces bocal et 1ml des solutions des huiles essentielles ont été rependues. Le test de contact direct sur le poisson fumé a été effectué dans les seaux de 5 litres.

Les résultats obtenus révèlent que les huiles essentielles ont des activités répulsives avec les taux de 100% et 97,5% respectivement des *Dermetes maculatus* et *Necrobia rufipes*, et les activités insecticides avec les taux de mortalité de 92,5% des *D. maculatus* et 97,5% de *N. rufipes* a la dose de 5%. L'huile essentielle de *Cymbopogon citratus* mycorhizé a influencé significativement les taux de mortalité par rapport à l'huile essentielle de *Cymbopogon citratus* non mycorhizé. Les huiles essentielles de *Cymbopogon citratus* ont des activités insecticides contre les deux insectes étudiés.

Mots clés : Ressource halieutique, Poisson fumé, Huile essentielle, Coleoptere, la pupaison

SUMMARY

Fish plays an important role in the world because it contains most of the vitamins and trace elements needed to fill some of the most serious and widespread deficiencies, and it is one of the segments of the global food sector where trade is enormous. This very rich food faces various problems including deterioration due to its own enzymes, microbial proliferation, losses caused by mites and insect pests during storage. Chemicals are the means of control, unfortunately these products are extremely dangerous. *Cymbopogon citratus* has long been used for its fungicidal and also insecticidal and insect repellent effects on various populations of stored foodstuffs, and would be an alternative to these dangerous pesticides. The study aims to evaluate the protective effects of *Cymbopogon citratus* essential oils, in particular *Cymbopogon citratus* mycorrhizae, on smoked fish in storage against two insect pests. To achieve this, the toxicity of the essential oils was carried out in vitro by contact on filter paper. The insect repellent effect was performed In vitro using the preferential zone method in petri dishes. The fumigation test was carried out in the glass jars of 270 cm³ volume with leak-proof lids, filter paper discs (Whatman HPL3.1) with a surface area of 9 cm² were each fixed with a black wire in the center of the inner side of the lids so that they take the middle height of these jars and 1ml of the essential oil solutions were spread. The direct contact test on smoked fish was carried out in the 5-litre buckets. The results obtained reveal that essential oils have repellent activities with rates of 100% and 97.5% respectively of *Dermetes maculatus* and *Necrobia rufipes*, and insecticidal activities with mortality rates of 92.5% of *D. maculatus* and 97.5% of *N. rufipes* at a dose of 5%. *Cymbopogon citratus* mycorrhizal essential oil significantly influenced mortality rates compared to non-mycorrhizal *Cymbopogon citratus* essential oil. *Cymbopogon citratus* essential oils have insecticidal activities against both insects studied.

Key words: Fish Resource, Smoked Fish, Essential Oil, Beetle, Pupation



INTRODUCTION

INTRODUCTION

Les ressources halieutiques sont créditées de l'importante capacité alimentaire des populations du monde entier, de la contribution significative à la promotion de la croissance socio-économique (**Béné et al., 2016**). Une étude a montré que le poisson est la principale source de protéines animales pour plus de 30 % de la population humaine africaine représentant plus de 200 millions de personnes (**Muringai et al., 2022**). Le poisson frais après capture est une denrée périssable sous les tropiques en l'absence d'équipements de conservation adaptés (**Degnon et al., 2013**). Diverses approches visant à réduire les pertes après capture ont été développées il y a de nombreuses années, notamment le salage, le séchage et le fumage. Malgré la multitude de ces méthodes avec des résultats acceptés, le poisson sec fumé reste une denrée périssable pendant le stockage en raison des pratiques de gestion post-fumage, du développement de parasites et de contaminants fongiques, d'infestation par les insectes nuisibles et de l'environnement de stockage (**Taherzadeh- Shalmaei et al., 2021**). Les études menées montrent qu'en Afrique subsaharienne, les insectes du genre *Dermestes maculatus* (*D. maculatus*) et *Nécrobia rufipes* (*N. rufipes*) constituent les insectes les plus nuisibles au stockage du poisson fumé/séché à Madagascar, au Bénin, au Nigéria, au Tchad, au Mali et au Cameroun (**Folorunso et al., 2006**), le *D. maculatus* est le coléoptère le plus préjudiciable aux stocks de poissons fumés/séchés avec 786 individus (99,49%). Ces insectes entraînent généralement une perte de revenus et une perte en poissons disponibles pour l'alimentation. Les produits chimiques synthétiques tels que Dichlorodiphenyltrichloroethane (DD Force) et RECA (Pia-pia) sont les moyens utilisés par les transformateurs et les commerçants pour réduire les pertes des poissons fumés en stockage. Cependant, des conséquences folles sur la santé des consommateurs ont été enregistrées dont la perturbation des équilibres hormonaux, le développement de cancers et d'allergies, ainsi que la dégradation de l'environnement (**Takanori et al., 2015**).

Face à cette situation, il devient donc urgent de rechercher des méthodes de protection des denrées par l'usage des phytopesticides comme une alternative prometteuse en particulier les plantes produites par la mycorhization, qui est un processus de traitement du sol avec les champignons mycorhizes qui améliorent les métabolismes secondaires des plantes (**Durrant et Dong, 2004**). C'est dans ce contexte que plusieurs études ont porté sur la lutte antimicrobienne par l'utilisation des huiles essentielles notamment l'huile essentielle de la *Cymbopogon citratus* (*C. citratus*) au Bénin, au Nigéria, au Cameroun et au Tchad (**Koudoro et al., 2018 ; Issakou**

et al., 2022 ; *Ngo et al.*, 2021). De même de nombreux travaux ont démontré l'effet insecticide et/ou insectifuge des huiles essentielles de *C. citratus* sur diverse population d'insectes des denrées alimentaires stockées et relèvent leur faible niveau de toxicité (*Mboussy et al.*, 2023).

❖ Question de recherche

Les huiles essentielles de *C. citratus* ont-elles des effets protecteurs du poisson fumé en stockage contre *N. rufipes* et *D. maculatus* ?

❖ Hypothèse de recherche

Les huiles essentielles de *C. citratus* ont des activités larvicides et adulticides contre *D. maculatus* et *N. rufipes*.

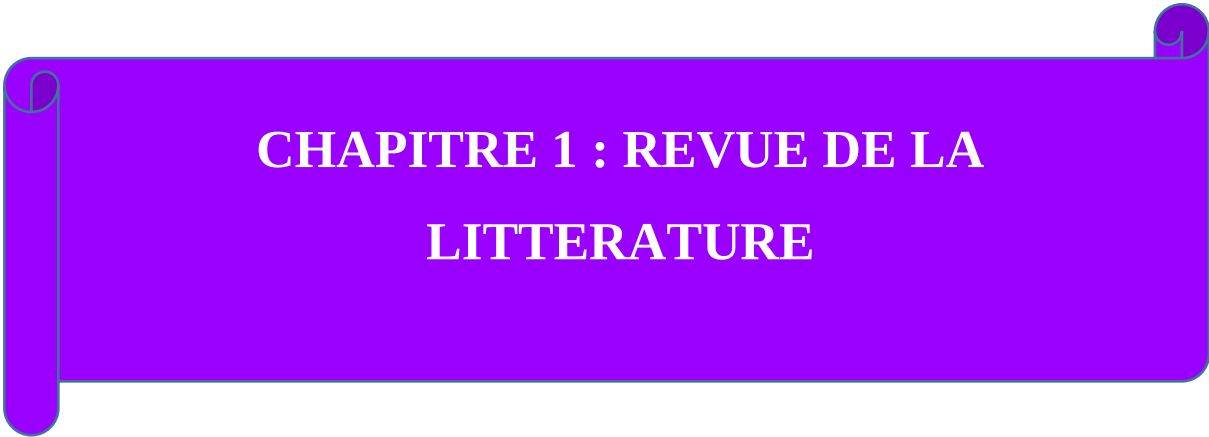
❖ Objectifs

➤ Objectif général

Évaluer l'effet protecteurs des huiles essentielles de *C. citratus* sur le poisson fumé en stockage contre deux insectes ravageurs à plusieurs stades de développement.

Objectifs spécifiques

- ✓ Déterminer *in vitro* les effets larvicides et répulsifs des huiles essentielles de *C. citratus* sur les larves *N. rufipes* et *D. maculatus*, ravageurs du poisson fumé ;
- ✓ Déterminer *in vivo* l'effets protecteurs des huiles essentielles de *C. citratus* sur les adultes de *N. rufipes* et *D. maculatus*, ravageurs du poisson fumé ;
- ✓ Effectuer un suivi sensoriel cinétique du poisson fumé pendant 42 jours de stockage.



CHAPITRE 1 : REVUE DE LA LITTERATURE

CHAPITRE 1 : REVUE DE LA LITTÉRATURE

I.1. Généralité sur les poissons

❖ Définition

Les poissons sont des animaux vertébrés aquatiques dotés de branchies, généralement osseux ou cartilagineux, parfaitement adaptés à la vie aquatique grâce à leurs branchies et leurs nageoires (**Biology Discussion, 2012**) ; ils jouent un rôle important dans le monde car ils renferment la plupart des vitamines et oligoéléments nécessaires pour combler certaines carences plus graves et plus répandues (**Abdoulahhil et al., 2018**).

❖ Classification

Il existe plusieurs familles des poissons dont les plus répandues sont les salmonidés ou on trouve les espèces tels que (les truites, les ombres communs, les ombles chevaliers, les saumons de fontaine, les truites de mer, le saumon atlantique) ; les cyprinidés ou on trouve (la carpe, la tanche, le barbeau, le chevesne, le gardon, l'ablette, le rotengle, la brème, le goujon, le carassin) et les carnassiers qui regroupe les espèces piscicoles prédatrices comme le brochet, le sandre, la perche, le black-bass et le silure (**Gauthier, 2021**).

❖ Importance du poisson

Les poissons constituent l'un des groupes de vertébrés les plus importants servant de nourriture à l'homme. Ils possèdent de grandes valeurs économiques, nutritionnelles, médicinales, industrielles, esthétiques et religieuses et fournissent des emplois à des millions de personnes dans le monde. Ils contribuent à la sécurité alimentaire dans de nombreuses régions du monde, fournissant un complément précieux à une alimentation diversifiée et nutritive (**PAM, 2019**). La consommation de poisson présente plusieurs avantages sanitaires, nutritionnels, environnementaux et sociaux par rapport à la viande d'autres animaux terrestres (**Ubaid et al., 2020**).

Selon l'Organisation pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), la consommation de poisson a considérablement augmenté, ce qui a amélioré l'alimentation des populations du monde entier grâce à une alimentation diversifiée et nutritive. En 2013, le poisson représentait environ 17% de l'apport en protéines animales de la population mondiale et 6,7% de toutes les protéines consommées (**FAO, 2020**). Les protéines du poisson et des crustacés sont très faciles à digérer et les recherches montrent que les acides aminés du poisson sont plus biodisponibles que le bœuf, le porc ou le poulet. Les poissons et les crustacés contiennent également une

quantité équilibrée de tous les acides aminés essentiels, ce qui leur confère des scores d'acides aminés très élevés.

Le poisson peut également aider à lutter contre des maladies comme le paludisme, la fièvre jaune et d'autres maladies terribles transmises par les moustiques.

I.1.1 Méthodes de conservation

Pour assurer la qualité des poissons, plusieurs techniques de conservation et de transformation sont utilisées et varient sensiblement selon les pays et des habitudes alimentaires. Les techniques utilisées sont, la congélation, la réfrigération, la surgélation, la friture, la cuisson, la fermentation, le séchage et le fumage (**Assogba et al., 2018**). Le séchage et le fumage sont développés pour préserver la qualité sanitaire du poisson séché et/ou fumé et accroître la durée de sa conservation ainsi que limiter les pertes en éléments nutritionnels et sa qualité organoleptique au cours du stockage (**FAO, 2009**).

I.1.2. Le fumage

Le fumage consiste à soumettre des poissons à l'action de la fumée provenant de la combustion lente du bois afin de réduire leur teneur en eau et à y introduire divers composants de la fumée (**Knockaert C, 1990 ; ANSES, 2010 ; Dib, 2014,**). Le but de la fumaison est de conserver les poissons en lui donnant une couleur et une saveur (**Idah PA et al., 2013**) appréciable par le consommateur. Dans certaines localités de l'Afrique Subsaharienne, on utilise comme combustible les sciures de bois, les coques de noix de palmier, des épis de maïs et des coques de noix de coco. En général, il existe trois types de fumage : le fumage à froid ; le fumage à chaud et le fumage séchage (**Assogba et al., 2018**). Le type de fumage dépend essentiellement de la température générée par la combustion.

I.1.2.1. Poisson fumé dans l'alimentation humaine

Le poisson fumé reste une source de protéines animales de haute valeur nutritive (**Abdelrahim et al., 2012**). La teneur en protéines du poisson fumé dépasse celle de la viande de bœufs, de porc et de volailles. Il est très digestible et contient des acides aminés essentiels tels que : la lysine, la leucine, la valine, l'arginine, la méthionine, le tryptophane et l'histidine. Il contient également des acides gras polyinsaturés de la série n-3, précurseurs de prostanoïdes ayant un effet antithrombotique (**Oladipo et al., 2013**). Le poisson pourrait jouer un rôle important dans l'amélioration de la sécurité alimentaire et du statut nutritionnel en Afrique, car plus de 200 millions d'africains le consomment régulièrement. Le poisson a été pendant

longtemps la seule source de vitamine D et demeure un appoint notable en vitamines du groupe B (B1, B2, B6, B12) pour beaucoup de communautés. Il contient la vitamine A stockée sous forme de rétinol dans le foie, les intestins, le pancréas et les reins (**Bourgeois et al., 2003**) ainsi que de sels minéraux tels que le calcium, l'iode et le potassium (**Amengheme et al., 2005**).

I.1.2.2. Importance socioéconomique du poisson fumé dans le monde

Le poisson fumé constitue l'un des segments du secteur alimentaire mondial où les échanges commerciaux sont les plus nombreux, puisque l'on estime que 78 % des produits comestibles de la mer font l'objet d'une concurrence commerciale internationale. Les exportations de poisson fumé sont essentielles pour l'économie de nombreux pays et de nombreuses régions côtières, fluviales, insulaires et continentales (**Word Fish Centre, 2005**). Le commerce mondial du poisson a connu un essor considérable au cours des dernières décennies, les quantités échangées s'étant accrues de plus de 245 % en 1976 et en 2014 de 515 % (**FAO, 2006**). Exprimé en valeur, le commerce mondial du poisson a beaucoup progressé, puisque la valeur des exportations est passée de 8 milliards de dollars USD en 1976 à 148 milliards de dollars USD en 2014, soit une croissance annuelle de 8,0 % en termes nominaux et de 4,6 % en termes réels (**FAO, 2006**).

I.1.2.3. Problèmes liés à la conservation du poisson fumé

Malgré cette méthode de conservation (fumage) avec des résultats acceptés, le poisson sec fumé reste une denrée périssable pendant le stockage en raison des pratiques de gestion post-fumage, du développement de parasites et de contaminants fongiques et de l'environnement de stockage (**Molaei et al., 2020 ; Taherzadeh- Shalmai et al., 2021 ; Parker et al., 2021**). Il a été rapporté qu'en Afrique subsaharienne, les coléoptères du genre *Dermestes* et *Necrobia* constituent les insectes les plus nuisibles au stockage du poisson fumés (**Folorunso et al., 2006**). Ces insectes entraînent généralement une perte de revenus et une perte en poissons disponibles pour l'alimentation. Les pertes sont à la fois quantitatives, en Afrique continentale subsaharienne engendre des pertes de poisson évaluées à environ 25 % de la production (**Hissein et al., 2018**) et qualitatives (**Ndrianaivo et al., 2016, Sameza et al., 2016 ; Tekou Ngunte, 2018**).

I.2. Les insectes ravageurs des poissons fumés

Deux espèces d'insectes ravageurs ont émergées des collections *in vivo* en observation au laboratoire : *Dermestes maculatus* (*D. maculatus*) et *Necrobia rufipes* (*N. rufipes*) ; ces

insectes ont des densités variables en fonction des espèces de poissons fumés et des villes de provenance. *D. maculatus* est l'insecte le plus abondant quel que soit la localité et l'espèce de poissons. *C. gariepinus* est le poisson qui possède le plus grand nombre d'insectes ravageurs avec un taux d'infestation de (89,84%). Le plus grand nombre de *N. rufipes* a été observé sur *O. niloticus*.

Tableau 1: Les deux des coléoptères des poissons fumés et leurs espèces (Haines, 1989 ; FAO, 1981)

Taxons	Espèces	Références
Dermestidae	<i>Dermestes alter</i> Degeer	Aruna et al., 2016
	<i>Dermestes carnivorus</i> Fabricius	Heller, 1916
	<i>Dermestes frischii</i> Kugelann	Keshavazi, 2015
	<i>Dermestes haemorrhoidalis</i> Küster	Kadej, 2022
	<i>Dermestes lardarius</i> Linné	
	<i>Dermestes maculatus</i> Degeer	Ndrianaivo et al., 2016 ; Singh et al., 2018, Tamgno et al., 2020
Cléridés	<i>Dermestes peruvianus</i> Laporte de Castelnau	Laporte de Castelnau, 1840
	<i>Necrobia rufipes</i>	(De Geer, 1775)
	<i>Opilo mollis</i>	(Linnaeus, 1758)

I.2.1. Généralité sur les Dermestidae

I.2.1.1 Biologie des Dermestidae

➤ Classification

Ordre : Coleoptera

Famille : Dermestidae

Genre : *Dermestes*

Espèce ; *Dermestes* sp.

Dermestes maculatus, est un ravageur très important du poisson fumé qui détruit la chair du poisson stocké. Les membres de la famille des Dermestidae sont dotés pour l'essentiel d'un régime alimentaire nécrophage ; leurs larves se nourrissent de cadavres de vertébrés aussi bien que d'invertébrés, de corne, de poils, de laine. Seules quelques espèces sont consommatrices de matières d'origine végétale. Le groupe est abondamment représenté dans les régions tempérées ; on y compte de nombreuses espèces nuisibles aux denrées entreposées aux animaux naturalisés, aux reliures ou aux tissus d'ameublement. Les plus connues sont les dermestes sombres et trapus, ou les anthrènes aux couleurs vives (**Delobel et al., 1993**).

➤ **Stade larvaire**

Les segments thoraciques des larves portent 3 paires de pattes articulées, Le corps est couvert de soies très denses de diverses longueurs. La face ventrale du corps est généralement jaune-brun. La face dorsale du dernier grand segment abdominal (le neuvième) porte deux longues protubérances pointues en forme de corne, qui est souvent dissimulées par les soies voisines (**Paul et al., 1963**).

Les larves de dermestes se distinguent aisément de toutes les autres par la présence de soies denses et leur couleur foncée, mais aussi leur régime alimentaire (poissons, viande séchés et peaux) ; Elles peuvent mesurer 12 à 14 mm en fin de développement. Elles sont régulièrement amincies d'avant en arrière. Elles sont très rapides dans leur déplacement (**Paul et al., 1963**).

➤ **La nymphe**

Au terme du développement, la larve se transforme « in situ » en nymphe libre, autrement dit sans constituer de cocons ni aménager de quelconques logettes. La nymphose s'opère cependant à couvert, par exemple dans un repli de peau, un recoin du crâne, à l'intérieur d'un os brisé, ou tout simplement sous ce qui reste de la carcasse (**Delobel et al., 1993**).

➤ **Stade adulte**

Les adultes des dermestes sont de forme ovale et allongée, ils mesurent 5,5 à 10 mm selon l'espèce. Leur face dorsale du corps noire ou marron foncé, couverte de soies denses de couleur noires, gris-blanc, brunes ou jaunes, formant des motifs distincts chez certaines espèces. L'abdomen à la face ventrale couverte de soies noires, blanches, marron ou jaune clair (**Monteiro. 1956**). Les antennes sont courtes et se terminent presque toujours par une massue bien visible. Les adultes des différentes espèces peuvent être identifiés à l'aide d'une clé d'identification simplifiée, mais certains de ces caractères ne peuvent être correctement

observés qu'à la loupe ou au microscope. Des clés complètes d'identification sont disponibles (Peacock, 1975 ; Freeman, 1980).

I.2.1.2. Mode de vie et reproduction des Dermestes

Les larves et les adultes ont le même régime alimentaire. La femelle peut pondre 50 à 200 œufs (voir plus). Les larves passent normalement par 5 ou 6 stades, ou davantage si les conditions de vie sont défavorables et le cycle complet des principales espèces varie entre 4 et 8 semaines à une température moyenne de 30°C. L'adulte peut vivre 3 mois environ à 30°C. Ces insectes des denrées stockées vivent et se reproduisent dans les produits alimentaires stockés. Ils prolifèrent donc là où sont entreposées des denrées alimentaires pour les humains ou les animaux. Les coléoptères endommagent aussi bien les matières premières alimentaires que les produits finis. On pense immédiatement aux industries agroalimentaires, aux exploitations agricoles, aux silos... Cela comprend aussi les supermarchés, les restaurants, les installations de transformation des aliments et les entrepôts des stockages des aliments. Toutes les entreprises qui manipulent des produits alimentaires s'exposent aux insectes des denrées stockées (FAO, 1989).

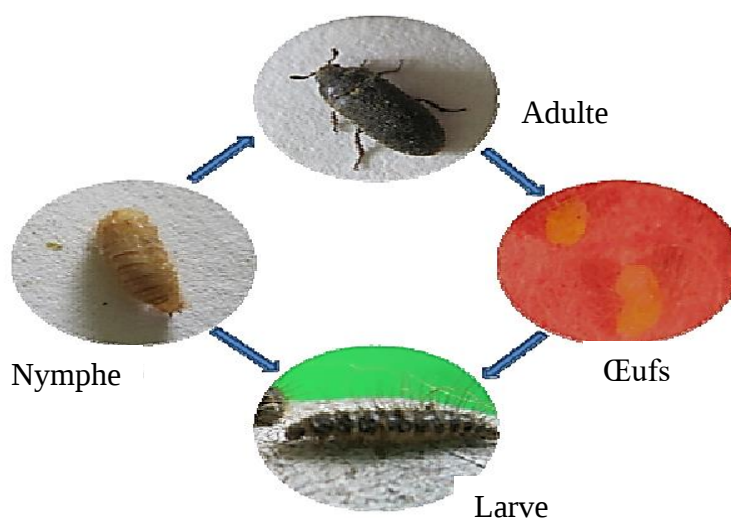


Figure 2: Cycle de développement d'un dermeste (Ambadahalli *et al.*, 2016)

I.2.1.3. Ecologie

Les deux espèces les plus communes que l'on observe sur le poisson fumé dans les climats chauds sont *D. maculatus* et *D. frischii*, ils sont mieux adaptés à une température optimale de l'ordre de 30 à 35 °C, le minimum étant de 20° C. Elles ont besoin d'une humidité relative d'équilibre de 30 % au moins, le taux optimal étant d'environ 75 %. Les *D. ater* et *D. Les D.*

maculatus et *D. frischii* sont les espèces qui infestent le plus souvent le poisson fumé ; *D. maculatus* s'attaque en particulier au poisson d'eau douce et *D. frischii* au poisson marin, mais il y a des exceptions. La troisième espèce la plus répandue dans les climats chauds est *D. ater*, bien connu comme ravageur du coprah, mais qui est aussi souvent un important ravageur du poisson séché dans les régions tropicales. (FAO, 1989).

1.2.1.4. Dommages causés aux poissons fumés

Les dermestes infestent le poisson séché ou fumé entier ou en farine, les espèces tels que *Dermestes maculatus* Degeer, *Dermestes frischii* Kugelann, *Dermestes ater* Degeer, *Dermestes carnivorus* Fabr., *Dermestes lardarius*, *Dermestes haemorrhoidalis* Küster et *Dermestes peruvianus* Laporte de Castelnau sont les espèces rencontrées. Les poissons sont diversement sensibles aux ravageurs (Osuji, 1974, Ndrianaivo *et al.*, 2016). *D. maculatus* et *N. rufipes* infestent plus les poissons en zone chaude. La pupaison de ces espèces peut gravement endommager les modules de stockage par des tunnels pratiqués par les larves. (Hinton, 1945 ; Peacock, 1975).

La nutrition des larves et des adultes de *Dermestes sp* provoque des pertes quantitatives considérables de poisson séché, ainsi que l'émiettement. La perte de qualité peut aussi être due à la présence de corps et de dépouilles d'insectes ainsi qu'au changement d'odeur du poisson. Les pertes quantitatives sont causées au poisson séché par *Dermestes sp* (FAO, 1981).



Figure 3: Dégâts causé par *Dermestes sp* sur *Heterotis sp* sec transformé (www.agromaroc.com)

I.2.2. Généralité sur les cleridae

❖ Classification

- **Ordre** : Coleoptera
- **Famille** : Cleridae
- **Genre** : *Necrobia*
- **Espèces** : *Necrobia sp.*

Ils sont en général des prédateurs, nécrophages ou des végétariens. Un seul genre fournit les espèces qui sont inféodées au poisson séché et fumé. *Necrobia rufipes* Degeer de couleur bleu métallique avec des pattes rouges, est l'espèce la plus fréquemment observée sur le poisson fumé. On ne trouve que rarement sur ce produit deux espèces apparentées, *N. ruficollis* (Singh *et al.*, 2018).

Les coléoptères adultes se nourrissent sur la surface du poisson fumé. Les larves passent par trois ou quatre stades. Au dernier, elles filent un cocon dans lequel a lieu la pupaison : cela peut se passer à l'intérieur de la chair du poisson, ou bien la larve peut s'éloigner du poisson et pupifier dans toute fissure sombre. Les adultes volent beaucoup et peuvent donc facilement se disperser vers de nouvelles sources d'aliments. Le *N. rufipes* est généralement associé à des infestations de *Dermestes sp* (FAO, 1989).

I.2.2.1. Cycle biologique

Les coléoptères adultes se nourrissent sur la surface du poisson séché, et déposent leurs œufs dans les déchirures du poisson. Les larves s'enfoncent profondément dans la chair ; elles se nourrissent non seulement du poisson, mais aussi des larves de certaines mouches et des œufs et larves de *Dermestes sp*. Les larves passent par trois ou quatre stades. Au dernier, elles filent un cocon dans lequel a lieu la pupaison : cela peut se passer à l'intérieur de la chair du poisson, ou bien la larve peut s'éloigner du poisson et pupifier dans toute fissure sombre. Le cycle biologique dure environ six semaines ou davantage, selon le type de nutrition et les conditions ambiantes. Dans les conditions optimales, la population se multiplie par environ 25 chaque mois. Les adultes volent beaucoup et peuvent donc facilement se disperser vers de nouvelles sources d'aliments (FAO, 1989).

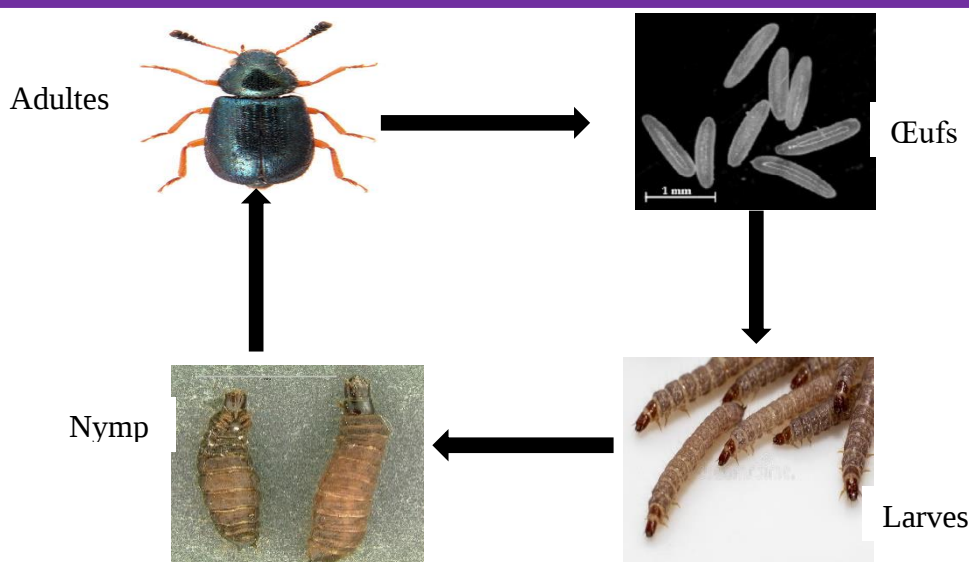


Figure 4: Cycle de développement de *N. rufipes*

I.2.2.2. Ecologie des *N. rufipes*

La température optimale pour le développement de *N. rufipes* est de l'ordre de 30 à 34 ° C, la température minimale se situant à 22 ° C ; on ne connaît pas la température maximale, mais il est probable que des températures supérieures à 40-42 ° C ne favorisent pas ou empêchent le développement de ce ravageur. Ce coléoptère a besoin d'une humidité relative d'équilibre de 50 % au moins. *N. rufipes* peut donc devenir nuisible dans les climats tropicaux et subtropicaux, en particulier si l'air est assez humide ou si le poisson n'est pas très bien séché. Il a une distribution cosmopolite dans les climats chauds. (FAO, 1989).

Le *N. rufipes* est généralement associé à des infestations de *Dermestes* sp. L'habitat qui lui convient est analogue à celui des espèces tropicales de *Dermestes*, et il bénéficie de la présence de larves et œufs de *Dermestes* dont il peut se nourrir. (FAO, 1989).

I.2.2.3. Dommages causés aux poissons fumés

L'alimentation des larves et des adultes de *N. rufipes* provoque des pertes quantitatives de poisson fumé, ainsi qu'un émiettement et une détérioration de la qualité dus à la contamination par les corps et dépouilles d'insectes (FAO, 1986). L'ampleur et la valeur des pertes de poisson fumé dues à *N. rufipes* n'ont été évaluées ni en laboratoire, ni sur le terrain, mais sont sans aucun doute directement liées à la durée de stockage du poisson (FAO, 1986).



Figure 5: Dégâts causés par *N. rufipes* sur *Heterotis* sp sec transformé (www.agromaroc.com)

I.2.3. Lutte chimique contre les ravageurs du poisson fumé

Pour réduire les pertes post stockages, les transformateurs et commerçants font recours aux produits chimiques de synthèse en l'absence d'alternatives en utilisant les insecticides chimiques tels que le malathion et le pirimiphos méthyle, utilisés traditionnellement dans la lutte antiparasitaire (**Pimentel et al., 2009 ; Tavares et al., (2010)**). L'application des insecticides se fait aussi en direct sur les surfaces, les outils de conservation ou les aires de transformation et de stockage. Dès le départ de la protection de cette ressource, l'outil le plus efficace était le bromure de méthyl à la dose de 80 à 100 g/m³ de denrée (**Mallamaire, 1955**). Au cameroun en particulier, les commerçants utilisent les poudres telles que RAMBO (perméthrine) et IMIDALM (imidachlopride). En effet, ils saupoudrent ces produits sur les séchoirs à poisson et injectent le pesticide dans les cargaisons et les sacs ou pulvérisent tous les espaces de stockage du poisson séché. Ces produits peuvent mettre à l'abri les poissons fumés des parasites pour une durée de plus d'un an (**Beramgoto, 2019**).

I.2.4. Limites de l'utilisation des produits chimiques

Les insecticides chimiques utilisés traditionnellement dans la lutte antiparasitaire provoquent une résistance aux ravageurs, une contamination environnementale et alimentaire et une toxicité pour les organismes non ciblés (**Pimentel et al., 2009 ; Tavares et al., (2010)**). Selon **OMS, (2010)** les insecticides appartenant à la famille des composés organophosphorés utilisés dans la protection du poisson fumé sont dangereux. Toutes les matières actives présentes figurent dans la liste des pesticides dangereux et ont des effets à long terme sur la santé humaine car sont cancérigènes, mutagènes ou perturbateurs hormonaux et ont des effets toxiques pour

l'environnement, notamment pour les abeilles qui jouent un rôle très important dans la pollinisation des plantes (**PAN International, 2013**).

Il est urgent, pour la sécurité du consommateur et de l'environnement de se pencher à la recherche des alternatives aux produits chimiques de synthèse dans la protection des poissons secs mis en stockage. Les alternatives à rechercher se recrutent dans les huiles végétales et autres extraits de plantes. Les extraits de plantes et les huiles essentielles sont traditionnellement utilisés pour tuer ou repousser les insectes des produits stockés (**Arabi et al., 2008 et Fouad et al., 2012**).

I.2.4.1. La toxicité des composés organophosphorés

L'exposition cutanée à court terme aux organophosphorés peut mener à des sensations anormales au visage (paresthésie). Leur ingestion peut causer des maux de gorge, des nausées, des vomissements et des crampes abdominales, des ulcères buccaux, une augmentation des sécrétions et une déglutition difficile. La plupart des sujets atteints récupèrent en 12 à 48 heures. Les doses létales varient d'environ 55 mg/kg de poids corporel dans le cas de la bifenthrine et de la lambda-cyhalothrine jusqu'à plus de 10 000 mg/kg de poids corporel (dose extrêmement élevée) dans le cas de la d-phénothrine. Conséquemment, il est rare qu'une exposition aux pyréthrinoïdes mène au décès, bien que de fortes doses causent des tremblements, le coma et des convulsions. Les effets d'une exposition à long terme aux pyréthrinoïdes sont mal connus. Les données concernant la toxicité des pyréthrinoïdes proviennent surtout d'études chez l'animal ; rares sont les études épidémiologiques chez l'humain (**Hénault-Ethier et al., 2016**).

I.2.4.2. Mode d'action des organophosphorés

Les organophosphorés sont dits neurotoxiques parce qu'ils interfèrent avec la propagation des signaux neuronaux. Plus précisément, ils agissent sur les canaux sodiques situés le long de la membrane cellulaire de la queue des neurones (axones). En maintenant ces canaux ouverts, les pyréthrinoïdes déclenchent une série d'influx électriques chez les neurones qui cause leur dépolarisation, ce qui engendre différents symptômes comme des tremblements, des mouvements involontaires et la salivation (**Hénault-Ethier et al., 2016**).

I.3. Généralité sur *Cymbopogon citratus*

Cymbopogon citratus communément appelé citronnelle, appartient à la famille des Poacées. C'est un arbuste vivace tropical originaire d'Asie du Sud-Est (sud de l'Inde et Sri Lanka) et de l'Amérique centrale (**Acimovic, 2020; Salomon et al., 2019**). *Cymbopogon* vient du mot grec « kymbe - pogon » signifiant barbe-bateau (en raison de sa configuration en épi de

fleurs) et *citratus* (latin) signifie feuilles parfumées au citron (**Salomon et al., 2019**). Ce genre comprend une cinquantaine d'espèces originaire d'Asie mais dont certaines sont depuis très longtemps introduites et naturalisées dans le monde (**Kouame et al., 2016**). C'est à partir de 1820 que la distillation de l'HE d'espèces de *citratus* a débuté à des fins commerciales sur le marché mondial. Les activités pharmacologiques de *Cymbopogon citratus* (*C. citratus*) ont un dossier exceptionnel dans la médecine populaire et ayurvédique (**Dahri, 2011; Tarkang et al., 2012**). Des études scientifiques récentes ont rapporté les activités antifongiques, antibactériennes, antipaludéens, anti-inflammatoires, antirhumatismales, anti-cancérigènes, antioxydants (**Gomes et al., 2017**). L'huile essentielle de citronnelle est utilisée pour sa valeur médicinale et également ses effets insecticides (**Hartatie, 2021**).

I.3.1. La botanique de *Cymbopogon citratus*

La *Cymbopogon citratus* communément appelé la citronnelle est une plante pluriannuelle présente dans presque toutes les contrées tropicales. C'est une herbe aromatique vivace sans ramification à odeur de citron poussant en touffes denses. Ses feuilles peuvent atteindre 90 cm de longueur et 1,25 cm de largeur. Les feuilles sont vertes-claires, vert bleuâtre brillantes, fortement parfumées et dégageant un arôme d'agrumes lorsqu'elles sont écrasées. Elles sont persistantes, longues, effilées et réunies en gaines sur une certaine portion de leurs longueurs. Ces dernières sont en forme de sangle, 1,3 - 2,5 cm de large, environ 0,9 m de long, se terminant par des pointes tombantes (**Teuscher et al., 2005**). Aussi, le bord des feuilles est hyalin formé de nombreuses petites dents dirigées vers le sommet de la plante. La partie souterraine de la citronnelle est constituée par un bulbe en rhizome. Bien que cette plante fleurisse rarement, elle possède une hampe florale pouvant atteindre 60 cm de longueur à nombreuses ramifications terminées par des épis agglomérés de couleur verdâtre (**Teuscher et al., 2005**). La citronnelle se reproduit par rhizomes et se cultive bien dans les régions semi-tropicales et tropicales.



Figure 6: Illustration de la citronnelle : partie aérienne (a), tige et feuille (b) (Teuscher et al., 2005)

❖ **La classification botanique de la plante est la suivante**

- Règne : *plantae*
- Division : *Magnoliophyta*
- Classe : *Liliopsida*
- Ordre : *Poales*
- Famille : *poaceae*
- Genre : *Cymbopogon*
- Espèce : *Citratus*

❖ **Origine**

Le genre *Cymbopogon* compte près de 55 espèces dont l'espèce très répandue est *Cymbopogon citratus*, une plante herbacée à longue feuille linéaire originaire de l'Inde. La citronnelle est aujourd'hui très cultivée dans les zones tropicales et subtropicales notamment en Asie, en Amérique centrale, en Amérique du sud ainsi qu'en Afrique (Shah et al., 2011).

❖ **Propriétés chimiques de la citronnelle**

La composition chimique de l'huile de citronnelle a été déterminée par chromatographie gazeuse capillaire (GC) et GC/spectrométrie de masse. Les principaux constituants de l'huile étaient le géraniol (35,7 % des matières volatiles totales), le trans-citral (22,7 %), le cis-citral (14,2 %), l'acétate de géranyle (9,7 %), le citronellal (5,8 %) et le citronellol (4,6 %) (Kazuhiko et al., 2003).

❖ Toxicité

L'étude de cytotoxicité dans les fibroblastes dermiques humains a révélé que la CI 50 était de 0,126 % (v/v) pour l'HE de citronnelle et de 0,095 % (v/v) pour le citral, le composant généralement présent en grande quantité dans son HE (**Adukwu et al., 2016**).

La citronnelle est documentée pour être non toxique en oral chez l'humain (**Leite et al., 1986**) et pour ne causer aucun effet toxique chez des rats ou chez leur progéniture après ingestion de doses correspondant à 20 fois la dose correspondante chez l'humain (**Souza et al., 1986**). L'Agence de protection de l'environnement (EPA) américaine considère la citronnelle comme un pesticide biochimique qui a une forme d'action non toxique et qui peut être légèrement toxique en usage oral. En cas d'intoxication aiguë à la citronnelle, de simples mesures de dilution sont jugées suffisantes dans la plupart des cas (**Temple et al., 1991**).

La toxicité aiguë de l'huile essentielle de l'espèce *Cymbopogon citratus* a aussi été évaluée dans le cas d'étude expérimentale *in vivo* effectuée sur des groupes de souris. Des doses uniques et des doses répétées sur 21 jours ont été administrées par voie orale chez ces animaux. Après injection d'une dose unique de l'huile essentielle variant de 5 à 1500mg/kg, aucun signe de toxicité n'a été observé par comparaison au groupe de souris témoin. A la dose de 2000mg/kg, un unique mort a été observé dans le groupe. En revanche, des signes de toxicités ont été relevés chez les animaux ayant reçu des doses supérieures à 3000mg/kg. Aussi, l'administration de dose (1,10 et 100mg/kg d'huiles essentielle) de citronnelle pendant 21 jours n'a induit aucune toxicité chez les groupes de souris testés (**Costa et al., 2011**).

L'ensemble de ces résultats reflètent une faible toxicité de l'huile essentielle de *Cymbopogon citratus* qui peut être utilisée sans risque sur de longues périodes, en respectant les doses préconisées (**Costa et al., 2011**).

I.4. Les huiles essentielles

Une huile essentielle est un extrait liquide et aromatique obtenu généralement par distillation à la vapeur d'eau à partir d'une plante, et qui concentre les actifs volatils. L'utilisation des huiles essentielles dans la lutte contre les insectes remonte aux anciennes civilisations, tout d'abord en orient et au moyen orient, et par la suite au nord de l'Afrique et en Europe (**Thiam et al., 1993 ; Franchomme et al., 1990**). Les extraits des plantes sont utilisés en Inde depuis plus de 7000 ans, en Chine depuis 4500 ans, en Egypte entre 3000 et 2000 ans avant notre ère. Aujourd'hui encore plusieurs paysans utilisent leurs connaissances et leurs savoir-faire dans ce domaine (**Regnault-Roger et al., 2005**).

Plusieurs auteurs comme (Vincent *et al.*, (2000), Ntezurubanza, (2000), Isman (2000), Regnault-Roger *et al.*, (1993), Anonyme (2001)), rapportent qu'un nombre important d'espèce de plantes riches en huiles essentielles est utilisé comme moyens traditionnels de protection des stocks. Les paysans les utilisent à l'état naturel, pulvérulent, en phase aqueuse ou huileuse, en infusion, en décoction, en solution et même sous forme de cendre, d'aérosol ou fumée, afin de mettre à profit les activités insecticides, répulsive ou anti-appétant vis-à-vis des insectes.

I.4.1. Caractéristiques physico-chimiques des huiles essentielles

Les Huiles essentielles (HE) sont constituées de différentes composantes : terpènes, esters, cétones, phénols, et d'autres éléments (Couic-Marinier *et al.*, 2013). Cependant, cette composition peut varier à l'intérieur d'une même espèce et d'une zone écologique à une autre ; ces variétés chimiques et écologiques sont communément appelées chémotypes et écotypes. D'après (Fokom *et al.*, 2019), les variations peuvent être dues à des facteurs exogènes comme l'ensoleillement, la nature et les composants du sol, la température, l'altitude, etc. et au facteur endogène (la composition génétique des individus). Les huiles essentielles ne sont que très peu solubles ou pas du tout dans l'eau ; par contre elles sont solubles dans les solvants des lipides (acétone, sulfure de carbone, chloroforme, etc.) et, à l'inverse des glycérides, dans l'alcool. Mais à ces caractères de solubilité se limite la ressemblance avec les huiles grasses. (Garneau., 2001).

I.4.2. Méthodes d'extraction des huiles essentielles

Il existe plusieurs méthodes d'extraction des huiles essentielles parmi lesquelles on a extraction par CO₂ super critique, extraction assistée par micro-onde, l'hydrodiffusion, hydrodistillation. La majorité des huiles essentielles est obtenue par distillation par entraînement à la vapeur d'eau sous basse pression. Le procédé consiste à faire traverser par de la vapeur d'eau une cuve remplie de plantes aromatiques. A la sortie de la cuve de distillation et sous pression contrôlée, la vapeur d'eau enrichie d'huile essentielle traverse un serpentin où elle se condense. A la sortie, un essencier recueille l'eau et l'huile essentielle. La différence de densité entre les deux liquides permet une séparation aisée de l'huile essentielle recueillie par débordement. Les autres procédés d'extraction (par enfleurage, par solvant) ne peuvent être utilisés pour une médication par les huiles essentielles digne de ce nom (Zhiri *et al.*, 2005).

I.4.2.1. Hydrodistillation

Il s'agit de la méthode la plus simple et plus anciennement utilisée. Le principe de l'hydrodistillation correspond à une distillation hétérogène qui met en jeu l'application de deux lois physiques (loi de Dalton et loi de Raoult). Le procédé consiste à immerger la matière première végétale dans un ballon lors d'une extraction au laboratoire ou dans un alambic industriel rempli d'eau placé sur une source de chaleur. Le tout est ensuite porté à l'ébullition. La chaleur permet l'éclatement des cellules végétales et la libération des molécules odorantes qui y sont contenues. Ces molécules aromatiques forment avec la vapeur d'eau, un mélange azéotropique. Les vapeurs sont condensées dans un réfrigérant et les huiles essentielles se séparent de l'eau par différence de densité (**Pavida et al., 1976**). Au laboratoire, le système équipé d'une cohobe généralement utilisé pour l'extraction des huiles essentielles est le Clevenger.

I.4.3. Utilisation des huiles essentielles dans la lutte contre les ravageurs des stocks

Les huiles essentielles des plantes font partie des récentes technologies utilisées dans la régulation des populations de ravageurs. Leur application dans la protection des stocks a fait l'objet de nombreux travaux et leur toxicité sur les ravageurs des stocks s'exprime de différentes manières : activités ovicide, larvicide, anti nutritionnelle et inhalatrice (**Keïta et al., 2000 ; Regnault-Roger, 2002, Camara, 2009**). Mis à part l'inhibition de l'éclosion des œufs, les vapeurs d'huiles essentielles accroissent la mortalité des larves.

I.4.4. Les huiles essentielles de *Cymbopogon citratus*

L'huile essentielle de citronnelle est obtenue par hydrodistillation, par l'entraînement à la vapeur, et distillation sèche à partir des feuilles et tiges fraîches ou sèches. La matière fraîche de citronnelle contient de 0,1 à 0,2% d'HE et parfois 0,3% et la matière sèche en contient 0,1% (**Lawal et al., 2017**).

1.4.4.1. Utilisation de l'huile essentielle de *Cymbopogon citratus* dans la protection des denrées stockées contre les insectes ravageurs

Les études menées par (**Vama et al., 2019**) ont montré les effets insecticides de l'huile essentielle *C. citratus* sur *Cylas puncticollis* Boheman, pour la protection de la patate douce. Ces auteurs ont montré que l'huile essentielle de *C. citratus* a des effets protecteurs vis-à-vis des *Cylas puncticollis* Boheman ravageurs de la patate douce ; de même les travaux effectués

par (Mpika *et al.*, 2023) ont montré les effets protecteurs de *C. citratus* contre la Bruche de haricot.

I.4.5. Les impacts environnementaux sur les métabolismes secondaires des plantes

Les changements environnementaux tels que les facteurs biotiques et abiotiques peuvent altérer les différentes voies métaboliques d'une plante, provoquant la biosynthèse ou la disparition de divers composés. Les conséquences d'une telle situation pourraient être une variation de la physiologie et des métabolismes de la plante entière avec des implications sur les utilités potentielles. (Fokom *et al.*, 2019). L'âge de la plante, le stade de développement, la luminosité, la température, les précipitations, la composition du sol, le niveau de pollution et les interactions microbiennes du sol sont responsables de cette observation (Santos *et al.*, 2009 ; Lermen *et al.*, 2015 ; Urcoviche *et coll.*, 2015 ; Sá *et al.*, 2015). Parmi les facteurs biotiques, l'inoculation avec des champignons AM peut influencer l'interaction sol-microbiens-plantes, conduisant ainsi à la production de composés chimiques bioactifs dans les plantes médicinales et aromatiques (Kapoor *et al.*, 2002 ; Karagiannidis *et coll.*, 2011). Cela peut être le résultat de meilleures conditions nutritionnelles dans l'environnement ou comme mesure de protection de l'hôte contre la présence du champignon (Volpin *et al.*, 1994). Les racines d'environ 70 % à 90 % des espèces végétales ont la capacité de former une symbiose avec certains champignons du sol connus sous le nom de mycorhizes (Smith *et Read*, 2008). Avec le développement des activités de recherche dans le domaine de la mycologie, la symbiose mycorhizienne est reconnue pour être très importante pour la gestion durable des écosystèmes agricoles (Jeffries *et al.*, 2003 ; Barrios, 2007 ; Smith *et Read*, 2008). Les champignons AM sont connus comme la forme d'association la plus courante qui améliore le développement des plantes, la nutrition et la teneur en métabolites secondaires (Smith *et Read*, 1997 ; Nell *et coll.*, 2010). Le potentiel des champignons AM à affecter la synthèse de composés secondaires dans diverses cultures, y compris les plantes médicinales, a été étudié. Les huiles essentielles sont synthétisées et stockées dans les structures foliaires des plantes responsables de la production d'huile connues sous le nom de glandes peltées (Gang *et al.*, 2001).

CHAPITRE 2 : MATERIEL ET METHODES

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES

II.1. Matériels

II.1.1. Matériel végétal

Deux huiles essentielles de *C. citratus* ont été offertes gracieusement par le Laboratoire de Microbiologie des Sols, du Centre Biotechnologique de NKOLBISSON, Université de Yaoundé I, Cameroun dont la première est issue de la plante de *C. citratus* non mycorhizé composée du myrcène, l'isogéranial, le néral, le 6-méthyl-5-hepten-2-one et le géraniol à une proportion de 85,85% et la deuxième de la plante de *C. citratus* mycorhizé composée de même constituants à 86,84% (Fokom *et al.*, 2019).

II.1.2. Matériel animal

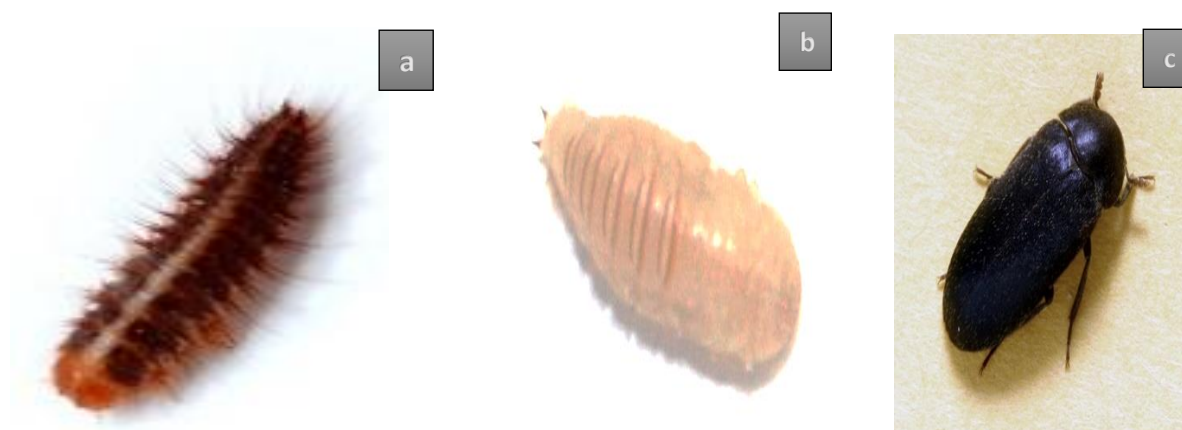
Le poisson fumé de l'espèce *Clarias gariepinus* (*C. gariepinus*) communément appelée silure a été acheté au marché de MELEN de la localité de Yaoundé. Les insectes du genre *Dermestes* et *Necrobia* ont été collectés à partir du poisson fumé infesté pour un élevage préalable. Les populations utilisées pour les tests biologiques sont issues de cet élevage de masse au laboratoire.



Photographie 1: Poisson fumé (*C. gariepinus*) (Memadji, 2023).



Photographie 2: Stades de développement de *N. rufipes* : phase larvaire (a) ; phase nymphale (b) ; phase adulte (c) (Memadji, 2023).



Photographie 3: Stades de développement de *D. maculatus* : phase larvaire (a) ; phase nymphale (b) ; phase adulte (c) (**Memadji, 2023**).

II.2. METHODES

II.2.1. Elevage des *D. maculatus* et *N. rufipes*

Etant donné que les poissons fumés constituent l'aliment de base des *D. maculatus* et *N. rufipes*, les charançons matures ont été élevés pendant deux mois sur les poissons fumés. Pratiquement, Les insectes ont été collectés à l'aide d'une pincette et introduits dans les lots de poissons fumés non infectés dans les seaux de 5litres ; les seaux ont été couvert des tissus poreux. L'ensemble des seaux ont été déposés dans une enceinte à température ambiante. Le cycle de développement a été suivi durant 42 jours selon la littérature (**Delobel et Maurice, 1982**). Après cet élevage, une masse d'insecte a été récoltée pour effectuer les différents tests biologiques.

II.2.2. Test de résistance de *D. maculatus* et *N. rufipes*

Pour déterminer la résistance aux conditions extérieures des *D. maculatus* et *N. rufipes*, 10 larves de chaque espèce ont été sélectionnées et soumises à une période de jeûne de 7 jours. Le comportement des insectes a été évaluée toutes les 6 heures et les cas de mortalité ont été enregistrés simultanément. Ce test nous a permis de ne pas confondre la mort provoquée par la famine et celle provoquée par d'autres facteurs tels que les composés actifs contenus dans les huiles essentielles lors de nos expérimentations.

II.2.3. Préparation des solutions des huiles essentielles

Pour les besoins d'analyse biologique, les huiles essentielles ont été préparées dans le tween 80 à 5% ; pour ce fait, le tween 80 a été préalablement préparé à 5% dans l'eau distillée sur la base de pourcentage (v/v).

La gamme de concentration a été déterminée sur la base de plusieurs tests préliminaires au laboratoire. Ainsi, pour chacune des deux huiles (HE de *C. citratus* non mycorhizé noté I ou en abrégé HE I et *C. citratus* mycorhizé noté II ou HE II), nous avons effectués des dilutions avec le tween 80 (solution à 5%) pour obtenir des concentrations expérimentales finales dont les pourcentages (v /v) sont respectivement de 3% ; 4% et 5%.

II.2.4. Dispositifs expérimentaux du bio-essai in vitro et in vivo

Les tests de répulsion et les tests de toxicité par contact sur papier filtre ont été effectués à la température ambiante dans les boîtes de Pétri (9 cm³ de diamètre) avec 200µL et 1ml des solutions des huiles essentielles rependue sur les disques de papier filtre respectivement ; tandis que les tests de toxicité par fumigation ont été effectués dans des bocaux en verre de 270 cm³ placés dans une chambre à la température ambiante. Des insectes âgés de sept jours ou plus ont été utilisés pour les différents tests. Les tests *in vivo* ont été réalisés dans les seaux de 5 litres contenant 200g de poisson fumé traité avec 1,5ml des solutions des huiles essentielles, placés à la température ambiante. Tous les tests ont été répétés deux fois.

II.2.5. Effets larvicides des huiles essentielles de *C. citratus* sur les larves de *D. maculatus* et *N. rufipes* par contact sur papiers filtres

La toxicité des huiles essentielles par contact vis-à-vis des larves de *D. maculatus* et *N. rufipes* a été évalué selon la technique de Mboussy *et al.*, (2021).

❖ Principe

Le principe de ce test repose sur l'interaction entre les constituants des huiles essentielles et les processus physiologiques normaux des insectes pour induire leur mort.

❖ Mode opératoire

La toxicité par contact sur papier filtre des huiles essentielles a été évaluée en utilisant les concentrations respectives de 3%, 4% et 5% tel que décrit par Mboussy *et al.*, (2021). En effet, 1ml de chacune des HEs aux différentes concentrations a été répandu sur du papier filtre (Whatman HPL3.1) tapissant une boîte de pétrie de 9 cm³ de diamètre. Par la suite, 10 larves de *N. rufipes* et *D. maculatus* de stade 3 et 5 de développement respectivement ont été introduits

dans les boîtes de Pétri, fermées et scellées avec du papier para film. L'ensemble a été incubé à température ambiante pendant 96 heures. Deux répétitions ont été effectuées pour tous les traitements et les contrôles étaient constitués de tween 80 à 5%. Les larves ont été dénombrées toutes les 24 heures pendant les quatre jours d'exposition. Le pourcentage de mortalité a été déterminé selon la formule **d'Abbott (1925)** :

$$MC = \frac{Mo - Mt}{10 - Mt} * 100$$

MC : Mortalité Corrigée ; Mo : Mortalité induite par les huiles essentielles ; Mt : Mortalité enregistrée dans les lots témoins.



Photographie 4: Dispositif expérimental de la toxicité des HEs par contact sur papier filtre (**Memadji, 2023**).

II.2.6. Effet insectifuge des huiles essentielles de *C. citratus*

❖ Principe

Le principe de ce test repose sur la capacité des HEs à émettre des substances volatiles (terpènes) qui constituent une barrière empêchant les insectes à se mettre en contact avec la surface de l'hôte.

❖ Méthode

L'effet insectifuge des huiles essentielles vis-à-vis des larves de *D. maculatus* et *N. rufipes* a été évalué selon la technique de **McDonald et al. (1970)** en utilisant la méthode de la zone préférentielle sur papier filtre (**Mpika et al., 2023**).

Dans cette expérience, les disques de papier filtre de 9 cm³ de diamètre ont été coupés en deux parties égales (31,80 cm² chacune). Les solutions des HEs préparées précédemment ont été réparties uniformément sur l'un de demi-disque du papier filtre (Whatman HPL3.1). L'autre moitié du papier a reçu uniquement 200µl de tween 80 à 5% servant de témoin. Les deux demi-disques ont été rassemblés par une bande adhésive transparente et placés dans les boîtes de pétri. Ensuite, 10 larves de *N. rufipes* et *D. maculatus* de stade 3 et 5 de développement

respectivement de sexes confondus ont été disposées au centre de chaque boîte de pétri. Deux répétitions ont été réalisées pour chaque concentration de chacune de ces huiles. Les boîtes de pétri ont été placées sur la palliasse à une température ambiante. Il a été réalisé le dénombrement des insectes présents sur chaque demi-disque dans les boîtes chaque deux heures au bout de six heures comme indique la figure 5 ci-dessous. Le pourcentage de répulsion a été calculé selon la formule de **M Donald et al. (1970)** :

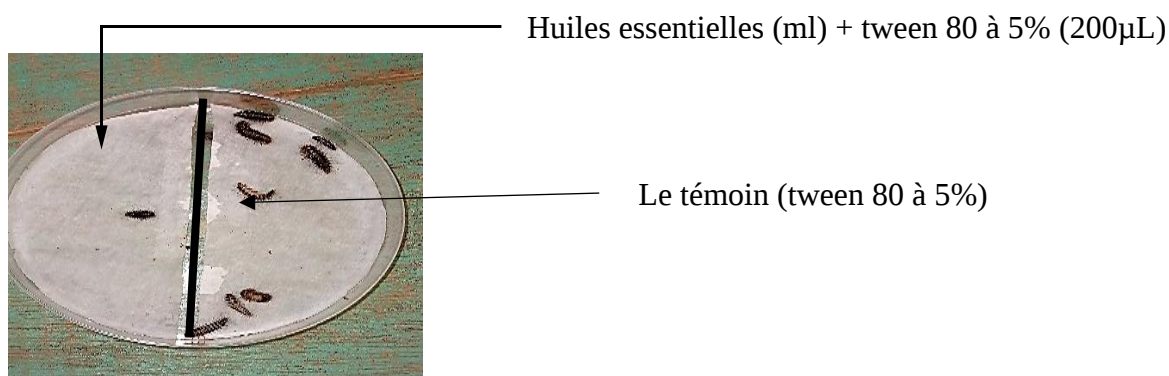
$$PR(\%) = \frac{Nc - Nt}{Nc + Nt} * 100$$

Nc : nombre d'insectes présents sur la partie du disque traité uniquement au tween 80 à 5% ;

Nt : nombre d'insectes présents sur la partie du disque traité avec les solutions des huiles essentielles. Le pourcentage moyen de répulsion pour chaque dose des huiles essentielles vis-à-vis de *D. maculatus* et *N. rufipes* a été calculé et attribué à l'une des différentes classes répulsives variant de 0 à 5 comme indiqué dans le tableau 1 (**Mc Donald et al., 1970**).

Tableau 2 : Classification de la répulsivité selon **Mc Donald et al., (1970)**

Classe	Intervalle de répulsion
0	$PR \leq 0,1\%$
I	$0,1 < PR \leq 20\%$
II	$20,1 < PR \leq 40\%$
III	$40,1 < PR \leq 60\%$
IV	$60,1 < PR \leq 80\%$
V	$80,1 < PR \leq 100\%$



Photographie 5: Dispositif expérimental du test de répulsion (**Memadji, 2023**).

II.2.7. Effets insecticides des huiles essentielles de *C. citratus* par fumigation en absence et présence du poisson fumé

L'effet fumigant des huiles essentielles vis-à-vis des larves de *D. maculatus* et *N. rufipes* a été évalué selon la technique de (Mboussy et al., 2021).

❖ Principe

Le principe de ce test repose sur l'activité des monoterpènes volatiles (effets fumigants ou inhalants) contenus dans ces HEs vis-à-vis des insectes.

❖ Mode opératoire

Dans des bocaux en verre de 270 cm³ de volume à couvercle étanches, 10 imagos de *D. maculatus* et *N. rufipes* de sexes confondus ont été introduites dans chacun des bocaux et dans d'autres bocaux il a été introduit 50 g de poissons fumés avant d'introduire 10 imagos de sexes confondus. Des disques de papier filtre (Whatman HPL3.1) de 9 cm³ de surface ont été fixés chacun à l'aide d'un fil noir au centre de la face interne des couvercles afin qu'ils prennent la mi-hauteur de ces bocaux (figure 6 et 7). 1ml des concentrations des huiles essentielles de 3%, 4% et 5% ont été répandues sur ces disque de papier filtre. Parallèlement, le témoin ayant reçu uniquement 1ml de tween 80 à 5%. Chaque traitement a été répété deux fois. L'ensemble des tests a été réalisé à une température ambiante durant 96 heures. Le dénombrement des insectes morts a été effectué chaque 24 heures dans chaque bocal au bout de quatre jours d'exposition. Le pourcentage de mortalité a été déterminé selon la formule d'Abbott (1925) :

$$MC = \frac{Mo - Mt}{10 - Mt} * 100$$

MC : Mortalité Corrigée ; Mo : Mortalité induite par les huiles essentielles ; Mt : Mortalité enregistrée dans les lots témoins.



Photographie 6: Dispositif expérimental du test de fumigation en absence de poisson fumé (Memadji, 2023).



Photographie 7: Dispositif expérimental du test de fumigation en présence de poisson fumé (Memadji, 2023).

II.2.8. Test In-vivo des effets protecteurs des huiles essentielles de *C. citratus* sur le poisson fumé contre les adultes de *N. rufipes* et *D. maculatus*

❖ Principe

Le principe repose sur la capacité des composants des HEs de la citronnelle à protéger le poisson fumé en suivant le cycle de développement des insectes durant 42 jours.

❖ Mode opératoire

Dans les seaux en plastique de 5litres, il a été introduit trois poissons fumés de masse moyenne de 200g. Ces poissons ont été traités par la concentration de 5% pour chacune des deux huiles essentielles. Il a été déposé 10 adultes de *D. maculatus* et *N. rufipes*, l'ensemble des seaux ont été recouvert d'un tissu poreux. Le lot témoin a été traité uniquement avec le tween 80 à 5% et le contrôle négatif était non traité. Deux répétitions ont été effectuées pour chaque traitement. L'ensemble des seaux a été placé dans une enceinte à une température ambiante comme indique la figure 8 ci-dessous. Les insectes morts ont été dénombrés tous les 14^e jours au bout de 42 jours. Après le dénombrement, les taux de mortalité des adultes témoins et traités ont été calculés selon la formule suivante :

$$\text{Taux de mortalité (TM)\%} = \frac{\text{Nombre de mort}}{\text{Nombre total}} * 100$$



Photographie 8: Dispositif expérimental du test de toxicité par contact aux poissons fumés des huiles essentielles de la citronnelle sur le poisson fumé contre les *N. rufipes* et *D. maculatus* (Memadji, 2023).

II.2.8.1. Evaluation de l'émergence des larves

Après 42 jours de traitement, les échantillons ont été émiettés et les larves émergées ont été comptées, le nombre des larves émergées a été estimé en fonction des traitements. Le test a été effectué grâce à la méthode décrite par Ndrianaivo *et al.*, (2016).

II.2.9. Suivi sensoriel cinétique du poisson fumé au cours de 42 jours de stockage

Le suivi sensoriel consistait à déterminer le degré d'altération des poissons fumés et leurs caractéristiques, au niveau de l'aspect odeur, couleur et texture. Une question portant sur l'acceptabilité du produit a été posée à la fin du test. Les poissons des cinq échantillons ont été présentés un par un aux panelistes composés de 30 consommateurs habituels de poissons fumés chaque 14 jours pendant 42 jours. Les caractéristiques sont notées de façon consensuelle.

II.2.10. Appréciation de la mortalité des insectes

Un insecte a été considéré comme mort lorsqu'il a été trouvé en décubitus dorsal ou ventral, le corps raide. Il ne présentait aucune réaction surtout au niveau des pattes et des antennes après stimulation au moyen d'une pince à bruches (Mboussy *et al.*, 2021).

II.2.11. Variables mesurées et calculées

Trois variables ont été mesurées à l'intervalle régulier après l'incubation des boîtes, des bocal et des seaux :

- ✓ Insectes présents sur chaque demi disque dans une boîte de Pétri,
- ✓ Insectes morts dénombrés pour la toxicité des huiles essentielles,
- ✓ Et les larves émergées sur les poissons fumés après leur contact avec les huiles essentielles.

II.2.12. Analyses statistiques

Les résultats obtenus ont fait l'objet d'une analyse descriptive pour le calcul des moyennes, des écarts types et la recherche des différences significatives à l'aide du logiciel Statistical Package for Social Sciences (SPSS) version 22.0. Le test d'Analyse de Variance (ANOVA) couplé au test de Tukey a été utilisé pour évaluer la plus petite différence significative au niveau de probabilité de 0,05 et d'effectuer les calculs et de réaliser les graphes.

CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSION

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSIONS

III.1. RESULTATS

III.1.1. Elevage de *N. rufipes* et *D. maculatus*

L'élevage de *N. rufipes* et *D. maculatus* nous a permis d'obtenir un nombre adéquat d'individus matures qui ont été utilisés dans nos expériences alors que les poissons fumés étaient transformés en poudre, signe évident de leur consommation par l'insecte et cause certaine de leur multiplication. Après 42 jours, suffisamment de charançons ont été multipliés pour les essais biologiques.

III.1.2. Test de résistance de *N. rufipes* et *D. maculatus*

Les Figures 6a et 6b ci-dessous montrent les pourcentages de résistance des *N. rufipes* et *D. maculatus* en fonction de temps.

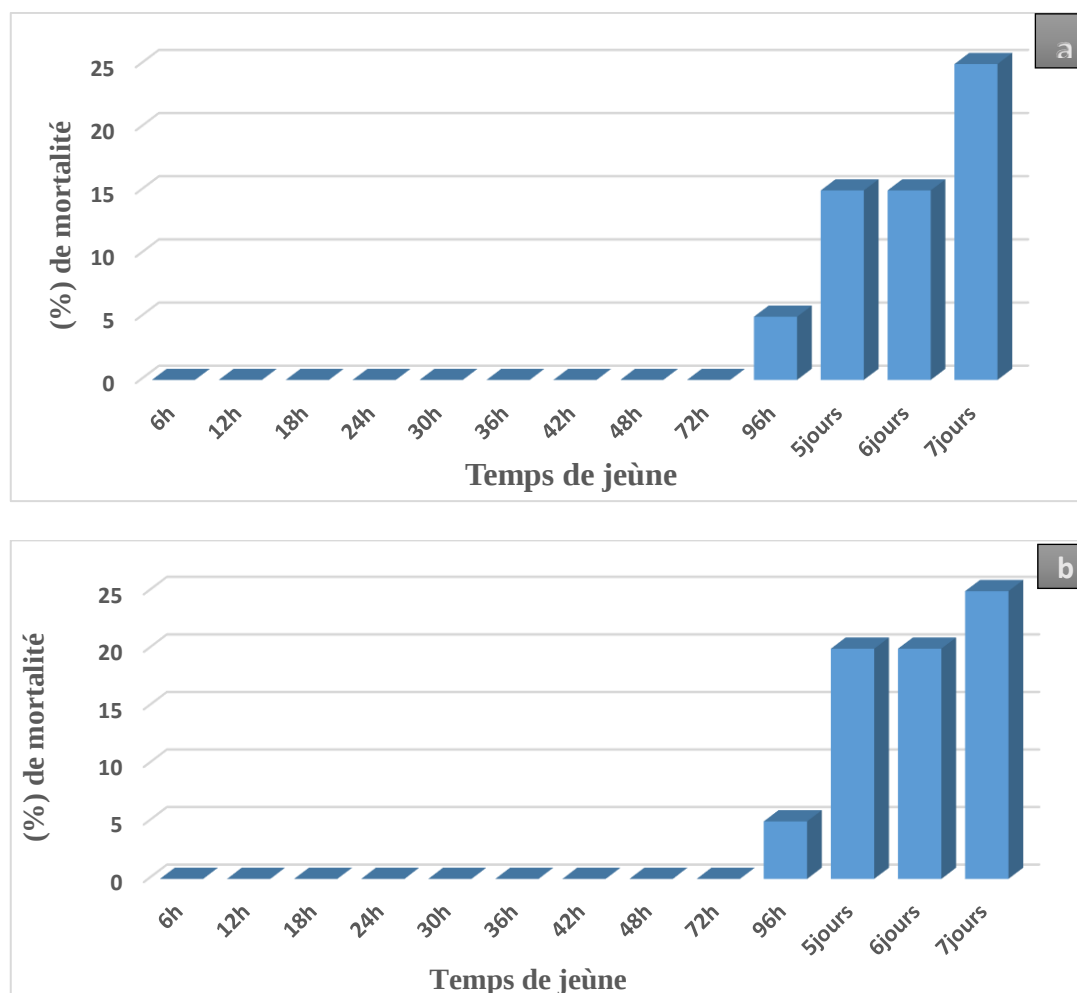


Figure 6 : Cas de mortalité de *N. rufipes* (a) et *D. maculatus* (b) causés par le jeûne.

Lors de cet essai, la soumission des larves à la période de jeûne a montré qu'ils peuvent survivre au jeûne pendant 4 jours maximum. Après cette période de survie, les mortalités ont été enregistrées et sont présentées dans les figures 6a et 6b.

III.I.3. Effets toxiques des huiles essentielles I et II

La Figure 7 ci-dessous présente les pourcentages de mortalité cumulés des *N. rufipes* et *D. maculatus* après 24H ; 48H ; 72H et 96H.

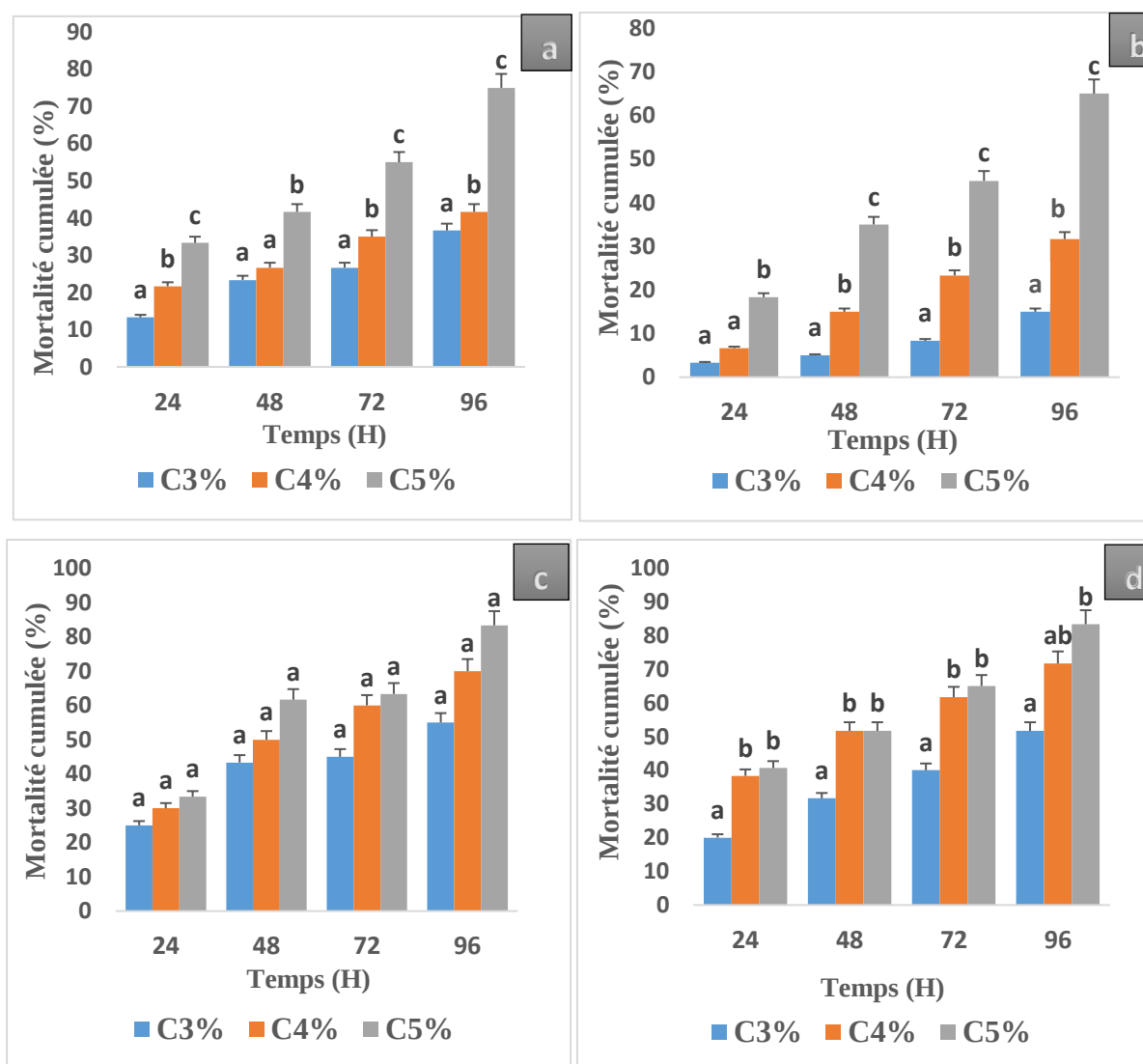


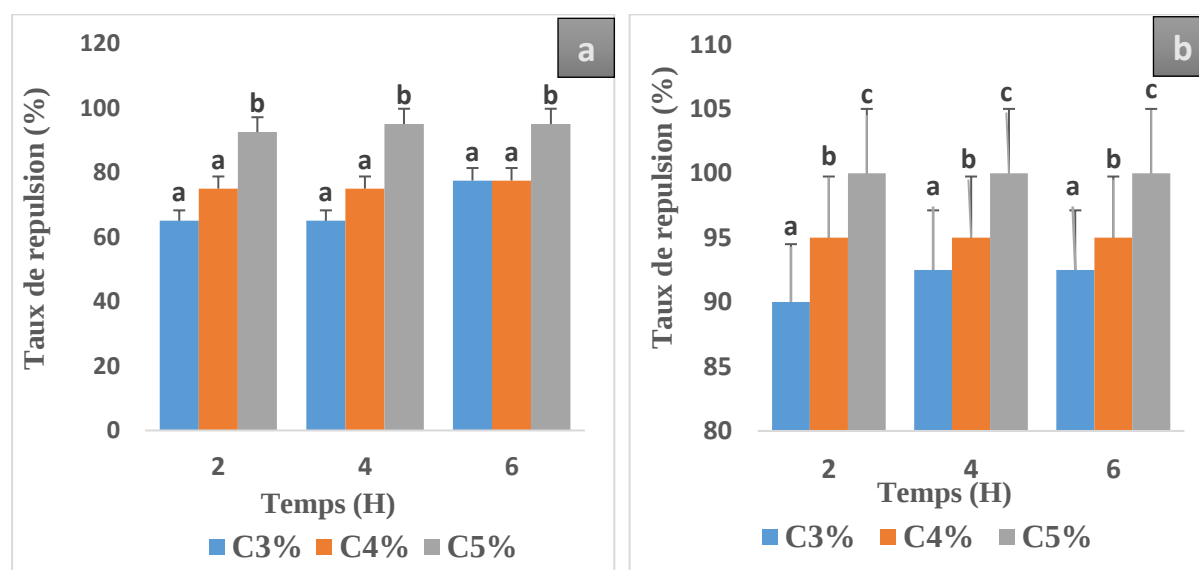
Figure 7 : Influence des HEs de la citronnelle : action de HE I sur *N. rufipes* (a) et *D. maculatus* (b) et l'action de HE II sur *N. rufipes* (c) et *D. maculatus* (d) par contact sur papier filtre.

Les barres portant les différentes lettres représentent les valeurs significativement différentes, test de Tukey. C3% : Concentration de 3% ; C4% : Concentration de 4% ; C5% : Concentration de 5%.

La Figure 7 ci-dessus montre que les HEs de *C. citratus* en contact avec les larves de *N. rufipes* et *D. maculatus* ont induit les taux de mortalité qui évoluent proportionnellement par rapport aux concentrations testées et aux temps d'exposition. Les concentrations de 4% et 5% ont influencé significativement ($P < 0,05$) les taux de mortalité par rapport à la concentration de 3% pour l'HE I avec les deux espèces d'insectes (Figure 8a et 8b). Cependant ces résultats n'ont pas été significativement ($P > 0,05$) différents avec l'HE II sur les *N. rufipes* mais significativement ($P \leq 0,05$) différents sur les *D. maculatus* par rapport à la concentration de 3% (Figure 7c et 7d). A la concentration de 4% les taux de mortalité de 21,66% ; 26,66% ; 34,99% et 41,66% des *N. rufipes* ont été enregistré pendant 24H, 48H, 72H et 96H respectivement avec l'HE I de (Figure 8a) et 6,66% ; 14,99% ; 23,33% et 31,66% des *D. maculatus* ont été enregistré avec la même concentration et même temps d'exposition (Figure 7b) ; avec cette même concentration et temps d'exposition on note les taux de mortalité de 40% ; 50% ; 59,99% et 70% des *N. rufipes* et 38,33% ; 51,66% ; 61,66% et 71,66% des *D. maculatus* ont été enregistrés. A la concentration de 5%, les taux de mortalité de 33,33% ; 41,66% ; 55% et 75% des *N. rufipes* et 18,33% ; 34,99% ; 44,99% et 65% des *D. maculatus* ont été enregistrés pendant 24H ; 48H ; 72H et 96H respectivement avec l'HE I (Figure 7a et 7b) ; et 33,33% ; 61,66% ; 63,33% et 83,33% des *N. rufipes* et 40,66% ; 51,66% ; 64,66% et 83,33% des *D. maculatus* avec l'HE II (Figure 7c et 7d).

III.1.4. Effets insectifuges des huiles essentielles I et II vis-à-vis des *N. rufipes* et *D. maculatus*

La Figure 8 ci-dessous présente les pourcentages de répulsion cumulés des *N. rufipes* et *D. maculatus* pendant 2H ; 4H et 6H.



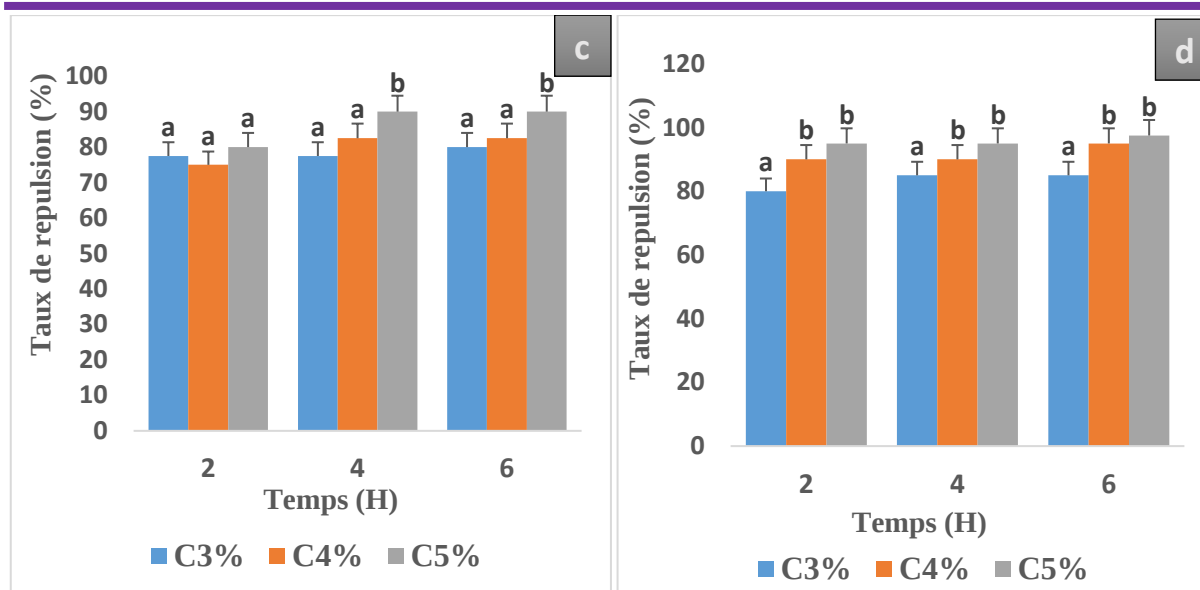


Figure 8 : Effet répulsif des HEs de Citronnelle sur les larves : HE I sur *N. rufipes*(a) et *D. maculatus*(b) et HE II sur *N. rufipes*(c) et *D. maculatus*(d).

Les barres portant les différentes lettres représentent les valeurs significativement différentes, test de Tukey.

C3% : Concentration de 3% ; C4% : Concentration de 4% ; C5% : Concentration de 5%.

On observe de cette Figure 8 ci-dessus que suivant les concentrations considérées, la concentration de 5% de l'HE I a montré les taux de répulsion significativement ($P \leq 0,05$) différents par rapport aux concentrations de 3% et 4% sur l'espèce *N. rufipes* (Figure 8a). Cependant ces résultats n'ont pas été significativement ($P > 0,05$) différents avec l'HE II sur les *N. rufipes* mais significativement ($P \leq 0,05$) différents sur les *D. maculatus* par rapport à la concentration de 3% (Figure 8c et 8d).

Tableau 3: Classement de la répulsivité des huiles essentielles *C. citratus*

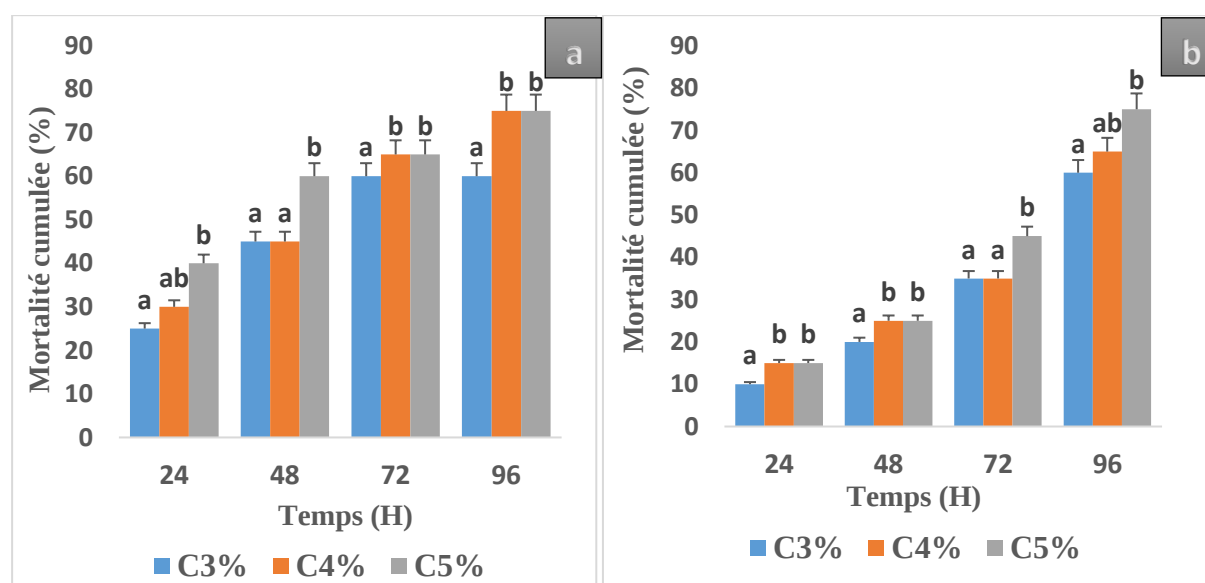
Traitements	Concentrations	<i>N. rufipes</i>		<i>D. maculatus</i>	
		Taux de répulsion (%)	Classe	Taux de répulsion (%)	Classe
HE I	C3%	65% à 77,5%	IV	90% à 92,5%	V
	C4%	75% à 77,5%	IV	95%	V
	C5%	92,5% à 95%	V	100%	V

	C3%	75% à 80%	IV	80% à 85%	V
HE I	C3%	75% à 80%	IV	80% à 85%	V
HE II	C4%	75% à 82,5%	IV	90% à 95%	V
	C5%	80% à 90%	V	95% à 97,5%	V

Il ressort de ces deux tableaux ci-dessus que les huiles essentielles se sont montrées plus répulsives vis-à-vis des *N. rufipes* et *D. maculatus* (classe IV et V), cependant les espèces *D. maculatus* sont plus sensibles aux effets répulsifs des HEs de *C. citratus* avec les taux de répulsion appartenant à la classe V même avec les faibles concentrations (tableau 3).

III.1.5. Effet par fumigation des huiles essentielles de *C. citratus* I et II vis-à-vis des *N. rufipes* et *D. maculatus* en absence de poisson fumé

La Figure 9 ci-dessous présente les pourcentages de mortalité cumulés des *N. rufipes* et *D. maculatus* par fumigation des HEs en absence du poisson fumé pendant 24H ; 48H ; 72H et 96H.



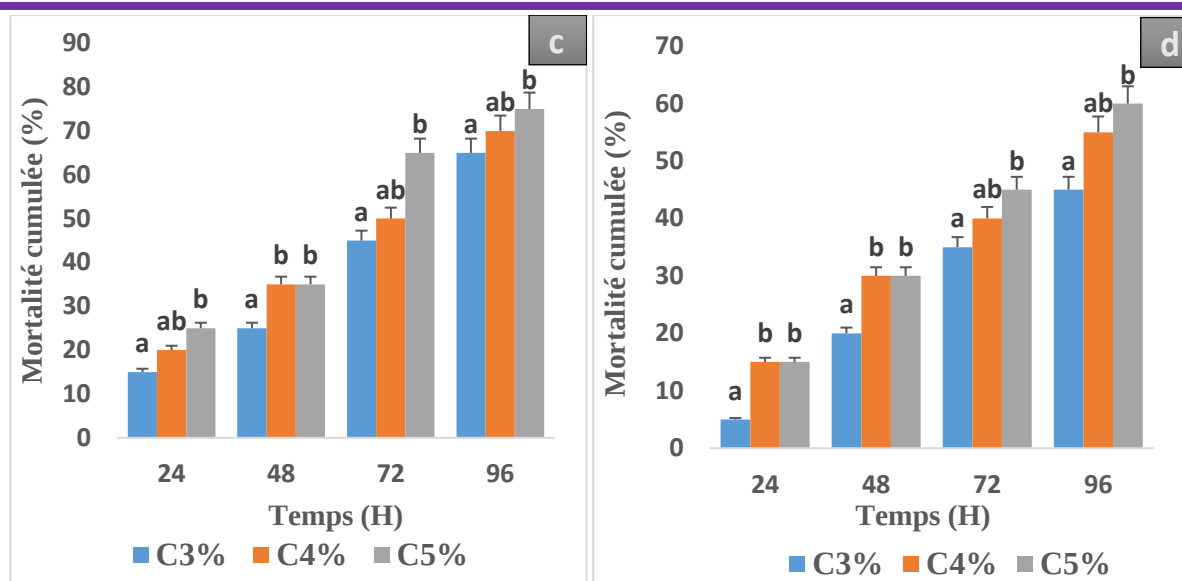


Figure 9 : Influence des HEs de *C. citratus* par fumigation en absence du poisson fumé sur les imagos : HE I sur *N. rufipes*(a) et *D. maculatus*(b) et HE II sur *N. rufipes*(c) et *D. maculatus*(d).

Les barres portant les différentes lettres représentent les valeurs significativement différentes, test de Tukey.
C3% : Concentration de 3% ; C4% : Concentration de 4% ; C5% : Concentration de 5%.

Il ressort de cette figure qu'en absence du poisson fumé, l'activité insecticide de l'HE I et II augmente proportionnellement avec la durée d'exposition pour toutes les concentrations testées. Les concentrations de 4% et 5% ont influencé significativement ($P \leq 0,05$) les taux de mortalité par rapport à la concentration de 3% pour l'HE I et II avec les deux espèces d'insectes (Figure 9a et 9b). Ainsi, avec les concentrations de 4% et 5%, l'HE I a une activité insecticide avec un taux de mortalité de 75% des *N. rufipes* et *D. maculatus* (Figure 9a et 9b) pendant 96h de fumigation ; aux mêmes concentrations l'HE II a montré également les effets insecticides avec les taux de mortalité de 70% des *N. rufipes* (Figure 10c) et 60% des *D. maculatus* (Figure 9d) pendant 96heures de fumigation.

III.1.6. Effets par fumigation des huiles essentielles de *C. citratus* I et II vis-à-vis des *N. rufipes* et *D. maculatus* en présence de poisson fume

La Figure 10 ci-dessous présente les pourcentages de mortalité cumulés des *N. rufipes* et *D. maculatus* par fumigation des HEs en présence du poisson fumé.

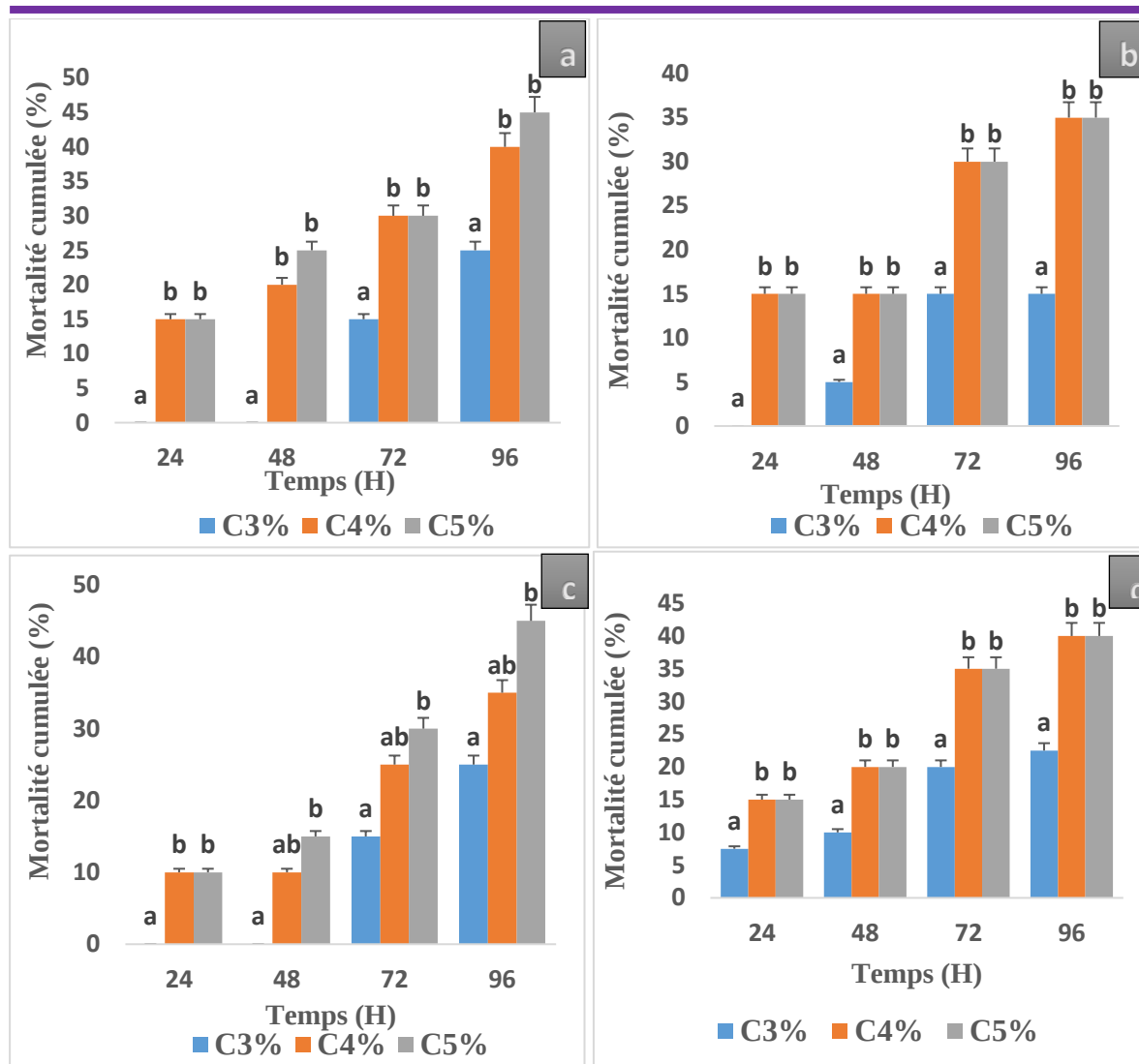


Figure 10 : Influence des HEs de *C. citratus* par fumigation en présence du poisson fumé : HE I sur *N. rufipes* (a) et *D. maculatus* (b) et HE II sur *N. rufipes* (c) et *D. maculatus* (d). Les barres portant les différentes lettres représentent les valeurs significativement différentes, test de Tukey. C3% : Concentration de 3% ; C4% : Concentration de 4% ; C5% : Concentration de 5%.

Il ressort de cette figure que les concentrations 4% et 5% de HE I et II ont augmenté significativement ($P \leq 0,05$) les taux de mortalité par rapport à la concentration de 3% pour les deux espèces d'insectes. Ainsi, avec les concentrations de 4% et 5% les taux de mortalité de 5% ; 15% ; 20% ; 25% et 30% ont été enregistré respectivement pendant 24H ; 48H ; 72H et 96H avec HE I (Figure 10b) ; et 5% ; 15% ; 20% ; 30% et 35% ont été enregistré respectivement pendant 24H ; 48H ; 72H et 96H avec HE II (Figure 10d).

III.2.7. Effets protecteurs in vivo des HE I et HE II à 5% sur les adultes de *N. rufipes* et *D. maculatus*

La Figure 11 ci-dessous présente les pourcentages de mortalité cumulés des *N. rufipes* et *D. maculatus*.

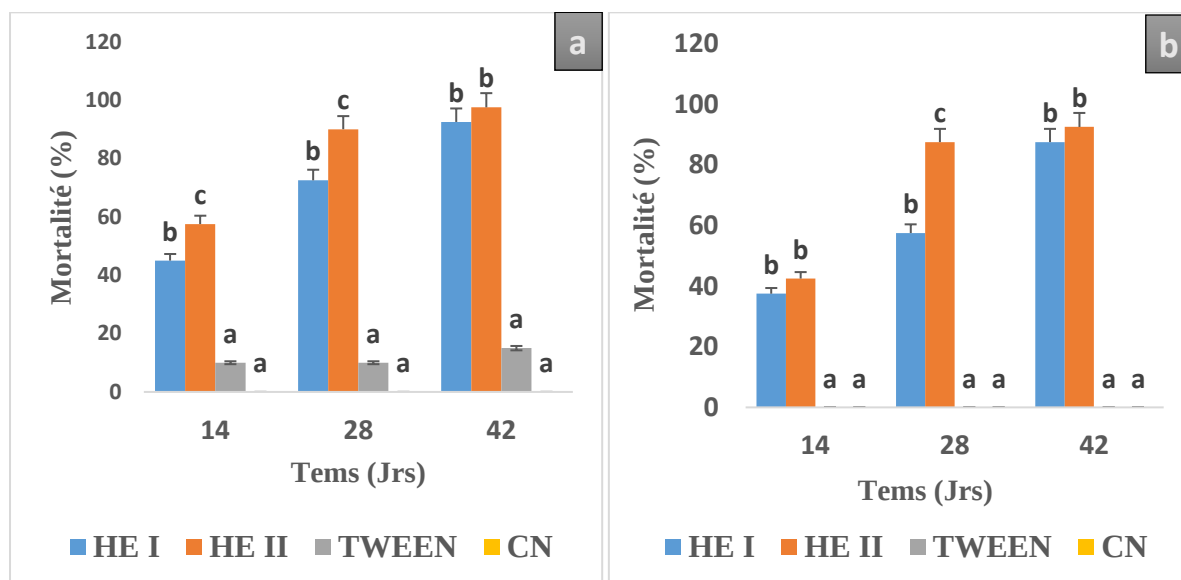


Figure 11 : Influence des huiles de citronnelle sur le poisson fumé contre : *N. rufipes*(a) et *D. maculatus*(b).

Les barres portant les différentes lettres représentent les valeurs significativement différentes, test de Tukey. **HE I** : les échantillons de poisson fumé traités à l'huile essentielle de *C. citratus* non mycorhizé ; **HE II** : les échantillons de poisson fumé traités à l'huile essentielle de *C. citratus* mycorhizé ; **TWEEN** : les échantillons de poisson fumé traités au tween 80 à 5% ; **CN** : les échantillons de poisson fumé non traités et infecté par les insectes.

Il ressort de la figure 11 ci-dessus que les taux de mortalité varient en fonction des différents traitements. En effet les traitements de HE I et HE II à 5% ont significativement influencé les taux de mortalité par rapport aux traitements de TWEEN et CN.

III.2.8. Emergence des larves de *N. rufipes* et *D. maculatus* au cours de 42 jours de traitements

La Figure 12 ci-dessous présente les taux d'émergence des larves de *N. rufipes* et *D. maculatus* en présence des HEs de la citronnelle pendant 42 jours.

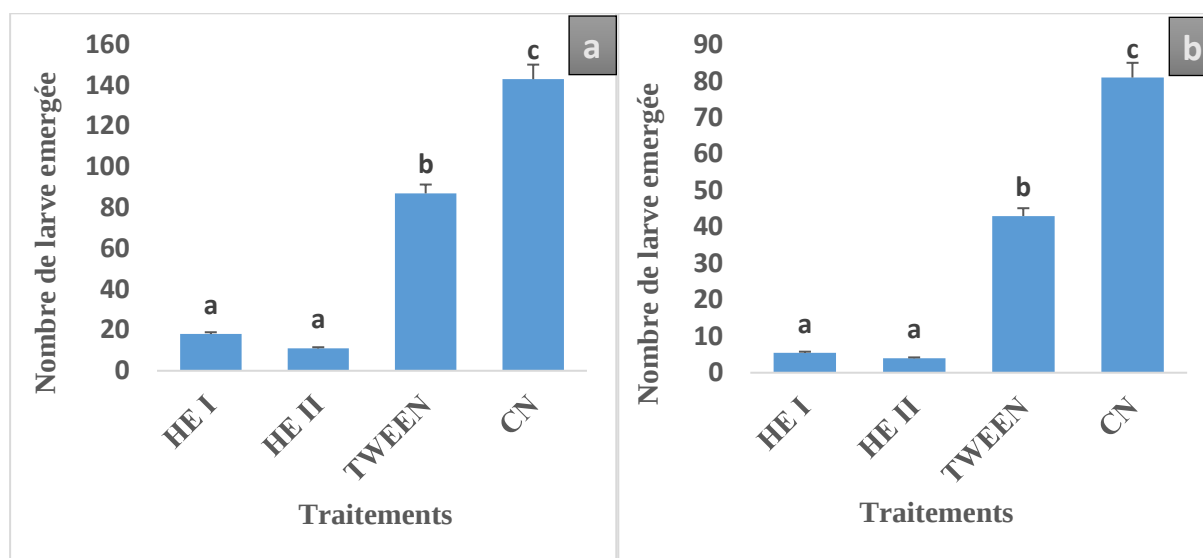


Figure 12 : L'influence des HEs de citronnelle sur l'oviposition de : *N. rufipes*(a) et *D. maculatus*(b)

Les barres portant les différentes lettres représentent les valeurs significativement différentes, test de Tukey. **HE I** : les échantillons de poisson fumé traités à l'huile essentielle de *C. citratus* non mycorhizé ; **HE II** : les échantillons de poisson fumé traités à l'huile essentielle de *C. citratus* mycorhizé ; **TWEEN** : les échantillons de poisson fumé traités au tween 80 à 5% ; **CN** : les échantillons de poisson fumé non traités et infecté par les insectes.

Il ressort de cette Figure 12 que l'émergence des larves de *N. rufipes* et *D. maculatus* n'est pas significativement ($P > 0,05$) différente pour les échantillons HE I et HE II. Cependant, cette émergence est significativement ($P < 0,05$) différente pour les échantillons TWEEN et CN par rapport aux HE I et HE II. Ainsi, il a été enregistré 18 et 11 larves de *N. rufipes* (Figure 13a) ; 4 et 5 des *D. maculatus* (Figure 13b) des échantillons HE I et HE II respectivement à la dose de 5%. Dans les lots de TWEEN 87 larves de *N. rufipes* (Figure 13a) et 43 larves de *D. maculatus* (Figure 13b) émergées ont été dénombrées ; tandis que dans les lots de CN, 143 larves de *N. rufipes* (Figure 13a) et 81 larves de *D. maculatus* (Figure 13b) ont été dénombrées pendant les 42 jours de traitement.

III.2.9. Suivis sensoriels cinétique du poisson fumé au cours de 42 jours du stockage

Après les traitements, le produit alimentaire près à la consommation ou pour atteindre le marché doit présenter une texture, une odeur, une couleur attirante et une meilleure

acceptabilité générale. Les Figures ci-dessous présentent les résultats du suivi qualitatif des aspects (couleur, odeur, texture et acceptabilité générale) des cinq échantillons du poisson fumé avec cinq traitements différents :

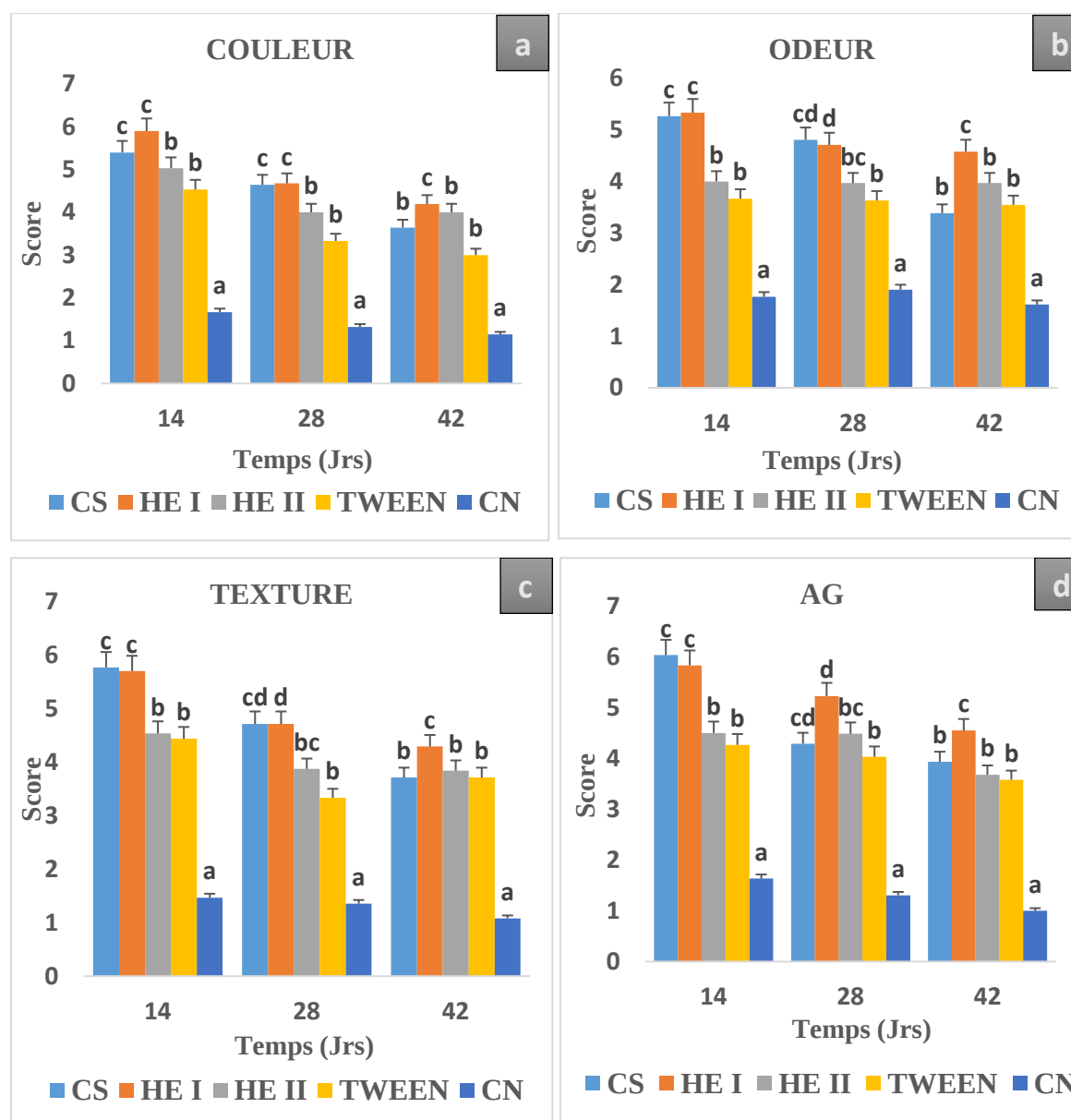


Figure 7: Influence des traitements sur les qualités sensorielles du poisson fumé.

Les barres portant les différentes lettres représentent les valeurs significativement différentes, test de Tukey. CS : les échantillons de poisson fumé non traités et non infectés servant de contrôle de stérilité ; HE I : les échantillons de poisson fumé traités à l'huile essentielle de *C. citratus* non mycorhizé ; HE II : les échantillons de poisson fumé traités à l'huile essentielle de *C. citratus* mycorhizé ; TWEEN : les échantillons de poisson fumé traités au tween 80 à 5% ; CN : les échantillons de poisson fumé non traités et infecté par les insectes servant de contrôle négatif.

➤ Couleur

La Couleur, qui est définie comme une sensation résultant de l'impression produite sur l'œil par une lumière émise par une source, les résultats variaient de 1,64 à 5,90 sur une échelle de 1 à 7. Ces échantillons ont présenté des différences significatives ($P < 0,05$). L'échantillon HE I s'en est sorti avec le meilleur score après 42 jours (figure 14a). Ce qui pourrait être expliqué par l'amélioration de la couleur du poisson fumé par l'huiles essentielles de *C. citratus* ;

➤ Odeur

L'odeur, qui est une sensation particulière produite sur l'organe de l'odorat par les émanations volatils (de certains corps) souvent qualifiée de molécules odorante ou de parfum. Ici, les résultats pour ces échantillons ont présenté des différences significatives ($P < 0,05$) et le meilleur score a été attribué à l'échantillon HE I (figure 14b). Ce qui pourrait être dû aux composés aromatiques des huiles essentielles de *C. citrates* à améliorer l'odeur du poisson ;

➤ Texture

La texture est une caractéristique visuelle ou tactile de la surface et l'apparence de quelque chose. C'est la résultante d'une certaine teneur, une destruction du produit due aux agents externes et la décomposition du produit. Ici, les résultats ont montré des différences significative ($P < 0,05$) et l'échantillon HE I est sorti avec le meilleur score (figure 14d). Cette texture pour l'échantillon HE I pourrait se justifier par la capacité des huiles essentielles de préserver les poissons fumés contre les infestations d'insecte et leur destruction

➤ Acceptabilité générale

Les résultats de cette analyse effectuée sur les échantillons HE I, HE II, TWEEN et CS ont présenté des différences significatives ($P < 0,05$) et le meilleur score est attribué à l'échantillon HE I (figure 14d). Ceci pourrait être expliqué par la capacité de l'huile essentielle de *C. citratus* à protéger non seulement le poisson fumé contre les insectes nuisibles mais d'assurer également les qualités organoleptiques de ces poissons.

III.2. DISCUSSION

Au cours du stockage, les poissons fumés demeurent des denrées hautement périssables qui subissent des dépréciations tant quantitatives que qualitatives dues aux infestations par les insectes nuisibles (Keita, 2005 ; Folorunso *et al.*, 2006 ; Ndrianaivo *et al.*, 2016 ; Sameza *et al.*, 2016). Les études menées montrent qu'en Afrique subsaharienne, les dermestes et les nécrobia constituent les insectes les plus nuisibles au stockage du poisson fumé à Madagascar,

au Bénin, au Nigéria, au Tchad, au Mali et au Cameroun (**Folorunso et al., 2006**). Les produits chimiques synthétiques sont les moyens utilisés par les transformateurs et les commerçants pour réduire les pertes. Cependant, des conséquences folles sur la santé des consommateurs ont été enregistrées (**Rochester et al., 2015**). Cet état constitue aujourd'hui une grande préoccupation dans le monde entier. La recherche de solutions alternatives de protection des denrées stockées par l'usage de substances telles que les essences végétales à effet insecticide se présente comme une alternative (**Cissokho et al., 2015**). Dans la présente étude nous nous sommes proposé d'évaluer les effets insecticides et insectifuges des huiles essentielles de *C. citratus* cultivé avec et sans traitement mycorhizé sur deux ravageurs du poisson fumé.

Le test de résistance des espèces *N. rufipes* et *D. maculatus* effectué pendant 7 jours révèle que ces espèces ont la capacité de survivre dans un environnement extérieur à l'abri de leur alimentation pendant 7 jours. Cette capacité pourrait être expliquée par leurs processus physiologiques à adhérer aux conditions environnementales.

Le test de confrontation directe réalisé *in vitro* sur papier filtre a mis en évidence une forte action larvicide des HEs de *C. citratus* vis-à-vis de *N. rufipes* et *D. maculatus* après 96 heures d'exposition, à 3% ; 4% et 5%. Il ressort que les HEs de *C. citratus* ont induit le taux de mortalité de 83,33% avec la plus forte concentration sur les deux ravageurs du poisson fumé après 96H d'exposition. Ce résultat est en accord avec certaines études qui ont révélé la toxicité par contact de l'huile essentielle de *C. citratus* contre plusieurs insectes ravageurs de stockage tels que les *S. oryzae* dont la mortalité variait de 10 à 100 % après 48 h (**Franz et al. 2011**), *S. zeamais* (**Kabera et al., 2011**) *Palorus subdepressus* Wollaston, *Rhyzopertha dominica* Fabricius et *Cryptolestes* sp (**Doumbia et al. 2014**). Cette mortalité élevée pourrait s'expliquer par les fortes concentrations du thymol et du citral (monoterpènes). Les monoterpènes ainsi que les composés poly-phénoliques provoquent une perturbation de la motricité naturelle des *N. rufipes* et *D. maculatus*. Les constituants des HEs formeraient un film imperméable sous forme de cuticule isolant le *N. rufipes* et *D. maculatus* de l'air et provoqueraient leur asphyxie. De plus, les HEs sont riches en groupements fonctionnels et ont des propriétés à diffuser facilement à travers les membranes cellulaires (**Boyom et al. 2007**). **Pollack et al. (1990)** ont démontré que la forte toxicité de cette HE serait essentiellement attribuée à l'ascaridole qui en constitue généralement 45 à 75 %.

Les deux huiles essentielles de *C. citratus* testées ont montré un puissant effet répulsif contre *D. maculatus* et *N. rufipes*. Il ressort une très forte répulsion des HEs de *C. citratus* avec

des taux de 95% de *N. rufipes* et 100% de *D. maculatus*. L'activité répulsive de certaines huiles végétales a été constatée par **McDonald et al. (1970)** et **Ndomo et al. (2009)**. Ces auteurs rapportent qu'après 2h d'exposition, de 0,031 à 0,125µl/cm² d'HE des organes de *Callistemon viminalis* ont occasionné une répulsion dont le taux varie de 36,6 à 80% vis-à-vis des adultes de *A. obtectus*. Ils montrent clairement que le taux de répulsion augmente en fonction de la dose. De même, l'activité répulsive des HEs de *C. citratus* a également été démontrée contre les insectes ravageurs des entrepôts tels que *Sitophilus oryzae* L. (**Saljoqi et al. 2006**), *T. castaneum* (**Olivero-Verbel et al. 2010**), *Oryzaephilus surinamensis* (L.) et *S. zeamais* (**Hernandez-Lambraño et al., 2015**). L'effet répulsif des HEs de *C. citratus* et d'*O. gratissimum* est mentionnées dans la littérature (**Tchoumboungnand et al. 2009 ; Mikolo et al. 2009 ; Pandey et al. 2014**). En effet, les HEs de *C. citratus* agissent par répulsion en émettant des substances volatiles (terpènes) qui constituent une barrière empêchant les insectes et les autres arthropodes de se mettre en contact avec la surface de l'hôte (**Brown et Herbert, 1997**). L'activité répulsive de ces huiles essentielles pourraient être attribuées à la présence des composants tels que le géraniol, le néral, le limonène, le linalol, l'eugéno, le citronellol et le citronellal, qui ont été signalés comme répulsifs (**Nerio et al., 2010 ; Olivero-Verbel et al., 2010 ; Baldacchino et al. 2013**). Sachant que la répulsion joue un rôle direct dans la réduction de la ponte et donc l'émergence des adultes (**França et al., 2012**), les huiles essentielles des *C. citratus* peuvent être utilisées comme répulsives contre *D. maculatus* et *N. rufipes* pour la protection des poissons fumés en stockage.

Les bio essais réalisés ont montré que les huiles essentielles de *C. citratus* ont un effet insecticide par fumigation sur les imagos de *N. rufipes* et *D. maculatus*. Les résultats obtenus après ces tests ont montré une relation directe entre les taux de mortalité des imagos des charançons du poisson fumé d'une part et la concentration des huiles essentielles et la durée d'exposition d'autre part. En effet, ces huiles essentielles entraînent 75% de mortalité des imagos à la concentration de 5% après quatre (4) jours d'exposition. Toutefois, toutes les concentrations testées se sont révélées relativement efficace contre les insectes. Des études antérieures avaient démontré que les huiles essentielles de *C. citratus* ont une activité insecticide significative contre certains insectes notamment les larves d'*Anopheles gambiae* Giles (**Tchoumboungnang et al., 2009**), les insectes de *Pectinophora gossypiella* Saunders (**Kobenan et al., 2018**), les puceron *Aphis gossypii*. (**Akantetou et al., 2011**) ; Ces résultats confirment les propriétés insecticides de l'huile essentielle de *C. citratus* utilisée dans cette étude. Les insectes étant exposés, dans notre étude, à la phase vapeur des huiles essentielles

testées, nous pouvons supposer que leur action se fait par l'intermédiaire de leur système respiratoire. Néanmoins, l'effet résiduel des huiles essentielles de *C. citratus* et contre *N. rufipes* et *D. maculatus* peut indiquer un mode d'action neurologique. En effet, d'après **Pamo et al. (2002)** les constituants des huiles essentielles comme les précocènes sont des substances chimiques hautement sélectives qui s'attaquent aux aspects spécifiques du système endocrinien de l'insecte provoquant non seulement un effet toxique mais aussi des désordres dans le processus de développement et de reproduction. Il est probable que les constituants des huiles testées agissent de la même manière sur *N. rufipes* et *D. maculatus*. Des résultats similaires ont été rapportés dans la littérature sur *Drosophila* et sur *Periplaneta americana* (blatte américaines) (**Enan, 2005a ; 2005b**). Ces auteurs ont indiqué que les constituants des huiles essentielles comme l'eugénol, l'alcool cinnamique et le transanethole lient et activent la protéine G couplée aux récepteurs neurologiques et olfactifs, déclenchant une perturbation importante du système métabolique de l'insecte pour induire sa mort. Ce phénomène pourrait justifier le potentiel insecticide des huiles essentielles de *C. citratus* contre *N. rufipes* et *D. maculatus*. Il ne s'agit ici que d'une hypothèse que seules d'autres études notamment l'électroantennographie pourraient confirmer.

L'évaluation *in vivo* des effets protecteurs des huiles essentielles de *C. citratus* contre les adultes de *N. rufipes* et *D. maculatus* montre que les huiles essentielles de *C. citratus* à 5% ont induit les taux de mortalité de 92,5% des deux espèces pendant 42 jours d'exposition. Cette mortalité pourrait s'expliquer par l'influence des HEs de *C. citratus* en tant qu'insecticide sur la croissance des insectes et leur survie au cours de leur cycle de développement durant 42 jours d'exposition. En effet, l'huile essentielle de *C. citratus* renferme plus de composés à effet insecticide et ou insectifuge décrits par la littérature (**Kanko et al., 2017**) ; ces composés sont-elles que myrcène, néral et le géraniol. Le geraniol agit par deux façons sur les insectes quel que soit le stade de métamorphose (œuf, larve, adulte) par un étouffement et par déshydratation en agissant sur la chitine (l'enveloppe protectrice de l'insecte).

Les résultats obtenus après le test *in vivo* ont montré une réduction ou une inhibition du nombre des larves émergées de *N. rufipes* et *D. maculatus* à la première descendance après le traitement en huile essentielle de *C. citratus*., cela indiquerait que les adultes ayant subi ce traitement avaient eu une courte période de survie, qui ne leur a pas permis de réaliser l'oviposition d'où l'inhibition de la première génération. Les huiles essentielles de *C. citratus* pourraient avoir un impact sur l'oviposition et la survie des œufs de *N. rufipes* et *D. maculatus*, elles ont réduit ou inhibé l'émergence de la première génération. En effet, selon **Penntybio,**

(2002) l'application des essences contenant le géraniol sur le substrat alimentaire dont se nourrit l'insecte réduit de manière significative le nombre d'œufs pondus sur ce substrat, influence également l'activité ovicide et a une forte influence sur la ponte des insectes.

Le suivi sensoriel de nos échantillons révèle qu'au cours de 42 jours de traitement, il existe des différences significatives entre les différents traitements, cependant, l'échantillon HE I en est sorti avec le meilleur score. Ceci pourrait s'expliquer par la faculté de l'huile essentielle de *C. citratus* à protéger le poisson fumé non seulement contre les insectes mais également d'améliorer les qualités sensorielles au terme de 42 jours de conservation. En effet, la citronnelle est reconnue pour ses vertus médicinales mais également comme une plante condimentaire (épice). Les propriétés générales des épices sont de conserver, relever les plats, d'apporter des saveurs aux plats et aider à mieux digérer les aliments. Leur consommation est associée à une diminution du risque de maladies chroniques (**Duba, 2019**). La citronnelle a un parfum inimitable à la cuisine asiatique. On la consomme fraîche de préférence ou séchée. Seule la partie blanche et charnue de tige, la plus tendre, est utilisée dans la préparation de nombreux plats indonésiens, thaïlandais, vietnamiens et malaisiens, notamment dans les currys, soupes et plats à base de volailles et produits de mer **Nelly bertini, (2021)**.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

IV.1. CONCLUSION

Au terme de ce travail dont l'objectif général était d'évaluer les effets protecteurs de l'huile essentielle de *Cymbopogon citratus* contre les deux ravageurs du poisson fumé en stockage.

Il en ressort que :

- L'effet insecticide par contact sur papier filtre et par fumigation des huiles essentielles de *C. citratus* a été observé avec les taux de mortalités de 83,3% pour l'huile de citronnelle mycorhizé ainsi que les taux de répulsion de 92,5% et 100% pour l'huile de citronnelle non mycorhizée respectivement pour *N. rufipes* et *D. maculatus* ;
- Les huiles essentielles ont été actives sur les deux insectes ravageurs étudiés avec une réduction significative de l'impact de ces deux insectes sur le poisson fumé au terme de 42 jours de stockage.
- En ce qui concerne le suivi sensoriel, tous les échantillons de poisson fumé traités avec les huiles essentielles de *C. citratus* sont acceptés au terme de 42 jours.

D'une manière générale, les résultats obtenus montrent que l'huile essentielle de *C. citratus* constitue une alternative pour la protection du poisson fumé contre *N. rufipes* et *D. maculatus* pendant le stockage.

IV.2. Perspectives

Ce travail étant le prélude d'un vaste chantier d'investigation, nous nous envisageons de poursuivre cette étude afin de :

- Evaluer le mécanisme d'action des huiles essentielles de *C. citratus* sur tous les stades de développement des insectes ;
- Effectuer l'électroantennographie pour confirmer l'effet toxique des huiles essentielles de *C. citratus* par fumigation sur les insectes ;
- Evaluer la toxicité aigüe des traitements des poissons par les huiles essentielles.

REFERENCES

REFERENCES

- Abbott W. (1925).** A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, 18(2), 265-267.
- Abdelrahim A., Tidjani A., Doutoum A., Barro N. et Traoré A. (2012).** Evaluation de la qualité microbiologique des poissons braisés et de leurs assaisonnements vendus dans les rues de la ville de Ouagadougou (Burkina Faso). *Journal de Microbiologie et Hygiène Alimentaire*, 23(69), 47-54.
- Abdollahi H., Zongo C., Tapsoba F., Tidjani A. et Savadogo A. (2016).** Evaluation de la qualité hygiénique et des paramètres physicochimiques des poissons séchés vendus dans les villes de N'Djamena (Tchad) et de Ouagadougou (Burkina Faso). *Revue de Microbiologie Industrielle Sanitaire et Environnementale*, 10(1), 13-32.
- Aćimović M., Čabarkapa I., Mirjana C., Stanković J., Kiproviski B., Gvozdenac S. et Puvača N. (2019) ;** Cymbopogon citratus (DC.) staph: chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities, use in medicinal and cosmetic purpose. *Journal of Agronomy, Technology and Engineering Management*, 2(6), 344-360.
- Adukwu E., Bowles M., Edwards-Jones V. et, Heather B. (2016).** Antimicrobial activity, cytotoxicity and chemical analysis of lemongrass essential oil (Cymbopogon flexuosus) and pure citral. *Microbiol Biotechnol*, 100(22), 9619-9627.
- Akhila A., Sallam Y., Safaa E. A., et El-Leithy A.S. (2012).** Lemongrass (Cymbopogon citratus) essential oil as affected by drying methods. *Annals of Agricultural Science*, 57(2), 113–116.
- Amiengheme P. (2005).** The importance of fish in human nutrition. A paper delivered at a fish culture forum. *Federal Department of Fish Farmers*, Abuja. 21p
- Anonyme (2001).** Laboratoire Bivea, extraction des huiles essentielles des agrumes (Citrus.Sp). http://www.bivea.fr/info_bivea/pranarom/principe_extraction_huilesessentielles.php.
- ANSES (2015).** Définition des denrées périssables et très périssables. *Avis de l'Anses*, 19, 61.
- Arabi F., Moharramipour S. et Sefidkon F. (2008).** Composition chimique et activité insecticide de l'huile essentielle de Perovskia abrotanoides (Lamiaceae) contre Sitophilus oryzae (Coleoptera : Curculionidae) et Tribolium castaneum (Coleoptera : Tenebrionidae). *Journal international de la science des insectes tropicaux* 28, 144-150.
- Assogba M., Salifou A., Tobada P., Aboudou K., Bakary B., Dahouda M., Chikou A., Farougou S. et Karim A. (2020).** Impact of break in cold chain on the technological and

- organoleptic qualities of Atlantic Mackerel (*Scomber scombrus*) and Horse Mackerel (*Trachurus trachurus*) in South Benin. *Journal of Microbiology Biotechnology and Food Sciences*, 9 (5), 1242–1248.
- Assogba, M., Ahounou, S., Bonou, G., Salifou A., Dahouda M., Chikou A., Farougou S. et Youssao I. (2018).** Qualité de la Chair des Poissons : Facteurs de Variations et Impacts des Procédés de Transformation et de Conservation. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*, 10(2), 333-358.
- Bagora B., d, Imael H., Bassole E., Salwan M., Silyere B., Jacques S., Jean-Marc A. (2018).** *Cymbopogon citratus* and *Cymbopogon giganteus* essential oils have cytotoxic effects on tumor cell cultures. Identification of citral as a new putative anti-proliferative molecule, *Biochimie*, 153, 162-170.
- Bakarnga-Via I., Lambey E., Walbang O., Abdoullahi H., Mbaigolmem B., Abdelsalam T. et Menut C. (2022).** Activité Antifongique de l'Huile Essentielle de *Cymbopogon Citratus* (DC) Stapf (Poaceae) : Cas des Moisissures Isolées des Poissons Fumés et Séchés des Marchés de N'Djaména. *Health Sci. Dis*, 23 (12), 47-54.
- Belline N., Gouollaly T., Aimé B., Arnaud W., Samuel N., Jean-Maurille O. (2019).** Composés carbonylés majeurs et indices physico-chimiques des huiles essentielles de deux espèces du genre *Cymbopogon* (Poaceae) du Congo-Brazzaville. *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, 6(10), 2394-3661.
- Béné C., Arthur R., Norbury H., Edwar H., Allison M. (2016).** Contribution of fisheries and aquaculture to food security and poverty reduction; assessing the current evidence. *World Development*, 79, 177-196.
- Beramgoto A. (2019).** Des pesticides utilisés pour la conservation des poissons fumés. *tchadinfo.com*, 9, 52.
- Bodin R. (2017).** Transformation et conservation du poisson en Côte-D'Ivoire : les possibilités d'amélioration des techniques de fumage du poisson et de sa commercialisation au niveau artisanal. Thèse de doctorat, Diplôme de Technologie Approfondie pour la Commercialisation des Produits de la Mer, Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération, Côte-D'Ivoire, 99.
- Bourgeois C. (2003).** Les vitamines dans les industries agroalimentaires. (Collection sciences & technique agroalimentaires). Ed. Tec & Doc Lavoisier.

- Boyom F., Ngouana V., Amvam H., Menut C., Bessiere M. et Gut J. (2007).** Composition and anti-plasmodial activities of essential oils from some Cameroonian medicinal plants. *Phytochemistry*, 64, 1269-1275.
- Camara A. (2009).** Lutte contre *sitophilus oryzae* L. (Coleoptera: Curculionidae) et *Tribolium castaneum* herbst (Coleoptera: Tenebrionidae) dans les stocks de riz par la technique d'étuvage traditionnelle pratiquée en basse-guinée et l'utilisation des huiles essentielles végétales. Doctorat thesis. Université du Quebec, Canada. 121.
- Cissokho P., Gueye M., Sow E. et Diarra K. (2015).** Substances inertes et plantes à effet insecticide utilisées dans la lutte contre les insectes ravageurs des céréales et légumineuses au Sénégal et en Afrique de l'Ouest. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(3), 1644-1653.
- Cory M. et Keeler. (1999).** Control of *dermestes maculatus* (coleoptera: dermestidae) in an interior storage situation with neem, *azadirachta indica*. A thesis submitted to the Faculty of Graduate Studies and Research in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science 800-521-0600.
- Costa C., Bidinotto L., Takahira R. (2011).** Cholesterol reduction and lack of genotoxic or toxic effects in mice after repeated 21-day oral intake of lemongrass (*Cymbopogon citratus*). *Essential oil. Food Chemical Toxicology*, 49(9), 2268-72.
- Couic-Marinier F. et Lobstein A. (2013).** Composition chimique des huiles essentielles Chemical composition of essential oils. 52(525), 1-64
- Dahri A. (2011).** Determination of different trace and essential element in lemon grass samples by X-ray fluorescence spectroscopy technique. *International Food Research Journal*, 18, 265-270.
- Degnon R., Faton A., Adjou E., Tchobo F., Dahouenon-Ahoussi E., Soumanou H. et Sohounhloue D. (2013).** "Efficacité comparée des huiles essentielles de deux plantes aromatiques dans la conservation post-fumage du Chinchard (*Trachurus trachurus*)", *Journal of Animals and Plant Sciences*, 19(1), 2831-2839.
- Delobel A. et Maurice T. (1982).** Les Coléoptères des denrées alimentaires entreposées dans les régions chaudes. 3 1, 8380 - 3 1052.
- Dongmo F., Wogue V., Maggi F., Womeni H. et Tapondjou I. (2023).** Insecticidal activities of enriched sulfur-containing compounds essential oils from *Afrotyrax lepidophyllus* and *Scorodophloeus zenkeri* seeds against two stored grain pests: *Acanthoscelides*

- obtectus* and *Callosobruchus maculatus*. *Journal of Essential Oil & Plant Composition*, 1(2), 39-53.
- Doumbia M., Kouassi Y., Dagobert K., Jan K., Koffi E., Bleu G., Mamadou. (2014).** Testing of insecticidal extract from *Mitracarpus scaber* Zucc. (Rubiaceae) against four stored food products insect pests in Ivory Coast. *Journals International of Entomological Research*, 2310-3906.
- Durrant W. et Dong X. (2004)** Systemic acquired resistance. *Annual Review of Phytopathology*, 42, 185-209.
- Ekpenyong C., Akpan E. et Daniel N. (2014).** Phytochemical Constituents Therapeutic Applications and Toxicological Profile of *Cymbopogon citratus* Stapf (DC). *Leaf Extract an overview*, 3(1), 133-141.
- Enan E. (2005a).** Molecular and pharmacological analysis of an octopamine receptor from American cockroach and fruit fly in response to plant essential oils. *Archive of Insect Biochemistry and Physiology*, 59(3), 161-171.
- Enan E. (2005b).** Molecular response of *Drosophila melanogaster* tyramine receptor cascade to plant essential oils. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 35(4), 309-321.
- FAO, (2016).** La Situation mondiale de pêche et de l'aquaculture, contribué à la sécurité alimentaire et la nutrition pour tous, Rome, 229.
- FAO. (1981).** The prevention of losses in cured fish. *FAO Fish Tech. Papers*, 219.
- FAO. (1996).** Rapport et contribution de la sixième consultation d'experts sur la technologie du poisson en Afrique, *Resumé Kenya* 27-30.
- FAO. (2000).** United Nations food and Agriculture organization, *FAO Yearbook-fishery statistics capture production*, 86(1), 99-100.
- FAO. (2006).** Vue générale du secteur des pêches National au Burkina Faso, profils des pêches et de l'aquaculture par Pays, 19.
- FAO. (2014).** La Situation mondiale de pêche et de l'aquaculture, première partie, organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, département des pêches et de l'aquaculture de la FAO, Rome, 229.
- FAO. (2020).** *FAO Yearbook of Fishery and Aquaculture Statistics*. In: *FAO* [online].
- Fokom R., Adamou S., Essono D., Ngwasiri D.P., Eke P., Teugwa Mofor C., Tchoumboungang F., Boyom F., Amvam Zollo P.H., Nwaga D., Sharma A.K. (2019).** Growth, essential oil content, chemical composition

- and antioxidant properties of lemongrass as affected by harvest period and arbuscular mycorrhizal fungi in field conditions. *Industrial Crops and Products*, 138.
- Folorunso A., Sambo M., Danjuma A., Usman R., Ibeawuchi et Edosa O. (2006).**” Effect of insect infestation on nutritional quality of smoked fish species in Jos, Nigeria”, *Cameroon Journal of Experimental Biology*, 2(1), 26- 30.
- Fopa N. (2019).** Poissons fumés et contraintes liés au stockage à l'Ouest Cameroun. Mémoire de stage, Institut des Sciences halieutiques, Université de Douala, 65.
- Fouad H., Faroni L., Ribeiro C., Tavares W. et Petacci F. (2012).** Extraction et activité répulsive de *Lepidoploa aurea* et *Memora nodosa* contre les ravageurs des céréales stockées et de leurs sous-produits. *Vie Milieu*. 62, 11-15.
- Frank B. (2005).** On the nutritional dependence of certain trees on root symbiosis with belowground fungi (an English translation of A.B. Frank's classic paper of 1885). *Mycorrhiza* 15, 267-275.
- Franchomme P., Jollois R., Pénnoël D. et Mars J. (1990)** L'aromathérapie exactement : Encyclopédie de l'utilisation thérapeutique des huiles essentielles. Roger Jollois Editeur, 44-47.
- Franz A., Neiva K. et Fiuza L. (2011).** Toxic effects of essential plant oils in adult *Sitophilus oryzae* (Linnaeus) (Coleoptera, Curculionidae). *Revista Brasileira de Entomologia*, 55(1), 116–120.
- Freeman P. (1980).** Common insect pests of stored food products. *Econ.ser. British Museum (Natural History)*, 15, 69.
- Gomes E., Bernardo J., Barbosa M., Andrade P. B., Valentão P., et Lopes G. (2017).** Ethnopharmacological use of *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf and *Cymbopogon schoenanthus* (L.) Spreng.: Anti-inflammatory potential of phenol-rich extracts. *Porto Biomedical Journal*, 2(5), 216–217.
- Guo, T., Zhang, J., Christie, P. (2007)** Pungency of spring onion as affected by inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi and sulfur supply. *Journal of Plant Nutrition*, 30, 1023-1034.
- Haines CP. (1989).** A field guide to the types of insects and mites infesting cured fish. FAO Ed., 303.
- Hartatie E. et Conf I. (2021).** Composés bioactifs de la citronnelle huile essentielle de différentes parties de la plante et méthodes de distillation. pp : 5-12.

- Hernandez-Lambrano R., Pajaro-Castro N., Caballero-Gallardo K., Stashenko E. et Olivero-Verbel J. (2015).** “Essential oils from plants of the genus Cymbopogon as natural insecticides to control stored product pests,” *Journal of Stored Products Research*, 62, 81-83.
- Hénault-Ethier L., Soumis N. et Bouchard M. (2016).** Impacts des insecticides pyréthrinoides sur la santé humaine et environnementale. 68p.
- Hinton H. (1945).** The Histeridae associated with stored a product. *Bulletin of Entomological Research*, 35, 309-40.
- Hissein O., Abdoullahi., Tapsoba F., Guira F., Zongo C., Abakar LI., Tidjani A. et Savadogo A. (2018).** Technologies, qualité et importance socio-économique du poisson séché en Afrique. *Revue Sciences, Technoogie et Synthèse*, 37: 49-63.
- Idah P, Nwankwo I. (2013).** Effect od smokedrying temperatures and time on physical and nutritional quality parameters of Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *International Journal of Fisheries and Aquaculture*, 5(3), 29-34.
- Issakou B., Lambey E., Ossoga G., Abdoullahi H., Mbaigolmem B., Abdelsalam T. et Menut C. (2022).** Activité Antifongique de l’Huile Essentielle de Cymbopogon Citratus (DC) Stapf (Poaceae) : Cas des Moisissures Isolées des Poissons Fumés et Séchés des Marchés de N’Djaména. *The journal of medicine and biomedical sciences*, 23 (12), 47-54.
- Kabera J., Anastasie G., Uwamariya A., Ugirinshuti1 V. et Nyetera P. (2011).** Insecticidal effects of essential oils of Pelargonium graveolens and Cymbopogon citratus on Sitophilus zeamais (Motsch.), *African Journal of Food Science*, 5(6), 366 – 375.
- Kanko C. (2010).** Contribution à l’étude phytochimique de plantes médicinales et aromatiques de Côte d’Ivoire. Activité analgésique et anti-inflammatoire de stérols isolés de l’écorce de Parkia biglobosa. *Thèse de doctorat, Université de Cocody-Abidjan, Abidjan*, 224p.
- Kanko C., Kouamé R., Akcah J., Boti J., Seri-Kouassi B. et Casanova J. (2017).** Structure des composés majoritaires et activité insecticide des huiles essentielles extraites de sept plantes aromatiques de Côte d’Ivoire. *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, 4, 2394-3661.
- Kapoor R., Bhoopander G. et Krishan M. (2002a).** Glomus macrocarpum : A potential bioinoculant to improve essential oil quality and concentration in dill (*Anethum*

- graveolens L.) and carum (Trachyspermum ammi (Linn.) Sprague). *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 18, 459-463.
- Kapoor R., Chaudhary V., Bhatnagar, AK. (2008)** Effectiveness of two arbuscular mycorrhizal fungi on concentrations of essential oil and artemisinin in three accessions of *Artemisia annua* L. *Applied Soil Ecology*, 40, 174-181.
- Kapoor R., Giri B. et Mukerji K. (2002b)**. Mycorrhization of coriander (*Coriandrum sativum* L.) to enhance the concentration and quality of essential oil. *Journal of the Sciences of Food and Agriculture*, 82, 339-342.
- Kapoor R., Giri B. et Mukerji K. (2004)** Improved growth and essential oil yield and quality in *Foeniculum vulgare* Mill. On mycorrhizal inoculation supplement with P-fertilizer. *Bioresource Technol*, 93, 307-311.
- Kazuhiko N., Najeeb S., Nguyen T., Trakoontivakorn g. et Yoshihashi T. (2003)**. Chemical Composition and Antifungal Activity of Essential Oil from *Cymbopogon nardus* (Citronella Grass). *Japan International Research Center for Agricultural Sciences*, 4, 249 – 252.
- Keita D. (2005)**. Contribution à l'étude de la qualité des poissons transformés (fumés, séchés) à Bamako, Mopti, Niono et Sélingué, diplôme d'état, mémoire pour obtenir le grade de docteur en pharmacie, Université de Bamako, Faculté de Médecine de Pharmacie et d'Odonto-Stomatologie. 139p.
- Keshavarzi D., Moemenbellah-Fard MD., Fereidooni M., Mon-tazeri M. (2015)**. First Report of *Dermestes frischii* Kugelann (Coleoptera: Dermestidae) on a Human Corpse, South of Iran. *International Journal of Forensic Science and Pathology*, 3(4), 113-115.
- Khaosaad, T., Vierheilig, H., Nell, M., Zitterl-Eglseer, K., Novak, J. (2006)** Arbuscular mycorrhiza alter the concentration of essential oils in oregano (*Origanum* sp., Lamiaceae). *Mycorrhiza* 16, 443-446.
- Knockaert, C. (2000)**. Le fumage par atomisation du poisson : étude de faisabilité en couplage avec la Déshydratation Imprégnation Immersion. *Archimer, archive institutionnelle de l'Ifremer*, 47.
- Kouame N. M., Kamagate M., Koffi C., Die-Kakou H. M., Yao, N. A. R., et Kakou A. (2016)**. *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf: ethnopharmacologie, phytochimie, activités pharmacologiques et toxicologie. *Phytothérapie*, 14(6), 384-392.

- Koudoro Y., Agbangnan D., Bothon D., Bogninou S., Alitonou G., Avlessi F. et Sohounhloue C. (2018).** Métabolites secondaires et activités biologiques des extraits de l'écorce de tronc de Khaya senegalensis, une plante à usage vétérinaire récoltée au Bénin. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 23(4), 441-450.
- Lawal O., Ogundajo A., Avoseh N. et Ogunwande I. (2017).** *Cymbopogon citratus*. *Medicinal Spices and Vegetables from Africa*, 397–423.
- Leite JR., Seabra L. et Maluf E. (1986).** Pharmacology of lemongrass (*Cymbopogon citratus* Stapf). III. Assessment of eventual toxic, hypnotic and anxiolytic effects on humans. *Journal of Ethnopharmacology*. 17(1), 75-83.
- Mboussy T., Mpika J., Mbuntcha G., Tapondjou A. et Attibayeba, (2021).** Effet Bio-Insecticide De L'huile Essentielle Et De La Poudre De Chenopodium Ambrosioides L. Sur Les Imagos De Bruches De Haricots En Stockage. *European Scientific Journal*, 17(25), 267.
- McDonald L., Guy H. et Speirs D. (1970).** Preliminary evaluation of new candidate materials and toxicants, repellents and attractants against stored product insects. *Departement of Agriculture*, 183.
- Mikolo B., Massamba D., Matos L., Bani G., Maloumbi G., Glitho A., Lenga A., Chalchat C. et Miller T. (2009).** Toxicity and repellent activity of essential oil from Waya (*Plectranthus grandifolius* Handel-Mazzetti) against *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera: Bruchidae). *Biopestic Int* 5, 52–59.
- Monteiro J.A. (1956).** A entomofauna dos produtos armazenados. *Dermestes maculatus* Degeer *Dermestes ater* Deg. (Coleoptera, Dermestidae). *Junta de Investigações do Ultramar*, 29,113.
- Morone-Fortunato I. et Avato P. (2008)** Plant development and synthesis of essential oils in micropropagated and mycorrhiza inoculated plants of *Origanum vulgare* L. ssp. *Hirtum* (Link) Ietswaart. *Journal of plant biotechnology*, 93, 139-149.
- Mpika J., Mboussy T., Landou E., Ongouya L. et Attibayeba. (2023).** Effets Insecticide et Insectifuge des Huiles Essentielles de Cinq Plantes Aromatiques Sur la Bruche de Haricot Cultivé en République du Congo. *European Scientific Journal*, 19 (6), 294.
- Muringai R., Paramu M. et Romano T. (2022).** Sub-Saharan Africa Freshwater Fisheries under Climate Change: A Review of Impacts, Adaptation, and Mitigation Measures. *Journal fishes*, 7, 131.

- Ndomo A., Tapondjou A., Tendonkeng F. et Mbiopo F. (2009).** Evaluation des propriétés insecticides des feuilles de *Callistemon viminalis* (Myrtaceae) contre les adultes d'*Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera; Bruchidae). *Tropicultura*, 27 (3), 137-143.
- Ndrianaiivo, Cornet J., Cardi M., Razanamparany L. et Berge J. (2016),** “Stockage des poissons fumés et ou séchés : cas de *Oreochromis niloticus* "Fihasaly" malgache”, *Afrique Science*, 12(2), 254– 265.
- Ngamo Tinkeu, Ngatanko Iliassa, B. R. Tamgno, Watching Djakissam, C. Madou, N. Ayiki Evele, A. Goudoum and M.- B. Ngassoum, (2020).** “Highly Hazardous Pesticides (HHPs) Registered and Its Use in Sub-Saharan Africa”. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 9, 344-350.
- Ngo O., Fokom R., Adamou S., Biya B., Tomedi E., Tchouboungang F. (2021).** Smoke dried fish quality as affected by insect and fungal colonization within storage in urban markets in Cameroon. *Journal of Agriculture and Veterinary Science* 14(6), 45-53.
- Ngok E., Ndjamen D., Dongmo J. (2005).** Contribution économique et sociale de la pêche artisanale aux moyens d’existence durables, la réduction de la pauvreté. Programme pour des Moyens d’Existence Durables dans la pêche, 41.
- Noudjou-Wandji E. (2007).** Utilisation des huiles essentielles pour la protection des grains contre les insectes ravageurs au nord du Cameroun. Thèse de doctorat, Gembloux, Belgium. Gembloux agricultural université. 201.
- Oladipo I. et Bankole S. (2013).** Nutritional and microbial quality of fish and dried, *Clarias gariepinus* and *Orachromis niloticus*. *International Journal of Applied Microbiology and Biotechnology*, 3, 1-6.
- Olivero-Verbel J., Nerio L. et Stashenko E. (2010).** “Bioactivity against *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae) of *Cymbopogon citratus* and *Eucalyptus citriodora* essential oils grown in Colombia,” *Pest Management Science* 66(6), 664-668.
- Osuji FNC. (1974).** Recent Studies on the infestation of dried fish in Nigeria by *Dermestes maculatus* and *Necrobia rufipes* with special reference to the Lake Chad district. *Tropical Stored Products*, 29, 21-32.
- PAM. (2019).** The stat of food security, In Food security analysis (VAM), Nutrition, Zero Hunger, Sustainable development goals, Rome, 253 p

- Pamo TE., Tapondjou L., Tenekeu. et Tendonkeng F. (2002).** Bioactivité de l'huile essentielle des feuilles de l'*Ageratum houstonianum* Mill sur les tiques (*Rhipicephalus appendicalatus*) de la chèvre naine de Guinée dans l'Ouest-Cameroun. *Tropicultura*, 20(3), 109-112.
- PAN International. (2013).** PAN International List of Highly Hazardous Pesticides. Hamburg/Germany, 36.
- Pandey K., Uma T. et Palni N. (2014).** Tripathi Repellent activity of some essential oils against two stored product beetles *Callosobruchus chinensis* L. and *C. maculatus* F. (Coleoptera: Bruchidae) with reference to *Chenopodium ambrosioides* L. oil for the safety of pigeon pea seeds. *Journal of Food Science and Technology*, 51(12), 4066–4071.
- Parker K. (2021).** Smoked Foods. *Book Handbook of Molecular Gastronomy*, 4.
- Paul C.F. (1963).** A life-history study of the hide beetle *Dermestes vulpinus* Fab. (Coleoptera: Dermestidae). *Indian Journal of Entomology*, 24(3), 167-79.
- Peacock ER. (1975).** *Dermestes peruvianus* Cast, *D. haemorrhoidalis* Küst and other *Dermestes* spp. (Coleoptera, Dermestidae). *The Entomologist's monthly magazine*, 111, 1-14.
- Pimentel D., Marklein A., Toth MA., Karpoff MN., Paul GS, McCormack R., Kyriazis J. et Krueger T. (2009).** Nourriture Versus biocarburants : coûts environnementaux et économiques. *Écologie humaine*, 37, 1-12.
- Pollack Y., Segal, R. et Golenser J. (1990).** The effect of ascaridole on the in vitro development of *Plasmodium falciparum*. *Parasitology Res*; 76, 570-2.
- Regnault- Roger C., Bernard J.R. et Phylogene C.V. (2002).** Biopesticides d'origine végétale. *Journal of Stored Products Research*, 337.
- Regnault-Roger C. et Hamraoui A. (1995).** Efficiency of plants from South of France used as traditional protectants of *Phaseolus vulgaris* L. *Journal of Stored Products Research*. 29 (3), 259-264.
- Rokhaya F., Saliou N., Abdoulaye S., Mbacké S. (2017).** Activité insecticide par fumigation des huiles essentielles de *Callistemon viminalis*, *Melaleuca leucadendron* et *Hyptis suaveolens* contre *Sitophilus* spp., ravageur du maïs. J. Soc. Ouest-Afr. Chim. *Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie*, 043, 31 – 36.

- Saljoqi A., Munir K., Shah A. et Sadur-Rehman. (2006).** Effects of six plant extracts on rice weevil *sitophilus oryzae* l. In the stored wheat grains. *Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 1(4), 1-5.
- Salzer P. et Boler T. (2000).** Plant defense responses induced by arbuscular mycorrhizal fungi. *mycorrhizaL technology and agiculture*, 103–111.
- Sameza M., Tchameni S., Ekoue J., Jazet P., Tchoumboungang F. (2016).** Growth inhibition of the stored fish (*Ethmalosa frimbiata*) fungus *Aspergillus flavus*, exposed to extracted essential oils from *Callistemon citrinus* and *Ocimum canum*. *African Journal of Microbiology Research*, 10, 1164-1172.
- Shah G., Shri R., Panchal V., Sharma N., Singh B. et Mann A. (2011).** Scientific basis for the therapeutic use of *Cymbopogon citratus*, staff (Lemongrass), *Journal of Advanced Pharmaceutical Technology & Research*, (1), 3–8.
- Singh S., Siddhnath R., Aziz A., Pradhan S., Chhaba B. et Narinder K. (2018).** Insect infestation in dried fishes. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 6(2), 2720-2725.
- Souza M., Lodder H., Gianotti O. (1986).** Pharmacology of lemongrass (*Cymbopogon citratus* Stapf). II. Effects of daily two-month administration in male and female rats and in offspring exposed « in utero ». *J Ethnopharmacol*, 17(1), 65-74.
- Strack D. et Fester T. (2006)** Isoprenoid metabolism and plastid reorganization in arbuscular mycorrhizal roots. *New Phytol*, 172, 22-34.
- Taherzadeh-Shalmai N., Mohammad Si., Ghasemi-Mobtaker H. et Kaab A. (2021).** Evaluating the energy use, economic and environmental sustainability for smoked fish production from life cycle assessment point of view (case study: Guilan Province, Iran). *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 53833–53846.
- Takanori H., Makio T., Sayuri K. et Naruto T. (2016).** Toxicity and Carcinogenicity of Dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT). *Published online* ; 32(1): 21–33.
- Tamgno B., Fopa N. et Ngamo T. (2020).** Les insectes ravageurs des poissons fumés et le statut des insecticides chimiques utilisés dans leur protection au cours du stockage dans la Région de l'Ouest-Cameroun (Afrique Centrale). *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 50(1), 71-81.
- Tamgno B., Tekou H., Tchatcho N., Mouamfon M. et Ngamo L. (2020).** Insectes ravageurs des poissons fumés au cours du stockage et dégâts occasionnés dans la boucle Nord de

la Réserve de Biosphère du Dja (Est-Cameroun). *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 50(1), 71-81.

Tamgno B., Tekou N., Nyamsi T., Mouamfon M., Ngamo T. (2020). Insectes ravageurs des poissons fumés au cours du stockage et dégâts occasionnés dans la boucle Nord de la Réserve de Biosphère du Dja (Est-Cameroun). *International Journal of Biology and Chemical Sciences*, 14, 528-538.

Tamgno B., Vatsou J., Zidiko G., Goudoum A., Ngamo L. (2021). Protection des stocks de poissons secs en Afrique sub-saharienne. *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét*, 9(4), 755-766.

Tavares W., Costa M., Cruz I., Silveira R., Serrão J. et Zanuncio J. (2010). Effets sélectifs des insecticides naturels et synthétiques sur la mortalité de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera : Noctuidae) et de son prédateur *Eriopis connexa* (Coleoptera : Coccinellidae). *Journal des sciences de l'environnement et de la santé B*, 45, 557-561.

Tchoumboungang F., Dongmo J., Sameza L., M'Bamdjo N. et Fotso T. (2009). Activité Lavicide sur *Anopheles gambiae* Giles et composition chimique des huiles essentielles extraites de quatre plantes cultivées au Cameroun. *Biotechnology, Agronomie, Société et Environ.*, 13(1), 77-87.

Tekou H. (2018). Contraintes de stockage du poisson fumé dans la boucle Nord de la Réserve de Biosphère du Dja. Mémoire de stage, Institut des Sciences halieutiques, Université de Douala, 64.

Temple W., Smith N., Beasley M. (1991). Management of oil of citronella poisoning. *Journal of Toxicol : Clinical Toxicology*, 29(2), 257-62.

Teuscher E., Anton R., et Lobstein A. (2005). Plantes aromatiques : épices, aromates, condiments et leurs huiles essentielles. Tec et Doc.S.

Thiam A., (1993). Contribution à l'étude de la qualité microbiologique et chimique du poisson braisé-séché (KETIAKH) commercialisé sur le marché dakarois. Thèse: Méd. Vét., Dakar, 151.

Tia E., Lozano P., Lozano Y., Martin T., Niamké S. et Adima A. (2013). Potentialité des huiles essentielles dans la lutte biologique contre la mouche blanche *Bemisia tabaci* Genn. *Phytothérapie*, 11 (1), 31-38

Ubaid Q., Zahoor M., Shakir Ahmad M. and Shahid G. (2020). Fish plays a significant role in healthy and balanced diet. Its intake has a lot of health benefits. Fish provides

- various nutrients, including protein and longchain omega-3 polyunsaturated fatty acids and micronutrients. *National Bureau of fish Genetic Resources*, 44.
- Vama E., Mohamed C., Gondo B. et Adama K. (2019).** Etude comparée de l'effet insecticide des huiles essentielles de *Cymbopogon citratus* DC et d'*Ocimum canum* Sims sur *Cylas puncticollis* Boheman, un charançon de la patate douce. *Int. J. Biol. Chem. Sci*, 13(3), 1789-1799.
- Vierheilig H. et Piché Y. (2002).** Signalling in arbuscular mycorrhiza: Facts and hypothesis. In Buslig, B., Manthey, J. (eds) *Flavonoids in Cell Function*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 23-39.
- Walton SF., Mckinnon M. et Susan J. (2000).** Acaricidal activity of *Melaleuca alternifolia* (tea tree) oil: in vitro sensitivity of *sarcoptes scabiei* var *hominis* to terpinen-4-ol. *Arch Dermatol*. 2004 May. *Archives of Dermatology*, 140, 563.
- Wandscheer CB. Duque JE., Mario A., Yoshiyasu F., Wohlke JL, Adelmann J. et Fontana JD. (2004).** Larvicidal action of ethanolic extracts from fruit endocarps of *Melia azedarach* and *Azadirachta indica* against the dengue mosquito *Aedes aegypti*. *Toxicon. The National Center for Biotechnology Information advances science and health by providing access to biomedical and genomic information*, 44(8), 829-35.
- Won-Sik Choi C., Byeoung-Soo P., Young-Haeng L., Youn J., Young Y. et Sung-Eun L. (2006).** Fumigant toxicities of essential oils and monoterpenes against *Lycoriella mali* adults. *Crop Protection*, 25(4), 398-401.
- World Fish Centre, (2005).** Le poisson et la sécurité alimentaire en Afrique. Egypte. 2.
- Yanes A., Finol H. et Hasegawa M. (2004):** Effets of *Azadirachta indica* and *Melia azedarach* (Meliaceae) extracts from leaves on *Trypanosoma cruzi* growth and ultrastructure. *J Submicrosc Cytol Pathol. J Submicrosc Cytol Pathol*, 36(2), 149-54.

ANNEXES

ANNEXES

Annexe 1 : Dispositif d'élevage des *D. maculatus* et *N. rufipes*



Annexe 2 : Préparation des solutions d'huile essentielle

➤ Préparation de tween 80 à 5%

Le tween 80 à 5% a été préparé pour 50ml ; pour ce fait nous avons prélevé 4ml de tween 80 de 100% en suite nous avons dilué dans 46ml de l'eau distillée stérile pour obtenir notre tween 80 à 5%.

➤ Préparation des différentes concentrations des huiles essentielles

Les concentrations de 3% ; 4% et 5% ont été préparées à 10ml :

- ✓ Pour préparer 3% de solution d'huile essentielle, nous avons prélevé 0,3ml d'huile essentielle puis dilué dans 9,7ml de tween 80 à 5% pour obtenir notre concentration de 3% d'huile essentielle ;
- ✓ Pour préparer 4% de solution d'huile essentielle, nous avons prélevé 0,4ml d'huile essentielle puis dilué dans 9,6ml de tween 80 à 5% pour obtenir notre concentration de 4% d'huile essentielle ;
- ✓ Pour préparer 5% de solution d'huile essentielle, nous avons prélevé 0,3ml d'huile essentielle puis dilué dans 9,5ml de tween 80 à 5% pour obtenir notre concentration de 5% d'huile essentielle.



Annexe 3 : Fiche de suivi sensoriel des échantillons

REPUBLIQUE DU CAMEROUN

UNIVERSITE DE YAOUNDE I

FACULTE DES SCIENCES



REPUBLIC OF CAMEROON

THE UNIVERSITY OF YAOUNDE I

FACULTY OF SCIENCE

DEPARTEMENT DE BIOCHIMIE
DEPARTMENT OF BIOCHEMISTRY

LABORATOIRE DES SCIENCES ALIMENTAIRES ET METABOLISME
LABORATORY FOR FOOD SCIENCE AND METABOLISM

ANALYSE SENSORIELLE : Fiche du panéliste

Numéro :

Sexe :

Age :

- I.** Dans le cadre d'une analyse sensorielle, 5 échantillons de poissons fumés dont 4 sont traités de différentes concentrations des solutions d'huile essentielle et un échantillon non traité de solution d'huile essentielle vous sont présentés. Il est question pour chacun des échantillons d'apprécier : la couleur, l'odeur et la texture comparer à l'échantillon témoin selon l'échelle ci-dessous.

Note	1	2	3	4	5	6	7
Appréciations	Très déplaisant	Déplaisant	Légèrement Déplaisant	Indifférent	Légèrement Plaisant	Plaisant	Très plaisant

Effets protecteurs de l'huile essentielle de Cymbopogon citratus (citronnelle) sur le poisson fumé en stockage, contre deux insectes ravageurs

1 Veuillez reporter vos résultats sous forme de chiffres dans les cases
2 correspondantes.

3 HE I

Critère	Note
Couleur	
Odeur	
Texture	

HE II

Critère	Note
Couleur	
Odeur	
Texture	

TWEEN

Critère	Note
Couleur	
Odeur	
Texture	

CN

Critère	Note
Couleur	
Odeur	
Texture	

5 CS

Critère	Note
Couleur	
Odeur	
Texture	

11 II. Pour la préférence, vous voudrez bien apporter votre **acceptabilité générale** de
12 chaque échantillon en utilisant les notes de l'échelle ci-dessus (plaisant,
13 indifférent...)

Echantillon	HE I	HE II	TWEEN	CN	CS
Note					

17 III. Classez les échantillons du plus apprécié au moins apprécié.

Rang	1er	2e	3e	4e	5e
Echantillon					

20 **Merci pour votre contribution**

Annexe 4 : Suivi qualitatif du poisson fumé au cours du test in vivo



Photographie 9: Echantillons des poissons codés présentés aux panelistes dont (a) échantillon de poisson traité aux solutions des HEs, (b) échantillon de poisson non traité servant de contrôle négatif et (c) l'échantillon de poisson traité uniquement au tween 80 à 5% (Memadji, 2023).

Annexe 5 : Diagramme d'appréciation générale des échantillons de poissons fumés après les traitements.

