



**UNIVERSITE**  
**JEAN LOROUGNON GUEDE**  
UFR AGROFORESTERIE

REPUBLIQUE DE COTE D'IVOIRE

Union-Discipline-Travail

-----  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et  
de la Recherche Scientifique

ANNEE : 2020-2021

N° D'ORDRE : 042/21

CANDIDAT

Nom : BOKO

Prénoms : Adjoua Christiane

Eunice

## THESE DE DOCTORAT

Pour l'obtention du grade de Docteur de  
l'Université Jean Lorougnon Guédé  
Mention : Agriculture et foresterie tropicale  
Spécialité : Biochimie et Nutrition

Insectes comestibles en Côte d'Ivoire : Evaluation  
de l'entomophagie, des potentiels nutritionnels,  
des facteurs antinutritionnels et du risque  
allergénique

## JURY

Président : Madame TRAORE-OUATTARA Karidia, Professeur Titulaire,  
Université Jean Lorougnon Guédé

Directeur : Monsieur ANGAMAN Djédoux Maxime, Maître de Conférences,  
Université Jean Lorougnon Guédé

Rapporteur : Monsieur AHONZO-NIAMKE Sébastien Lamine, Professeur  
Titulaire, Université Félix Houphouët-Boigny

Examineur : Monsieur DIOMANDE Massé, Maître de Conférences,  
Université Jean Lorougnon Guédé,

Examineur : Monsieur KRA Kouassi Aboutou Séverin, Maître de  
Conférences, Université Félix Houphouët-Boigny

Soutenu publiquement le  
07/01/2022

# Table des matières

---

TABLE DES MATIERES.....	i
<b>DEDICACE .....</b>	<b>vii</b>
<b>REMERCIEMENTS .....</b>	<b>viii</b>
<b>LISTE DES ABREVIATIONS ET SIGLES .....</b>	<b>x</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX.....</b>	<b>xii</b>
<b>LISTE DES FIGURES .....</b>	<b>xiv</b>
<b>LISTE DES ANNEXES.....</b>	<b>xvii</b>
<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
<b>PREMIERE PARTIE : GENERALITES.....</b>	<b>6</b>
<b>1.1. Insécurité alimentaire.....</b>	<b>7</b>
1.1.1. Dans le monde.....	7
1.1.1.1. Evolution du nombre de personnes sous-alimentées dans le monde .....	7
1.1.1.2. Proportion des personnes sous-alimentées par région .....	7
1.1.2. En Afrique.....	9
1.1.3. En Côte d’Ivoire.....	10
<b>1.2. Entomophagie .....</b>	<b>10</b>
1.2.1. Définition .....	10
1.2.2. Historique de l’entomophagie .....	11
1.2.3. Entomophagie dans le monde .....	12
1.2.4. Entomophagie en Afrique.....	13
1.2.5. Entomophagie en Côte d’Ivoire .....	14
1.2.6. Impact environnemental de l’entomophagie.....	15
<b>1.3. Ordres des insectes les plus consommés.....</b>	<b>17</b>
1.3.1. Proportion des ordres d’insectes en alimentation humaine .....	17
1.3.2. Principaux ordres d’insectes consommés .....	18
1.3.2.1. Coléoptères .....	18
1.3.2.2. Lépidoptères .....	18
1.3.2.3. Hyménoptères .....	19
1.3.2.4. Orthoptères .....	20
1.3.2.5. Hémiptères.....	21
1.3.2.6. Isoptères .....	22
<b>1.4. Valeurs nutritionnelles des insectes comestibles.....</b>	<b>23</b>
1.4.1. Protéines .....	24
1.4.2. Lipides .....	27

# Table des matières

---

1.4.3. Fibres .....	27
1.4.4. Micronutriments .....	28
1.4.4.1. Minéraux .....	28
1.4.4.2. Vitamines.....	29
<b>1.5. Consommation et valorisation des insectes comestibles .....</b>	<b>29</b>
1.5.1. Consommation des insectes et sécurité alimentaire .....	29
1.5.2. Valorisation des insectes comestibles .....	30
1.5.3. Usage médical des insectes comestibles.....	31
<b>1.6. Risques liés à la consommation des insectes .....</b>	<b>32</b>
1.6.1. Risques chimiques.....	32
1.6.1.1. Origine du danger .....	32
1.6.1.2. Types d'insectes toxiques.....	33
1.6.2. Risques physiques .....	34
1.6.3. Risques microbiologiques.....	34
1.6.3.1. Bactéries .....	35
1.6.3.2. Virus.....	35
1.6.3.3. Parasites.....	36
1.6.3.4. Champignons .....	36
1.6.4. Risques allergéniques .....	37
1.6.4.1. Principaux allergènes des insectes .....	37
1.6.4.2. Réactions et/ou allergies croisées .....	38
<b>1.7. Zones d'étude.....</b>	<b>40</b>
1.7.1. Daloa.....	40
1.7.1.1. Climat .....	41
1.7.1.2. Végétation .....	41
1.7.1.3. Sols.....	42
1.7.2. Bouaké .....	42
1.7.2.1. Climat.....	42
1.7.2.2. Végétation .....	43
1.7.2.3. Sols.....	44
1.7.3. Korhogo .....	44
1.7.3.1. Climat.....	44
1.7.3.2. Végétation .....	45
1.7.3.3. Sols.....	45

## Table des matières

---

1.7.4. Man.....	46
1.7.4.1. Climat.....	46
1.7.4.2. Végétation .....	46
1.7.4.3. Sols.....	47
<b>DEUXIEME PARTIE : MATERIEL ET METHODES.....</b>	<b>48</b>
<b>2.1. Matériel.....</b>	<b>49</b>
2.1.1. Matériel biologique .....	49
2.1.1.1. Matériel animal.....	49
2.1.1.2. Matériel végétal .....	51
2.1.2. Matériel technique.....	51
2.1.2.1. Matériel d'échantillonnage.....	51
2.1.2.2. Matériel de laboratoire .....	52
2.1.2.3. Matériel d'analyse moléculaire.....	52
<b>2.2. Méthodes.....</b>	<b>53</b>
2.2.1. Enquête sur l'entomophagie en Côte d'Ivoire .....	53
2.2.2. Collecte des échantillons sur le terrain et conservation au laboratoire .....	54
2.2.3. Identification des espèces .....	54
2.2.3.1. Identification morphologique des espèces collectées .....	54
2.2.3.2. Identification moléculaire des larves collectées .....	55
2.2.4. Préparation des échantillons d'insectes pour analyse.....	57
2.2.5. Analyses physico-chimiques des espèces collectées.....	57
2.2.5.1. Détermination du potentiel hydrogène (pH) .....	57
2.2.5.2. Détermination de l'acidité titrable .....	57
2.2.5.3. Dosage du degré Brix.....	58
2.2.5.4. Détermination de la teneur en eau .....	58
2.2.5.5. Détermination de la teneur en cendres .....	58
2.2.5.6. Teneur en lipides.....	59
2.2.5.7. Dosage des protéines.....	63
2.2.5.8. Détermination de la teneur en glucides .....	64
2.2.5.9. Calcul de la valeur énergétique.....	64
2.2.5.10. Détermination de la teneur en acide ascorbique .....	64
2.2.5.11. Détermination des minéraux des insectes collectés .....	65
2.2.6. Evaluation des propriétés fonctionnelles des insectes collectés .....	65
2.2.6.1. Capacité d'absorption en eau.....	65

## Table des matières

---

2.2.6.2. Capacité d'absorption en huile (CAH).....	65
2.2.6.3. Activité émulsifiante (AE) et stabilité des émulsions (SE).....	66
2.2.6.4. Pouvoir moussant (PM) et stabilité de la mousse (SM).....	66
2.2.7. Détermination des risques liés à la consommation des insectes comestibles .....	67
2.2.7.1. Dosage des facteurs antinutritionnels .....	67
2.2.7.2. Identification d'allergènes de quelques espèces comestibles.....	69
2.2.8. Enrichissement et caractérisation des farines enrichies avec <i>Rhynchophorus phoenicis</i> et <i>Oryctes owariensis</i> .....	73
2.2.8.1. Production des farines des céréales impliquées dans l'étude .....	73
2.2.8.2. Production des broyats d'insectes comestibles.....	74
2.2.8.3. Préparation de farines composées de maïs et broyats d'insectes.....	74
2.2.8.4. Préparation des farines de mil incorporées des différents broyats d'insectes .....	75
2.2.8.5. Détermination des propriétés physico-chimiques et fonctionnelles des farines composées.....	76
2.2.8.6. Analyses microbiologiques des farines formulées .....	76
2.2.8.7. Evaluation de l'acceptabilité sensorielle des biscuits produits.....	79
<b>2.3. Analyse statistique des données.....</b>	<b>80</b>
<b>TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSION.....</b>	<b>82</b>
<b>3.1. Résultats.....</b>	<b>83</b>
3.1.1. Etat de l'entomophagie dans les villes enquêtées .....	83
3.1.1.1. Caractéristiques socio-démographiques des populations enquêtées.....	83
3.1.1.2. Connaissance de l'entomophagie par la population dans les villes enquêtées.....	86
3.1.1.3. Taux de consommation des insectes dans les villes enquêtées .....	87
3.1.1.4. Inventaire des espèces comestibles dans les villes enquêtées .....	90
3.1.1.5. Facteurs motivant ou limitant la consommation des insectes. ....	92
3.1.2. Identification moléculaire des larves collectées.....	93
3.1.3. Caractéristiques nutritives et fonctionnelles des différentes espèces collectées.....	94
3.1.3.1. Macronutriments, valeurs énergétiques et vitamine C des espèces collectées.....	94
3.1.3.2. Caractérisation physico-chimique et composition en acide gras de la matière grasse des espèces collectées .....	98
3.1.3.3. Teneur en minéraux des insectes comestibles analysés .....	103
3.1.3.4. Propriétés fonctionnelles des insectes comestibles collectés .....	106
3.1.3.5. Corrélations entre les variables physico-chimiques et fonctionnelles caractérisant les insectes comestibles analysés.....	108

## Table des matières

---

3.1.4. Risques liés à la consommation des insectes .....	110
3.1.4.1. Facteurs antinutritionnels de <i>M. subhyalinus</i> , <i>R. phoenicis</i> , <i>O. owariensis</i> , <i>N. dione</i> et <i>Z. variegatus</i> .....	110
3.1.4.2. Biodisponibilité des minéraux .....	111
3.1.4.3. Potentiel allergénique de <i>Macrotermes subhalinus</i> , <i>Rhynchophorus phoenicis</i> , <i>Oryctes owariensis</i> , <i>Nudaurelia dione</i> et <i>Zonocerus variegatus</i> .....	112
3.1.5. Profils nutritionnels des farines de maïs et de mil germées enrichies aux insectes comestibles : <i>Rhynchophorus phoenicis</i> et <i>Oryctes owariensis</i> .....	119
3.1.5.1. Potentiels nutritionnels des farines formulées .....	119
3.1.5.2. Propriétés fonctionnelles des farines formulées .....	123
3.1.5.3. Qualité microbiologique des farines formulées.....	125
3.1.5.4. Acceptabilité des produits (biscuits) élaborés à partir des farines composées formulées.....	126
<b>3.2. Discussion.....</b>	<b>128</b>
3.2.1. Evaluation de l'entomophagie et impact sociodémographique .....	128
3.2.2. Facteurs incitant ou limitant la consommation des insectes .....	130
3.2.3. Potentiel nutritionnel des différents insectes analysés .....	131
3.2.3.1. Macronutriments des insectes comestibles.....	131
3.2.3.2. Caractéristiques physico-chimiques de la matière grasse .....	135
3.2.3.3. Micronutriments des insectes comestibles .....	135
3.2.3.4. Propriétés fonctionnelles des insectes comestibles.....	138
3.2.4. Risques liés à la consommation des insectes comestibles .....	140
3.2.4.1. Facteurs antinutritionnels .....	140
3.2.4.2. Risque allergénique.....	142
3.2.5. Profils nutritif, fonctionnel et microbiologique des farines enrichies aux insectes comestibles.....	146
3.2.5.1. Potentiel nutritif des farines enrichies.....	146
3.2.5.2. Propriétés fonctionnelles des farines élaborées .....	148
3.2.5.3. Qualité microbiologique de la farine enrichie aux larves de <i>Rhynchophorus phoenicis</i> et <i>Oryctes owariensis</i> .....	149
3.2.5.4. Acceptabilité sensorielle des biscuits produits à partir de farines enrichies .....	149
<b>CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....</b>	<b>151</b>
<b>Conclusion .....</b>	<b>152</b>
Perspectives.....	153

## Table des matières

---

Recommandations.....	154
<b>REFERENCES .....</b>	<b>155</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>193</b>

## DEDICACE

*A mon père KOBENAN Boko et ma mère  
OUATTARA Fatou*

*Autant de phrases aussi expressives soient-elles ne sauraient montrer le degré d'amour et d'affection que j'éprouve pour vous. Pour toutes ces privations et sacrifices consentis pour faire de moi la femme modèle, recevez, en ce jour mémorable, ce travail en signe de ma vive reconnaissance et ma profonde estime. Puisse le Tout-puissant vous donner santé, bonheur et longue vie afin que je puisse vous combler à mon tour.*

# REMERCIEMENTS

Le présent travail a été réalisé aux laboratoires d'Agro-valorisation de l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa et d'Entomologie fonctionnelle et évolutive, Gembloux Agro-Bio Tech à l'Université de Liège dans le cadre de l'obtention du diplôme de Doctorat. Au terme de cette étude, qu'il me soit permis d'exprimer ma reconnaissance à ceux dont le soutien, la disponibilité et la contribution à divers niveaux ne m'ont pas fait défaut, au cours de la conception et la réalisation de ce travail. Cette thèse n'aurait pas pu être menée à terme sans la contribution scientifique et le soutien moral de plusieurs personnes que je voudrais remercier.

Je remercie le Professeur TIDOU Abiba Sanogo Epouse KONE, Présidente de l'Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG) ainsi que les Vice-présidents, Professeur KONE Tidiani et Professeur AKAFFOU Doffou Sélastique, pour tout le travail qu'ils ont accompli, afin de mettre à notre disposition un cadre d'étude sain où règnent la quiétude et la rigueur scientifique.

J'exprime toute ma reconnaissance au Docteur TONESSIA Dolou Charlotte, Maître de Conférences de l'Université Jean Lorougnon Guédé, Directeur de l'Unité de Formation et de Recherche (UFR) en Agroforesterie, pour avoir favorisé le bon déroulement de ce travail.

Je remercie le Professeur BEUGRE Grah Avit Maxwell, Responsable du laboratoire d'Agro-valorisation de l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa pour ses conseils et ses encouragements.

J'exprime toute ma gratitude au Professeur FRANCIS Frédéric, Doyen de Faculté Gembloux Agro-Bio Tech de l'Université de Liège pour m'avoir fait l'honneur de m'accepter au sein du Laboratoire d'Entomologie fonctionnelle dont il en est le responsable. La pleine confiance qu'il m'a accordée, sa disponibilité, ses conseils et son appui scientifique ont été des éléments très importants dans l'élaboration de ce travail.

Je tiens à remercier très sincèrement mon Directeur de thèse, Docteur ANGAMAN Djédoux Maxime, pour avoir cru en mes capacités. A ses côtés, j'ai pu forger davantage mon amour pour la recherche et la rigueur scientifique. Je voudrais aussi le remercier pour le soutien moral pour mon épanouissement loin des miens. Les mots ne suffisent pas pour vous exprimer tout le bien que je ressens, merci.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude aux rapporteurs de cette thèse, le Professeur AHONZO-NIAMKE Sébastien Lamine, les Docteurs KOUASSI Kouakou Nestor et KOKO

## Remerciements

---

Anauma Casimir, Maîtres de Conférences, qui ont pris de leur temps pour améliorer le contenu du document.

Je remercie particulièrement le Professeur TRAORE Karidia pour l'honneur qu'elle nous fait en acceptant de présider le jury de cette thèse et d'améliorer le document.

J'adresse mes remerciements au Docteur DIOMANDE Massé Maître de Conférences à l'UJLoG et au Docteur KRA Kouassi Aboutou Séverin, Maître de Conférences à l'UFHB, examinateurs de cette thèse, pour leur contribution à l'amélioration du document.

J'exprime ma profonde reconnaissance à Madame CODO Yolande sans qui ce travail n'aurait jamais pu débuter.

Je remercie de tout cœur la technicienne Madame BERA Emilie et toute l'équipe d'entomologie fonctionnelle qui ont contribué, à faire de ce stage une expérience inoubliable et particulièrement enrichissante tant sur le plan personnel que professionnel.

Je tiens à remercier l'ensemble des thésards de l'équipe entre autres, N'ZI N'goran Parfait, KAMBOU Sansan, GBEGBE Dého Aristide, pour leur présence et leur soutien tant dans les moments de joie comme de difficultés durant ce travail.

Je remercie les amis de la Résidence Nord-Sud de Gembloux, exceptionnellement KOUASSI Alfred et KAMBIRE Sami pour leur accueil et gentillesse. Merci pour tous ces petits repas chauds, gourmands et particulièrement réconfortants dans le froid de l'hiver belge.

Je tiens également à remercier la première promotion de Master Sécurité Alimentaire, particulièrement les 3BA pour la bonne ambiance et la solidarité qui ont prévalu entre les étudiants au cours de la formation.

Je tiens à remercier du plus profond de mon cœur les membres de ma famille : mes parents et mes frères qui me témoignent leur amour tous les jours, à ma nièce KOUAKOU Prunelle, dont le sourire me comble de bonheur tous les jours.

Et pour finir,

A toi, mon fidèle, mon oasis, mon précieux, pour ta présence infaillible à mes côtés, ton oreille attentive, tes conseils avisés, ton soutien permanent et, tout simplement, ton humanisme sans limites, tu ne me connais comme personne. Merci pour tout.

### **LISTE DES ABREVIATIONS ET SIGLES**

AFNOR	: Association Française de Normalisation
AFSCA	: Agence Fédérale pour la Sécurité de la Chaîne Alimentaire
AFSSA	: Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments
ANSES	: Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
Av. J-C	: Avant Jésus-Christ
CAE	: Capacité d'Absorption en Eau
CAH	: Capacité d'Absorption en Huile
CHD	: Coronary Heart Disease
CTAB	: Bromure de CetylTriméthylAmmonium
Da	: Dalton
dNTP	: DésoxyriboNucléotide Triphosphate
EDS	: Enquête Démographique et de Santé
EDTA	: Ethylène Diamine Tétra Acétique
EFSA	: European Food Safety Authority
EPT	: Eau Peptonée Tamponnée
FAO	: Food and Agriculture Organisation
FIDA	: Fond International de Développement Agricole
FNB	: Food Nutrition Board
HACCP	: Hazards Analysis of Critical and Control Point
HRP	: Horseradish Peroxidase
INS	: Institut National de la Statistique
IUIS	: International Union of Immunological Societies
ISO	: Organisation Internationale de Normalisation
KPL	: Kirkegaard & Perry Laboratories
MgCl <sub>2</sub>	: Chlorure de magnésium
MICS	: Multiple Indicator Cluster Surveys
NAMS	: North American Menopause Society
NVWA	: Netherlands Food and Consumer Product Safety Authority
OCDE	: Organisation de Coopération et de Développement Economiques
OMS	: Organisation Mondiale de la Santé

## Abréviations et Sigles

---

OXFAM	: Oxford Committee for Relief Famine
PAM	: Programme Alimentaire Mondial
Pb	: Paire de Base
PCR	: Polymerase Chain Reaction
PM	: Pouvoir Moussant
PNMN	: Plan National Multisectoriel de Nutrition
PVP	: Polyvinylpyrrolidone
RDA	: Recommended Dietary Allowance
Rpm	: Tour par minute
RVS	: Rappaport Vassiliadis Soja
SM	: Stabilité de la Mousse
SMART	: Standardized Monitoring and Assessment of Relief and Transitions
SOFI	: State of Food Security and Nutrition in the World
TBE	: Tris-Borate EDTA
TBS	: Tris Buffered Saline
TE	: Tris-EDTA
TG	: Triglycérides
UFC	: Unité Formant Colonie
UJLoG	: Université Jean Lorougnon Guédé
UNICEF	: United Nations International Children's Emergency Fund
UNU	: United Nations University
USD	: Dollar US
VLDL	: Very Low-Density Lipoprotein
VRBG	: Violet Red Bile Glucose
VRBL	: Violet Red Bile Lactose

# Liste des tableaux

---

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Liste des insectes comestibles répertoriés en Côte d'Ivoire .....	15
Tableau II : Composition nutritionnelle (%) et contenu énergétique (kcal/100g) d'insectes comestibles basés sur la matière sèche .....	24
Tableau III : Composition en acides aminés de quelques espèces de criquets comestibles en mg/g de protéine .....	26
Tableau IV : Liste des espèces d'insectes échantillonnés .....	49
Tableau V : Equipements prépondérants utilisés .....	52
Tableau VI : Amorces pour identification moléculaire de quelques échantillons .....	53
Tableau VII : PCR et conditions d'amplification.....	56
Tableau VIII : Caractéristiques des sérums aux réponses positives utilisées pour le test de western blot.....	70
Tableau IX : Enrichissement de farines composées de maïs incorporées de broyat de <i>R. phoenicis</i> .....	74
Tableau X : Enrichissement de farines composées de maïs incorporées de broyat de <i>O. owariensis</i> .....	75
Tableau XI : Enrichissement de farines composées de mil incorporées de broyat de <i>R. phoenicis</i> .....	75
Tableau XII : Enrichissement de farines composées de mil incorporées de broyat de <i>O. owariensis</i> .....	75
Tableau XIII : Méthodes de préparation des différents milieux de culture .....	77
Tableau XIV : Quantités d'ingrédients pour la formulation des biscuits .....	80
Tableau XV : Niveau de connaissance de l'entomophagie par la population enquêtée .....	87
Tableau XVI : Proportions de personnes ayant déjà consommé les insectes en fonction du sexe, de la ville, du niveau d'éducation et de l'âge. ....	88
Tableau XVII : Espèces d'insectes comestibles en Côte d'Ivoire .....	91
Tableau XVIII : Composition physico-chimique des différentes espèces d'insectes collectées .....	96
Tableau XIX : Composition physico-chimique de la matière grasse des différentes espèces collectées.....	99
Tableau XX : Composition en acide gras (g /100gMS) des insectes comestibles analysés ...	102

## Liste des tableaux

---

Tableau XXI : Composition en minéraux des insectes analysés (en mg/kg de MS) .....	104
Tableau XXII : Paramètres de réalisation du réseau de neurones de la composition en minéraux des insectes analysés.....	104
Tableau XXIII : Propriétés fonctionnelles des insectes analysés.....	107
Tableau XXIV: Composition en facteurs antinutritionnels des insectes comestibles (en mg/100 g MS) .....	110
Tableau XXV : Biodisponibilité des minéraux en fonction de l'oxalate et du phytate.....	112
Tableau XXVI : Protéines identifiées à partir de bandes SDS-PAGE liées à la purification d'arginine kinase des espèces analysées .....	116
Tableau XXVII : Caractéristiques physico-chimiques des farines de Mil et Maïs enrichies aux larves <i>Rhynchophorus phoenicis</i> et <i>Oryctes owariensis</i> .....	120
Tableau XXVIII : Paramètres de réalisation du réseau de neurones des caractéristiques physico-chimiques au niveau des farines.....	121
Tableau XXIX : Propriétés fonctionnelles des farines de mil et maïs enrichies aux larves de <i>Rhynchophorus Phoenicis</i> et <i>Oryctes owariensis</i> .....	124
Tableau XXX : Qualité microbiologique des farines enrichies au insectes comestibles .....	126

# Liste des figures

---

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Evolution du nombre de personnes sous-alimentées dans le monde de 2005 à 2018 . .....	7
Figure 2 : Proportion de personnes sous-alimentées par région. ....	8
Figure 3 : Carte de prévalence de la malnutrition chronique en Côte d'Ivoire. ....	10
Figure 4 : Répartition des insectes comestibles dans le monde. ....	12
Figure 5 : Rejet de gaz à effet de serre de différentes sources de protéines .....	16
Figure 6 : Pourcentage des ordres d'insectes en alimentation humaine à échelle mondiale.....	17
Figure 7 : Coléoptères, <i>Rhynchophorus phoenicis</i> (A) et <i>Rhynchophorus ferrugineus</i> (B).....	18
Figure 8 : Lépidoptères, <i>Imbrasia oyemensis</i> (A) et <i>Gonimbrasia belina</i> (B) .....	19
Figure 9 : Larves et nymphes des abeilles .....	20
Figure 10 : <i>Acheta domesticus</i> .....	21
Figure 11 : Cochenille, <i>Dactylopius coccus</i> .....	22
Figure 12 : <i>Macrotermes subhyalinus</i> ; Termite ailé (A) et Reine termite (B).....	23
Figure 13 : Zones enquêtées pour l'évaluation de l'entomophagie .....	40
Figure 14 : Diagramme ombrothermique de la région du Haut-Sassandra. ....	41
Figure 15 : Diagramme ombrothermique de la région du Gbèkè. ....	43
Figure 16 : Diagramme ombrothermique de la région du Poro .....	45
Figure 17 : Diagramme ombrothermique de la région du Tonpki. ....	46
Figure 18 : Larves de <i>Oryctes owariensis</i> (A) et <i>Rhynchophorus phoenicis</i> (B).....	50
Figure 19 : Larves de <i>Imbrasia oyemensis</i> (A), <i>Cirina butyrospermi</i> (B) et <i>Nudaurelia dione</i> (C).....	50
Figure 20 : <i>Macrotermes subhyalinus</i> (termites ailés, stade adulte). ....	50
Figure 21 : <i>Zonocerus variegatus</i> (criquet puant, stade adulte).....	51
Figure 22 : Grains germés de maïs (A) et mil (B).....	51
Figure 23 : Extraction des lipides des différents échantillons d'insectes : phase de mélange de solvant (A) et récupération de la phase organique après 24 h (B) .....	60
Figure 24 : Concentration de la matière grasse par évaporation des solvants .....	60
Figure 25 : Chromatographe en phase gazeuse (Thermo Fisher Scientific Trace GC Ultra) ...	61
Figure 26 : Présentation du Dumas en cours d'analyse .....	64
Figure 27 : Dispositif de dialyse (A) et appareil de chromatographie Akta sur colonne (B) ...	70
Figure 28 : Principe de western blot appliqué.....	71

## Liste des figures

---

Figure 29 : Diagramme de production des différentes farines brutes de maïs et de mil .....	73
Figure 30 : Nombre de personnes enquêtées par ville.....	83
Figure 31 : Population enquêtée selon le sexe .....	83
Figure 32 : Distribution de l'âge des personnes enquêtées .....	84
Figure 33 : Distribution de l'âge des personnes enquêtées en fonction des villes (Bouaké, Daloa, Korhogo, Man).....	84
Figure 34 : Diagramme de Cleveland de la profession ou activité des personnes enquêtées...	85
Figure 35 : Histogramme du niveau d'éducation des personnes enquêtées .....	85
Figure 36 : Diagramme en secteur des groupes ethniques représentés au cours de l'enquête sur l'entomophagie.....	85
Figure 37 : Représentation graphique des résultats des tests d'indépendance du khi-2 de la consommation des insectes en fonction de la ville.....	89
Figure 38 : Motifs d'arrêt de consommation .....	90
Figure 39 : Proportion des malaises rencontrés .....	90
Figure 40 : Nombre d'espèces consommées en fonction des zones enquêtées .....	92
Figure 41 : Taux de consommation des espèces d'insectes par les populations enquêtées.....	92
Figure 42 : Source de motivation à la consommation des insectes .....	93
Figure 43 : Facteurs limitants la consommation des insectes .....	93
Figure 44 : Gel d'électrophorèse des produits d'amplification de la PCR des gènes COI de <i>Oryctes owariensis</i> , <i>Rhynchophorus phoenicis</i> (A) et <i>Nudaurelia dione</i> (B). .....	94
Figure 45 : Variances expliquées (A) et contribution des paramètres physico-chimiques (B) dans la représentation des dimensions.....	97
Figure 46 : ACP Biplot des paramètres physico-chimiques et des différentes espèces étudiées .....	98
Figure 47 : Variances expliquées (A) et contribution des indices des matières grasses (B) dans la représentation des dimensions.....	100
Figure 48 : ACP Biplot des indices des matières grasses et des différentes espèces étudiées .....	100
Figure 49 : Abondance des acides gras (g/100 g de MG) dans la matière grasse des insectes comestibles.....	103
Figure 50 : Abondance relative des minéraux des insectes comestibles analysés .....	105
Figure 51: Variances expliquées (A) et contribution des propriétés fonctionnelles (B) dans la représentation des dimensions .....	107
Figure 52 : ACP Biplot des propriétés fonctionnelles et des insectes comestibles analysés..	108

## Liste des figures

---

Figure 53 : Matrice de corrélation des paramètres physico-chimiques et fonctionnels des insectes analysés.....	109
Figure 54 : Heatmap Cluster des paramètres antinutritionnels de <i>Macrotermes subhalinus</i> , <i>Rhynchophorus phoenicis</i> , <i>Oryctes owariensis</i> , <i>Nudaurelia dione</i> et <i>Zonocerus variegatus</i> .	111
Figure 55 : Profils d'élution d'arginine kinase (purifiée avec 70 à 90 % de sulfate d'ammonium) de <i>Rhynchophorus phoenicis</i> (A), <i>Nudaurelia dione</i> (B), <i>Zonocerus variegatus</i> (C) et <i>Oryctes owariensis</i> (D) sur colonne de chromatographie échangeuse d'ions Q-Sepharose .....	113
Figure 56 : SDS-PAGE (A) et Immunoblots des extraits bruts (B). 1 : extrait purifié au sulfate d'ammonium (70-90 % ;2)) et fraction partielle d'arginine kinase de <i>Oryctes owariensis</i> (3 ; 4 ; 5).....	114
Figure 57 : Immunoblots de l'extrait brut 1 et des fractions (8 ; 9 ; 10 ; 11) purifiées d'arginine kinase du <i>Rhynchophorus phoenicis</i> . .....	114
Figure 58 : Profils d'élution d'arginine kinase (purifiée avec 70 % à 90 % de sulfate d'ammonium) de <i>Zonocerus variegatus</i> (A), <i>O.owariensis</i> (B) , <i>R.phoenicis</i> (C) et <i>Nudaurelia dione</i> (D) sur colonne de chromatographie échangeuse d'ions Q Sepharose. ....	117
Figure 59 : Réponse positive au test de lugol .....	118
Figure 60 : Immunoblots des fractions purifiées d'alpha amylase de <i>Rhynchophorus phoenicis</i> .....	118
Figure 61 : Abondance relative des paramètres physico-chimiques des farines produites sur une carte de Kohonen.....	122
Figure 62 : Classification des farines produites selon les propriétés fonctionnelles.....	125
Figure 63 : Biscuits produits à base de farines (mil et maïs) enrichies aux insectes .....	127
Figure 64 : Représentation des résultats de test hédonique des biscuits produits à base de farines (mil et maïs) enrichies aux insectes.....	127

## Liste des annexes

---

### **LISTE DES ANNEXES**

**Annexe 1** : Questionnaire pour enquête

**Annexe 2** : Matériel technique

**Annexe 3** : Test d'acceptabilité de différents échantillons de biscuits

**Annexe 4** : Profils des acides gras de *O. owariensis*, *N. dione*, *R. phoenicis*, *M. subhyalinus*, *C. butyrospermi*, *I. oyemensis*

# **INTRODUCTION**

## Introduction

---

La population mondiale s'accroît rapidement et on estime que d'ici à 2050, elle aura atteint la barre des neuf milliards de personnes (Alexandratos & Bruinsma, 2012 ; FAO, 2013 ; van Huis *et al.*, 2013). Ce qui sous-entend une augmentation de 70 % de la demande actuelle en ressources nutritives. Selon la FAO, l'on devra doubler la production actuelle de la viande soit une production estimée à 200 millions de tonnes afin d'assouvir le besoin humain (Dussault, 2017). Dès lors, nourrir cette population va être un énorme défi en raison des facteurs naturels tels que le changement climatique, la crise énergétique, la diminution de la fertilité des sols, l'incidence des ravageurs et des maladies des plantes. Ajoutons également les situations causées par l'homme à savoir, l'augmentation des prix des ressources classiques (la viande, du lait ou des œufs), la non-disponibilité des aliments, le manque de pouvoir d'achat des consommateurs, enfin les disparités dans la distribution des aliments (Gahukar, 2009 et 2011 ; Kumar *et al.*, 2010). Ainsi, l'insécurité alimentaire face au changement climatique et à la croissance démographique est une réalité mondiale qui appelle à l'élaboration et à la mise en œuvre de stratégies d'atténuation de toute urgence. En effet, le rapport publié conjointement par la FAO/FIDA/PAM/UNICEF/OMS (2019), chiffre à plus de 820 millions le nombre de personnes en situation d'insécurité alimentaire dans le monde. La forme la plus grave de ces problèmes nutritionnels est la malnutrition protéino-énergétique qui touche inéluctablement des centaines de millions de personnes (Albouy & Chardigny, 2016). Outre, quelques zones touchées en Amérique du Sud (Bolivie, Paraguay, Pérou), en Asie (Mongolie, Pakistan), l'Afrique reste la plus grosse victime de ce fléau avec une personne sur cinq en situation d'insécurité alimentaire (Lavalette, 2013). En Côte d'Ivoire, environ 5 % de la population est concernée par les difficultés d'accès aux protéines animales classiques telles que la viande et le poisson (INS, 2008). A cela s'ajoute, les résultats de l'enquête SMART 2011-2012 qui stipulent que 29,8 % des enfants souffrent de malnutrition chronique et 7,5 % d'enfants sont atteints d'émaciation (EDS-MICS, 2012). Malgré les efforts déjà consentis, les prévisions démographiques annoncées ne sembleraient améliorer la situation. Il paraît donc évident que de nouvelles méthodes de production durable et/ou de nouvelles sources de protéines doivent être développées tout en préservant la qualité de la nourriture, la situation sociale économique et la biodiversité (Gahukar 2011 ; Belluco *et al.*, 2013).

Face à tout ce qui prévaut, l'entomophagie (le fait de consommer des insectes) représenterait l'avantage de mieux répondre à ces exigences. Ainsi, les enjeux nutritionnels, économiques et écologiques de cette consommation sont si importants à tel enseigne que la FAO a publié un rapport sur l'entomophagie (FAO, 2013). Elle envisage les insectes comme une alternative durable aux protéines animales devant la raréfaction des ressources naturelles, les pressions

## Introduction

---

environnementales, l'augmentation croissante de la population mondiale et de la demande en protéines (van Huis *et al.*, 2013). Evidemment, ces derniers possèdent des hauts taux de fécondité avec la possibilité d'être élevés sans interruption durant toute l'année ; des hauts taux de conversion ; un faible impact environnemental principalement lié à une faible émission de gaz à effet de serre ; un faible réquisit en espace d'élevage ; pour certaines espèces, la capacité de recycler des résidus organiques industriels et/ou agricoles pour constituer des aliments pour le bétail ou pour l'humain (Defoliart, 1995 et 1997 ; Ramos-Elorduy, 1997 ; Pimentel & Pimentel, 2003 ; Reijnders & Soret, 2003 ; Vogel, 2010 ; Rumpold & Schlüter, 2013a ; van Huis *et al.*, 2013). En sus de ces bénéfiques environnementaux, les insectes sont à l'avenant très nutritifs, particulièrement riches en protéines de haute qualité. Ces derniers contiennent des quantités non négligeables de lipides de haute qualité (avec de faible taux de cholestérol pour certaines espèces), de minéraux (fer, zinc, calcium et phosphore) ainsi que des vitamines (B et/ou D principalement) (Rumpold & Schlüter, 2013b ; van Huis, 2013). Cette teneur varie fortement en fonction des espèces d'insectes, et de leur alimentation. Certains insectes (criquets, grillons, sauterelles, vers de farine, vers à soie, termites notamment) tiennent la comparaison avec le bœuf, les crustacés et les poissons (van Huis, 2013). Ils sont également riches en fibres, vitamines et minéraux (46-96 % du profil nutritionnel) (Ramos-Elorduy, 1997 ; Bukkens, 1997 ; Verkerk *et al.*, 2007 ; van Huis, 2013). Près de 2086 espèces d'insectes sont collectés dans leur habitat naturel et considérés comme une source normale de l'alimentation pour près de deux milliards de personnes (Ramos-Elorduy, 2009). Ehounou *et al.* (2018) estiment à 9 le nombre d'espèces consommées en Côte d'Ivoire. Pour les populations des pays en développement, la consommation et le commerce d'insectes, en particulier la vente, contribuera à l'autonomisation économique des femmes et à l'amélioration des moyens de subsistance (Roos *et al.*, 2017 ; Ehounou *et al.*, 2018).

Par ailleurs, l'expansion de l'entomophagie fait face à plusieurs barrières. Certains consommateurs considèrent que les insectes sont culturellement non comestibles, chargés de peur, d'aversion et impropres à la santé (Gallen & Pantin-Sohier, 2015 ; Boko *et al.*, 2020). Ces auteurs associent cette réaction à un déficit de connaissance relatif à la consommation d'insectes surtout en Afrique. La revue de van Huis (2013) soutient que pour faciliter l'acceptation des consommateurs vis-à-vis de l'entomophagie, ceux-ci devraient savoir où acheter les insectes et comment les préparer afin d'éviter les risques liés à la consommation. Selon Rumpold & Schlüter (2013a) les insectes ne sont pas tous comestibles et peuvent devenir, suite à une conservation non adaptée, impropres à la consommation humaine. Comme tout aliment, la consommation d'insectes présenterait des risques de plusieurs natures. Toutefois, une attention

## Introduction

---

toute particulière doit être portée sur le risque allergénique (Caparros Megido *et al.*, 2015) lié à cette consommation. En effet, les insectes comestibles ont un large répertoire d'allergènes en liaison aux antigènes IgE qu'ils partagent avec des groupes d'arthropodes, de mollusques et de nématodes sur le plan phylogénique. Ces allergènes à réactivité croisée sont susceptibles de déclencher des réactions allergiques chez des individus préalablement sensibilisés aux mollusques et aux crustacés (Barre *et al.*, 2014).

A ce jour, les études sur l'entomophagie en Côte d'Ivoire sont plus axées sur la détermination du potentiel nutritionnel (Akpossan *et al.*, 2009 ; Niaba *et al.*, 2011 ; Gbogouri, 2013 ; Niaba *et al.*, 2012). Cependant, le domaine des risques sanitaires (contaminants allergéniques, microbiologiques, chimiques) ainsi que la diversité des espèces comestibles restent très peu exploités, soit quasi inexistant. Dans ce contexte, de nombreuses questions de recherche se posent sur la pratique de l'entomophagie en Côte d'Ivoire. Autrement dit, quel est l'état de l'entomophagie en Côte d'Ivoire ? Quel est le potentiel nutritionnel des différentes espèces consommées ? Quels sont les risques liés à une telle pratique ? En somme, comment les insectes comestibles sont-ils utiles dans l'alimentation de la population ?

Autant de questions auxquelles cette étude tentera d'apporter des réponses. Pour y parvenir l'objectif général de la présente étude vise à contribuer à la valorisation de l'entomophagie en Côte d'Ivoire par une meilleure connaissance du potentiel nutritionnel mais aussi des risques liés à cette pratique afin de garantir la sécurité alimentaire.

Cet objectif général se décline en quatre objectifs spécifiques qui visent à :

- évaluer l'état de l'entomophagie en Côte d'Ivoire ainsi que les stéréotypes liés à leur consommation ;
- déterminer les potentiels nutritionnels et les facteurs antinutritionnels de quelques espèces comestibles ;
- analyser le risque allergénique des insectes comestibles par l'identification de quelques allergènes ;
- proposer de nouvelles sources de protéines animales aux consommateurs et les rendre accessibles aux personnes vulnérables à travers l'enrichissement des produits locaux aux larves d'insectes.

Outre l'introduction et la conclusion, suivies de perspectives et de recommandations, le présent document qui rend compte du travail réalisé est structuré en trois parties. Une première, comprenant les généralités sur les potentialités ainsi que les risques liés à l'entomophagie déjà documentés, servira de base théorique solide à la réflexion scientifique ainsi qu'à la mise en

## Introduction

---

place d'expérimentations de l'étude. La deuxième partie décrit le matériel utilisé et les méthodes adoptées pour la réalisation de cette étude. Enfin, une troisième partie présente les résultats qui sont par la suite discutés. Les références mettent fin à cette étude menée.

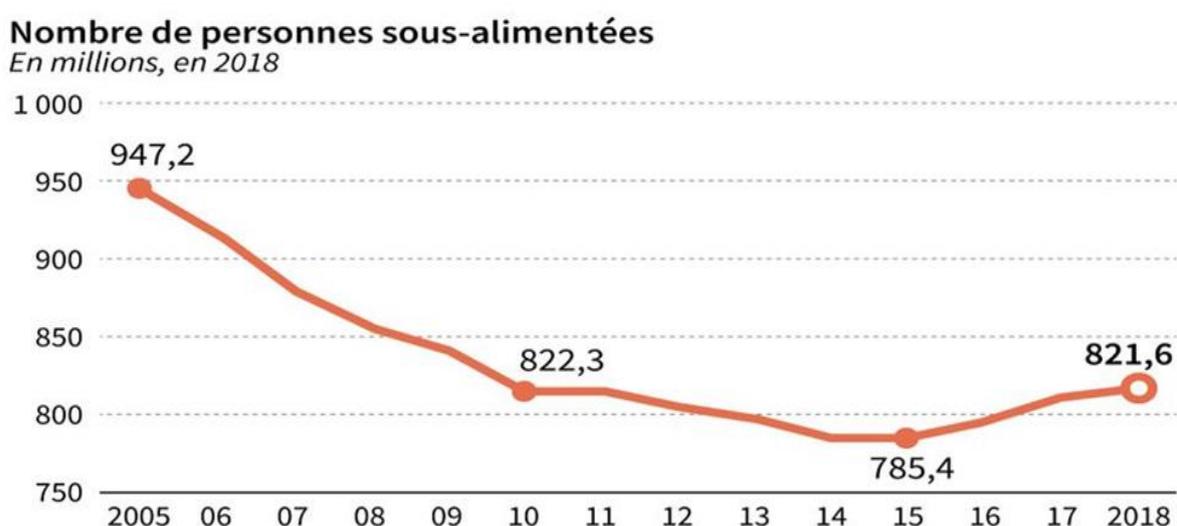
**PREMIERE PARTIE :**  
**GENERALITES**

## 1.1. Insécurité alimentaire

### 1.1.1. Dans le monde

#### 1.1.1.1. Evolution du nombre de personnes sous-alimentées dans le monde

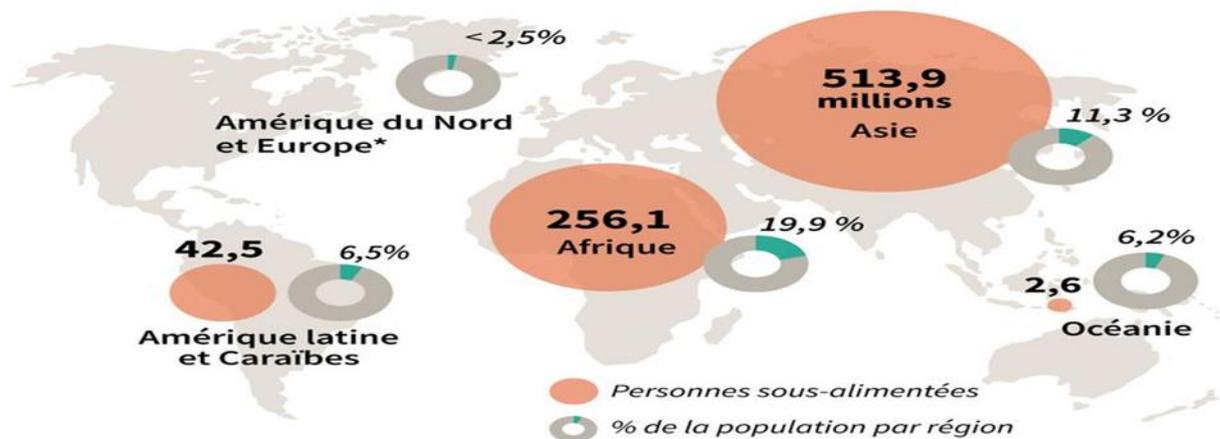
Après des décennies de baisse, l'insécurité alimentaire s'est aggravée depuis 2014 sous l'effet de la multiplication des conflits armés, des phénomènes climatiques extrêmes et des crises économiques à répétition (Figure 1). En 2016, la proportion de personnes sous-alimentées dans le monde était estimée à 800 millions, dont 792 millions dans les pays en développement et 34 millions dans les nations industrialisées et les pays en transition (FAO, 2018).



**Figure 1** : Evolution du nombre de personnes sous-alimentées dans le monde de 2005 à 2018 (FAO, 2018).

#### 1.1.1.2. Proportion des personnes sous-alimentées par région

Plus de la moitié des personnes qui souffrent de la faim dans le monde se trouvent en Asie, où la sous-nutrition touche environ 8 % de la population. Mais, le problème croît le plus rapidement en Afrique, où près d'un habitant sur cinq est actuellement concerné (Figure 2). La région subsaharienne est notamment la plus affectée. Elle demeure la région où la prévalence de la sous-alimentation est la plus élevée, avec un taux alarmant de 19,9 % de la population en 2018 (FAO, 2018).



**Figure 2** : Proportion de personnes sous-alimentées par région (FAO, 2018).

Loin d'être le fléau d'une partie spécifique des populations, la faim concerne indistinctement (et essentiellement) les enfants, les femmes et les personnes âgées, mais aussi les civils déplacés à l'intérieur de leur pays, les réfugiés ou encore les malades (Clemenceau, 2020). D'après les dernières estimations pour 2016, 155 millions d'enfants de moins de 5 ans dans le monde souffrent d'un retard de croissance. À l'échelle mondiale, la prévalence de ce trouble a reculé, passant de 29,5 % en 2005 à 22,9 % en 2016. Toutefois, au rythme actuel, le nombre d'enfants présentant un retard de croissance atteindrait 130 millions d'ici à 2025. De plus, les petits paysans des pays en développement (50 % des personnes sous-alimentées), les travailleurs agricoles (22 % des personnes sous-alimentées), les personnes qui dépendent de la forêt et des autres espaces communs pour la cueillette, la chasse ou la pêche (8 % des personnes sous-alimentées), les pauvres urbains issus de l'exode rural (20 % des personnes sous-alimentées) sont identifiés comme étant les groupes de personnes en situation d'insécurité alimentaire chronique ou structurelle (Schutter, 2010 ; Parmentier, 2014). Les effets de la faim sur la santé, l'éducation et la productivité sont de longue durée, ce qui renforce le piège faim-pauvreté (Behrman *et al.*, 2004 ; Victora *et al.*, 2008). Afin de s'attaquer d'urgence au problème, les Etats Membres des Nations Unies ont défini des objectifs de développement durable (ODD) (OCDE/FAO/FENU, 2017). L'un de ces objectifs, en particulier l'ODD2, vise à éliminer la faim, l'insécurité alimentaire et mettre fin à toutes formes de malnutrition d'ici à 2030. L'atteinte de ces objectifs est rendue difficile par les conflits, le changement climatique, les crises économiques et aussi par les pandémies (OCDE/FAO/FENU, 2017). En effet, fort est de constater qu'aujourd'hui le nombre de personnes sous-alimentées est en hausse d'année en année. Le nombre de personnes sous-alimentées était de 690 millions en 2019, soit près de 9 %

## Généralités

---

de la population mondiale. En termes de nombre, l'Asie compte plus de la moitié des personnes sous-alimentées dans le monde, soit 418 millions de personnes (FAO/FIDA/UNICEF/PAM/OMS, 2021). Selon le dernier rapport de la FAO du 12 juillet 2021, le nombre de personnes confrontées à la faim en 2020 a varié entre 720 et 811 millions de personnes, soit une prévalence de près de 10 %. Ce sont près de 2,37 milliards de personnes qui n'ont pas eu une nourriture adéquate en 2020. Il y a eu environ 118 millions de personnes de plus en 2020 par rapport à 2019 qui ont été confrontées à la faim (SOFI, 2021). Par ailleurs, la sous-alimentation engendre de multiples conséquences indirectes telles que les décès prématurés, les invalidités, l'absentéisme, les retards de croissance et les déficiences cognitives chez les enfants (FAO, 2004a). Elle affecte donc les capacités physiques et mentales de l'individu, son bien-être et réduit considérablement sa productivité. Pour l'économie mondiale, les pertes de productivité et les dépenses en santé liées à la malnutrition sont estimées à 3,5 milliards USD soit 5 % du produit intérieur brut (PIB) mondial. Plus précisément, le coût économique de la sous-nutrition et des carences en micronutriments représenterait entre 2 et 3 % du PIB mondial par an (FAO, 2013). Au-delà de l'aspect humanitaire, c'est donc un fléau qui a un impact indéniable sur les activités et les performances économiques d'une nation.

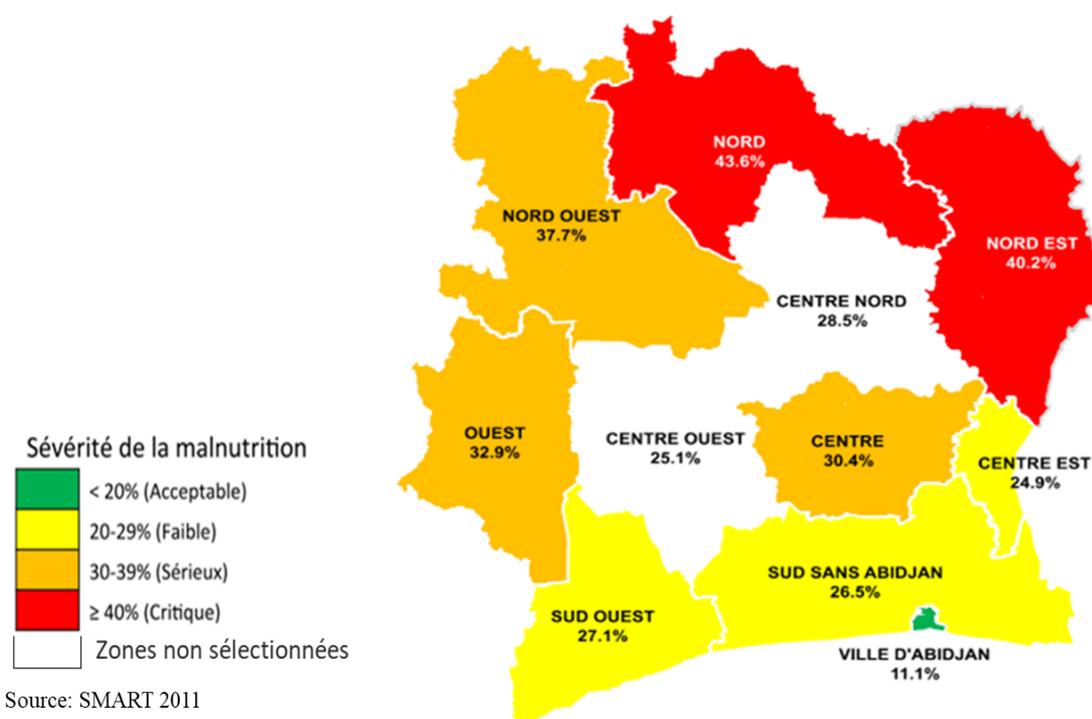
### 1.1.2. En Afrique

L'Afrique est la région du monde où la prévalence de personnes sous-alimentées est fortement en hausse. La sous-alimentation affecte 21 % de la population. En termes de nombre de personnes, on y trouve un peu plus du tiers (282 millions) des personnes sous-alimentées dans le monde (FAO/FIDA/OMS/PAM /UNICEF, 2020). Selon le rapport du SOFI (2021), 60 % de la population en Afrique souffre d'insécurité alimentaire. Les proportions de personnes affectées par la faim en Afrique varient d'une région à une autre. L'Afrique du Nord a enregistré la plus petite proportion (7,1 %) de personnes confrontées à la faim en 2020. En Afrique du Sud, ce sont 10,1 % de la population qui ont été atteints par la faim en 2020. L'Afrique de l'Ouest et l'Afrique Centrale ont enregistré des prévalences respectives de 18,7 % et 31,8 %. La région de l'Afrique qui a été beaucoup touchée par la sous-alimentation est l'Afrique de l'Est avec plus de 125 millions de personnes touchées par la faim en 2020 (SOFI, 2021). L'insécurité alimentaire est de plus en plus préoccupante en Afrique de l'Ouest car c'est la région de l'Afrique où la proportion de personnes souffrant de faim augmente rapidement et significativement. En effet, en 2019, la proportion de personnes affectées de façon modérée ou sévère par l'insécurité alimentaire dans cette région de l'Afrique était de 54,2 %. Cette proportion est passée en 2020 à 68,3 %. La pandémie de COVID-19 est un facteur qui a

beaucoup contribué à l'augmentation de l'insécurité alimentaire aussi bien dans le monde qu'en Afrique.

### 1.1.3. En Côte d'Ivoire

La Côte d'Ivoire est un pays où le taux de prévalence d'insécurité alimentaire augmente rapidement (FAO/FIDA/PAM/UNICEF/OMS, 2019). Des études menées sur la situation alimentaire et nutritionnelle en Côte d'Ivoire ont montré que le Nord, l'Ouest et le Centre sont les zones du pays où la malnutrition chronique est persistante (CNN, 2015). L'insécurité alimentaire et la malnutrition sont plus importantes dans les zones rurales où le revenu des populations est assez faible (OCDE/FAO/FENU, 2017). De plus, la malnutrition chronique est plus marquée dans les régions du Nord (43,6 %), du Nord-Est (40,2 %), du Nord-Ouest (37,7 %), et de l'Ouest (32,9 %) (Figure 3). La ville d'Abidjan représente la zone du pays la moins affectée par la malnutrition chronique avec une prévalence de 11,1 % (PNMN, 2016).



**Figure 3 :** Carte de prévalence de la malnutrition chronique en Côte d'Ivoire (CNN, 2015).

## 1.2. Entomophagie

### 1.2.1. Définition

Le terme d'entomophagie est étymologiquement issu des termes grecs « entoma » qui signifie « insectes », et « phagos » qui veut dire « mangeur ». L'entomophagie désigne ainsi le fait de se nourrir d'insectes (Damir, 2018). Le terme entomophagie n'est exclusivement appliqué qu'à

l'Homme. Dans le cas de la consommation d'insectes par les autres animaux, on parle plutôt d'un régime alimentaire insectivore (Durst *et al.*, 2010).

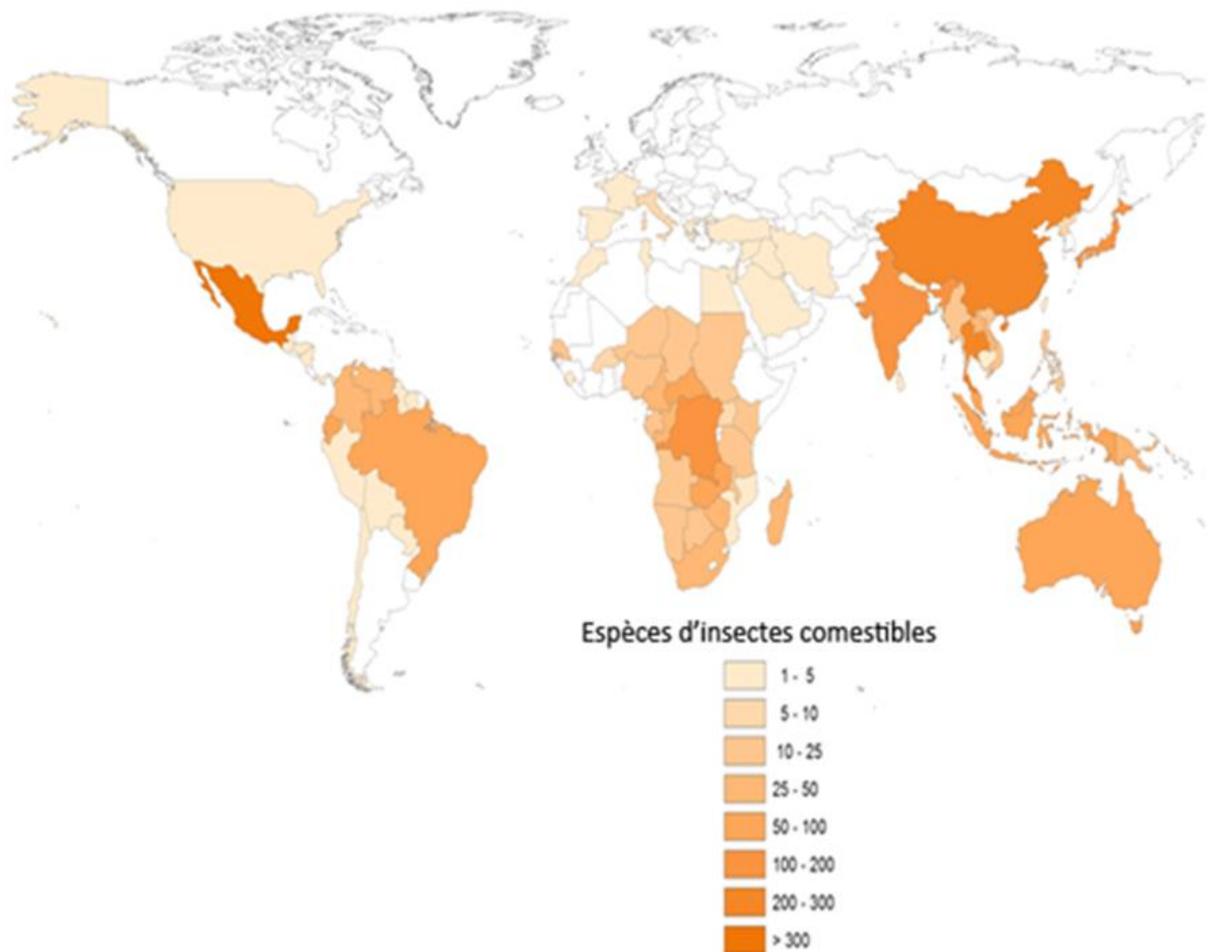
### 1.2.2. Historique de l'entomophagie

Bien que la consommation des insectes suscite de plus en plus d'intérêt, cette pratique reste toutefois très ancienne. En effet, la découverte de fragments d'insectes dans des coprolithes humains datant de 9 500 à 5 400 ans Av-J.C., laisse penser que les insectes faisaient intégralement partie de l'alimentation de l'*Homo sapiens* (Elias, 1998) voire de leurs ancêtres. Aussi, des peintures datant de 30 000 à 9 000 ans Av-J.C., dans des cavernes d'Espagne illustrent la consommation d'insectes par l'humain (Radia & Whippey, 2016). Dans l'antiquité grecque, les criquets et les cigales étaient autant consommés par les riches que par les pauvres. Cependant dans la Rome antique, la consommation des insectes était appréciée par l'aristocratie (Depanafieu, 2013), les plats prisés servis aux banquets étant constitués, le plus souvent, de criquets enrobés de miel à l'aspect doré. Les insectes auraient été les premiers aliments consommés. Les fruits, les légumes et la viande, grâce à la chasse, auraient ensuite été intégrés au régime alimentaire de l'homme (Ramos-Elorduy, 2009). Dans la littérature religieuse, la Bible mais aussi la Torah et le Coran témoignent à plusieurs reprises de la consommation humaine d'insectes (FAO, 2013). Par exemple, la Bible mentionne que Jean-Baptiste, célèbre prophète, est décrit se nourrissant de criquets et de miel sauvage. Aussi, le prophète Moïse décrit-il les espèces à consommer, « Voici ceux que vous mangerez : le criquet, le criquet chauve, le grillon et la sauterelle, selon leurs espèces » (Lévitique 11 : 22). De même, les textes islamiques déclarent : « les grillons sont les gibiers de la mer ; vous pouvez les manger » (Sunaan ibn Majah, 4.3222).

Dans la littérature non religieuse, Aristote (384-322 avant notre ère) parle de la cigale comme nourriture dans « *Historia Animalium* » et donne quelques conseils sur le meilleur moment pour les consommer tandis que Diodore de Sicile (deuxième siècle avant notre ère) utilise l'appellation « mangeurs de sauterelles » pour parler du peuple éthiopien. L'Asie n'est pas en reste avec par exemple la Chine qui aborde l'entomophagie dans la littérature ancienne et elle est considérée comme l'un des plus anciens pays consommateurs d'insectes (Chen *et al.*, 2009). Dans ces conditions, on suppose que l'homme a mangé des insectes sur tous les continents, à l'exception de l'Antarctique (Schabel, 2010).

## 1.2.3. Entomophagie dans le monde

Etant donné que la consommation d'insectes par les êtres humains est ancestrale, il y a de par le monde un grand nombre de peuples adeptes de l'entomophagie (van Huis, 2013). Plus de 300 peuples dans le monde se nourrissent couramment d'insectes (Johnson, 2010). Dans certains cas, les insectes sont consommés comme une nourriture en situation de pénurie alimentaire, d'autres comme spécialité (Monzenga Lokela, 2015). Ainsi, près de 1500 à 2000 espèces d'insectes comestibles ont été inventoriées (Figure 4) dans plus de 113 pays dans le monde (Malaisse, 2004 ; Shockley & Dossey, 2014). L'inventaire existant montre que le continent américain abrite un nombre plus élevé d'espèces comestibles en partie en Amérique du sud et au Mexique particulièrement avec 39 % d'espèces recensées (Ramos-Elorduy, 2006 ; Ramos-Elorduy *et al.*, 2009). L'Afrique (30 %) occupe la seconde place avec 524 espèces comestibles recensées dans 36 pays consommateurs (Ramos-Elorduy *et al.*, 2009).



**Figure 4 :** Répartition des insectes comestibles dans le monde (Dussault, 2017).

Ces pays se trouvent en grande partie dans les régions centrale et australe. Selon Illgner & Nel (2000), 209 espèces sont consommées en Afrique Sub-saharienne. L'Asie avec ses 349 espèces comestibles et 29 pays consommateurs d'insectes arrive en troisième position (Ramos-Elorduy, 2009). En Chine, par exemple les insectes sont consommés depuis plus de 3 000 ans, où près de 180 espèces font communément partie de l'alimentation, parmi lesquelles on retrouve en grande majorité, des ordres des Coléoptères, des Hyménoptères et des Lépidoptères (van Huis, 2003 ; Agbidye *et al.*, 2009 ; Chen *et al.*, 2009). Aussi l'entomophagie est pratiquée pour la plupart du temps par des autochtones qui ne connaissent rien de la systématique et qui identifient les espèces par des noms vernaculaires (Monzenga Lokela, 2015). La récolte des insectes comestibles par la cueillette perdurant encore dans les zones rurales, fait place à une industrie de production en masse dans les zones périurbaines (Barre *et al.*, 2014). Bien qu'elle ait été enregistrée en France, en Allemagne, aux Etats-Unis, la pratique de l'entomophagie est rare dans le monde occidental (Ramos-Elorduy, 1997 ; Yen, 2009). La consommation des insectes fait face à plusieurs pensées négatives : ils sont sales, effrayants voire malsains, ils peuvent transmettre des maladies, leur utilisation comme nourriture est barbare et primitive (Mignon, 2002 ; Chen *et al.*, 2009 ; Ramos-Elorduy, 2009 ; Durst *et al.*, 2010 ; Gahukar, 2013). Les insectes comestibles sont également associés à une néophobie alimentaire qui peut être définie par un refus de goûter de nouveaux aliments (Pliner & Salvy, 2006). Aussi, l'existence du climat froid ralentit la reproduction et le développement des insectes d'où leur indisponibilité (Monzenga Lokela, 2015). Toutefois en Europe, depuis l'apparition d'un rapport de la FAO (2013), sur l'entomophagie, l'idée de développer une production industrielle d'insectes comestibles a fait son chemin (van Huis *et al.*, 2013). Selon le règlement (CE) No 258/97 du Parlement européen du 27 janvier 1997 relatif aux nouveaux aliments et aux nouveaux ingrédients alimentaires, les insectes comestibles destinés à la consommation humaine devraient rentrer dans la catégorie des nouveaux aliments (novel food en anglais) ou des nouveaux ingrédients alimentaires (novel food ingredients) et devraient donc, par conséquent, faire l'objet d'une analyse de risques et recevoir une autorisation de la Commission européenne préalablement à leur mise sur le marché (Belluco *et al.*, 2013 ; Barre *et al.*, 2014).

### 1.2.4. Entomophagie en Afrique

L'entomophagie était pratiquée dans de nombreuses régions d'Afrique comme un héritage traditionnel (Quin, 1959 ; Nonaka, 1996 ; Christensen *et al.*, 2006 ; Hoare, 2007). Les études

## Généralités

---

sur les insectes comestibles africains ont commencé avant le XX<sup>e</sup> siècle (Netolitzky, 1919 ; Bequaert, 1921 ; Quin, 1959 ; Defoliart, 2002). Ainsi, la République Démocratique du Congo, le Congo, la République Centrafricaine, le Cameroun, l'Ouganda, la Zambie, le Zimbabwe, le Nigéria et l'Afrique du Sud ont été identifiés comme étant les principaux pays consommateurs d'insectes. Le nombre exact d'insectes comestibles présente des disparités d'une étude à une autre. Les auteurs van Huis *et al.* (2013) ont signalé 246 espèces d'insectes comestibles de 27 pays d'Afrique. Plus tard, Ramos-Elorduy (2005) a noté que l'Afrique abrite une des plus importantes biodiversités d'insectes comestibles dans le monde avec 524 espèces signalées dans 34 pays africains. Ces espèces représentent une source alternative de nourriture surtout pendant les périodes de saisons pluvieuses lorsque la chasse aux gibiers et/ou la pêche deviennent problématiques (van Huis *et al.*, 2013). Il a été établi que les chenilles et les termites sont les insectes les plus consommés et commercialisés en Afrique. Cependant, de nombreuses autres espèces sont localement plus importantes pour des raisons économiques, écologiques ou nutritionnelles. Sur le continent, par exemple, la commercialisation de la viande de bœuf a connu une baisse sensible pendant la période de récolte de la chenille *Gonimbrasia belina* (Quin, 1959). Au Kenya, des espèces d'insectes telles que les mouches des lacs, les termites « agoro », les fourmis noires, les grillons et les sauterelles font partie des repas traditionnels dans l'Ouest du pays (Ayieko *et al.*, 2011, 2012). En Angola, les espèces de *Macrotermes subhyalinus*, *Rhynchophorus phoenicis* et la chenille *Usta terpsichore* sont consommées (Oliveira *et al.*, 1976). L'étude de Defoliart (1999), révèle que la chenille *Cirina forda* est très appréciée et vendue au poids plus cher que la viande de bœuf au Nigeria. Gomez *et al.* (1961) a signalé 65 espèces comestibles appartenant au moins à 22 familles différentes en République Démocratique du Congo. Aussi, sur le marché, on trouve généralement les larves de *Rhynchophorus phoenicis* vendues à des prix très élevés. Il a été établi que les indigènes Gbaya de la République centrafricaine consomment 96 espèces d'insectes différentes ; cela représente 15 % de leur apport en protéines (Roulon-Doko, 1998).

### 1.2.5. Entomophagie en Côte d'Ivoire

En Côte d'Ivoire, la consommation d'insectes est une pratique existante avec des taux de consommation variant d'une localité à une autre. Les études d'Ehounou *et al.* (2018) estime à 59,72 % le taux de consommation d'insectes à Abidjan (Côte d'Ivoire). Aussi Boko *et al.* (2020) ont enregistré un taux de 63,7 % de consommation pour la ville de Man. De plus, une enquête de consommation des termites comestibles réalisée par Niaba (2014) signale 97 % de consommation. L'étude de l'entomophagie en Côte d'Ivoire a permis de répertorier neuf

## Généralités

espèces comestibles regroupées en cinq ordres (Tableau I). Cependant, l'espèce *Rhynchophorus phoenicis* est l'une des espèces les plus prisées (Ehounou *et al.*, 2018 ; Boko *et al.*, 2020). Les insectes identifiés sont généralement consommés secs, en grillade, en sauce ou frits (Niaba, 2014 ; Boko *et al.*, 2020). Ces insectes ont fait l'objet de plusieurs études nutritionnelles (Foua Bi *et al.*, 2015 ; Assielou *et al.*, 2015 ; Diomandé *et al.*, 2017 ; Koffi *et al.*, 2017). Il est bien de noter que la disponibilité des insectes est très saisonnière et très peu d'études font mention de l'état de l'entomophagie en Côte d'Ivoire.

**Tableau I** : Liste des insectes comestibles répertoriés en Côte d'Ivoire (Ehounou *et al.*, 2018)

Ordre	Famille	Espèce	Nom commun	Nom vernaculaire (ethnie)	Stade consommé
Coléoptère	Curculionidae	<i>Rhynchophorus phoenicis</i>	Chenille de Palmier ( <i>Elaeis guineensis</i> )	Anonkplin (Baoulé)	Larve et adulte
Coléoptère	Dynastidae	<i>Oryctes rhinoceros</i>	Chenille de Raphia	Anonkplin (Baoulé)	Larve et adulte
Lépidoptère	Satunidae	<i>Imbrasia Oyemensis</i>	Sapeli ( <i>Entandrophragma cylindricum</i> ) Chenille	Zéklé (Gouro)	Larve
Lépidoptère	Satunidae	<i>Cirina butyrospermi</i>	Arbre de karité ( <i>Vitellaria paradoxa</i> )	Chétoum (Sénoufo)	Larve
Hyménoptère	Apidae	<i>Apis mellifera</i>	Abeille	Miel	Honey
Lépidoptère	Cossidae	<i>Cossus cossus</i>	Fourmi charpentière	Gnénoukouakoua (Agni)	Larve
Orthoptère	Acrididae	<i>Locusta migratoria</i>	Criquet	Aétché (Baoulé)	Adulte
Orthoptère	Grillydae	<i>Acheta domesticus</i>	Grillon	Klanan (Agni) Bli (Maouka)	Adulte
Isoptère	Macrotermitide	<i>Macrotermes Subhyalinus</i>	Termite	Mle (Baoulé) Mlimli (Bete)	Adulte

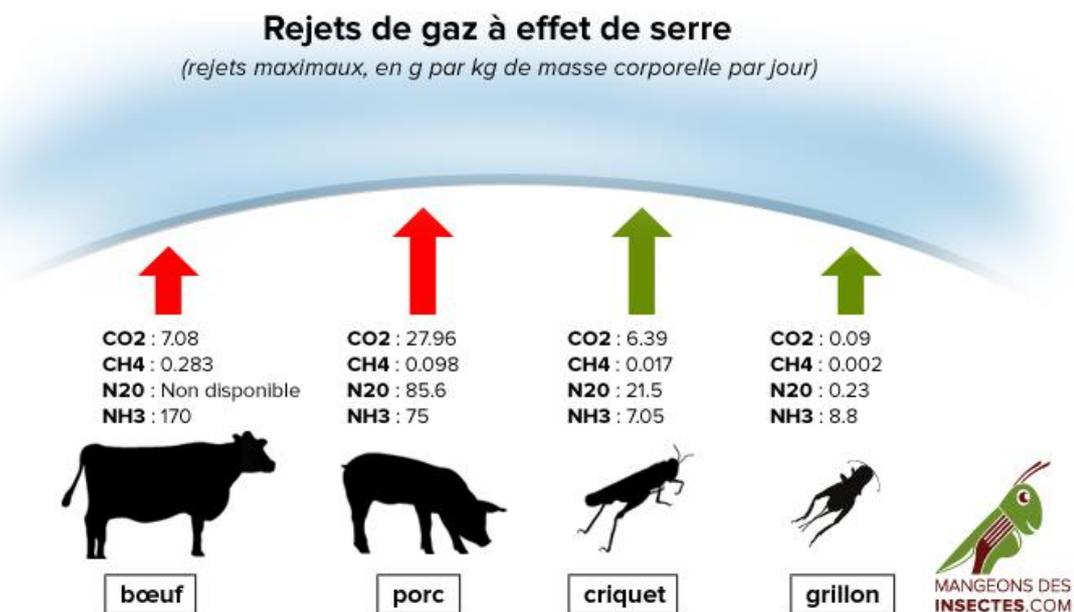
### 1.2.6. Impact environnemental de l'entomophagie

La production de gaz à effet de serre est l'une des causes les plus importantes du changement climatique. Le gaz à effet de serre le plus commun est le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). Les chercheurs de l'Université de Wageningen (Pays-Bas) ont montré que l'élevage d'insectes comestibles comme les criquets, les grillons et les vers de farine produisait beaucoup moins de gaz polluants que les élevages porcins et bovins. En effet, produire 1 kg de vers de farine

## Généralités

entraîne l'émission de 10 à 100 fois moins de gaz à effet de serre que produire 1 kg de viande de porc. Le cochon produit 8 à 12 fois plus d'ammoniac que les criquets et jusqu'à 50 fois plus que les sauterelles (Figure 5). L'élevage d'insectes est donc une alternative pour produire de la viande sans grand impact environnemental (Roekhaut, 2018). Il a été démontré que l'élevage d'insectes comestibles par rapport au bétail a une empreinte environnementale insignifiante (Yen, 2009) ce qui en fait un meilleur choix pour prendre soin de l'environnement tout en offrant des avantages nutritionnels (Figure 5). Selon van Huis *et al.* (2013), l'élevage des insectes comestibles confère plusieurs avantages à l'environnement. Par exemple, l'utilisation des flux de déchets organiques réduit la pollution de l'environnement (l'élevage est responsable de 18 % des émissions de gaz à effet de serre) (van Huis, 2015 ; Sachs, 2015).

Par ailleurs, la production nécessite un faible besoin en eau (par exemple, les vers de farine seraient plus résistants que le bétail en termes de besoins en eau), une efficacité de conversion alimentaire élevée (par exemple, les grillons sont plus efficaces pour convertir les aliments en « viande » que la volaille). Il a également été démontré que l'élevage et la consommation d'insectes réduisent considérablement l'utilisation de pesticides (Cerritos & Cano-Santana, 2008). Ceci a pour conséquence la réduction de l'impact environnemental négatif et la présence probable de résidus de pesticides dans les aliments. La consommation directe d'insectes qui sont des parasites agricoles peut également aider à réduire l'utilisation de pesticides dans l'agriculture (Dobermann, 2017).

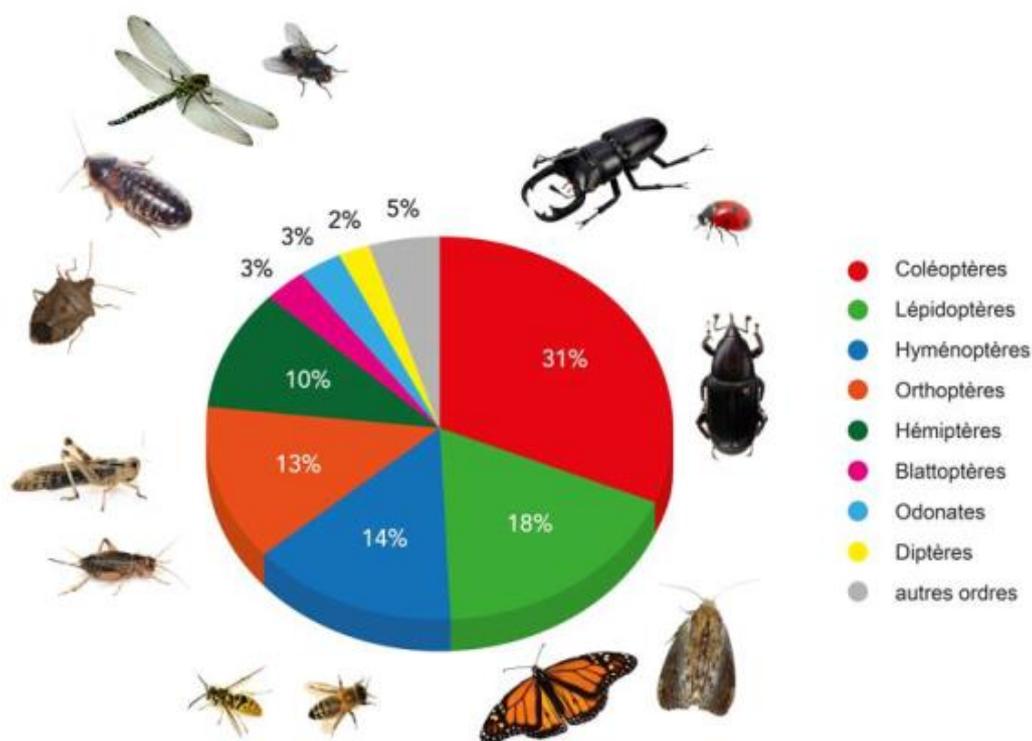


**Figure 5** : Rejet de gaz à effet de serre de différentes sources de protéines (Roekhaut, 2018)

## 1.3. Ordres des insectes les plus consommés

### 1.3.1. Proportion des ordres d'insectes en alimentation humaine

Les espèces d'insectes les plus couramment consommées dans le monde (Figure 6) appartiennent à l'ordre des Coléoptères (environ 31 %), suivi des Lépidoptères (18 %) qui sont principalement utilisés en Afrique subsaharienne (Ramos-Elorduy, 2009; van Huis *et al.*, 2013). Ensuite, viennent les Hyménoptères (14 %), Orthoptères (13 %) et enfin les Hémiptères (10 %) (Ramos-Elorduy, 1997 ; van Huis *et al.*, 2013). Les stades de consommation des insectes varient d'un ordre à l'autre. Par exemple, les adultes et les larves des Coléoptères sont consommés, les lépidoptères sont principalement consommés sous forme de chenilles mais rarement les pupes et les Hyménoptères sont principalement consommés à leurs stades larvaire et/ou nymphal. Alors que pour les ordres d'Orthoptères, d'Homoptères et d'Isoptères, les stades matures sont principalement consommés (Cerritos, 2009).



**Figure 6** : Pourcentage des ordres d'insectes en alimentation humaine à échelle mondiale (FAO, 2013)

### 1.3.2. Principaux ordres d'insectes consommés

#### 1.3.2.1. Coléoptères

Les Coléoptères représentent les espèces les plus consommés au monde (Monzenga Lokela, 2015). Selon Ramos-Elorduy (2009), près de 468 espèces d'insectes sont répertoriés comme comestibles sur les 300 000 de Coléoptères existant dans le monde. Plusieurs auteurs (Defoliart, 1995; Ramos-Elorduy *et al.*, 2009) suggèrent pour la valorisation comme aliment, les familles des Coléoptères de Cerambycidae (longicornes), Buprestidae (insectes xylophages aux couleurs métalliques), Dytiscidae (dytiques), Tenebrionidae (vers de farine) et Curculionidae (charançons). Parmi ces différentes familles les larves de Curculionidae du genre *Rhynchophorus* (Figure 7) sont largement consommées. Les larves du *Rhynchophorus phoenicis* (Figure 7a) sont collectées dans les palmiers en Afrique tropicale et équatoriale ; celles de *R. palmarum* en Amérique du sud et *R. ferrugineus* (Figure 7b) en Asie.



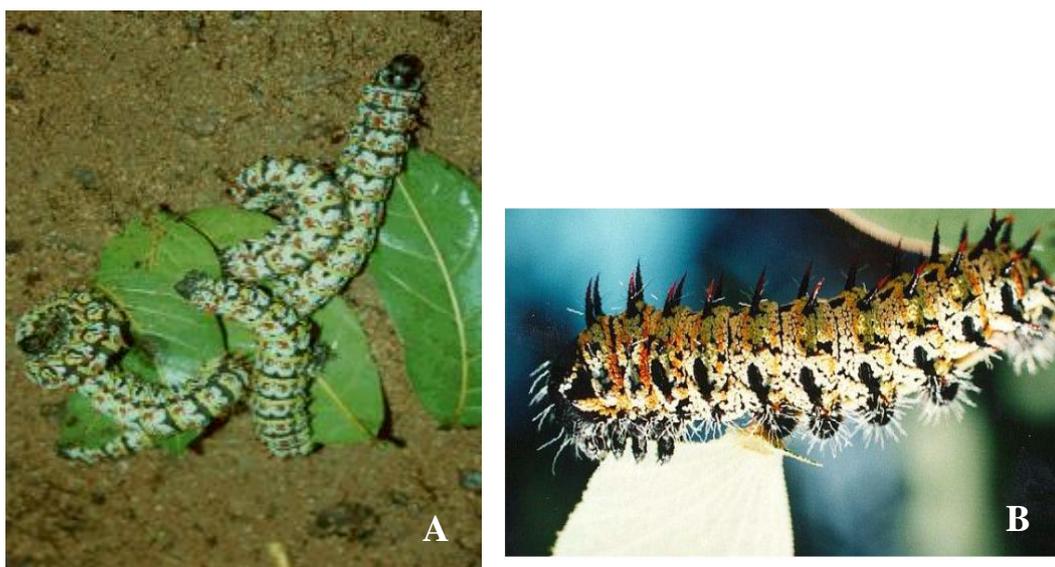
**Figure 7** : Coléoptères, *Rhynchophorus phoenicis* (A : Photo prise par Boko en 2020) et *Rhynchophorus ferrugineus* (B ; Anonyme, 2021)

#### 1.3.2.2. Lépidoptères

Les Lépidoptères constitués de papillons et de mites, occupent la seconde place des insectes les plus consommés, avec un effectif de 396 espèces déterminées scientifiquement, soit 18,3 % du total mondial (Shockley & Dossey, 2013). Les familles les plus couramment consommées sont les Saturniidae (109 espèces), les Hepialidae (47 espèces) et les Sphingidae (36 espèces). Elles sont généralement consommées sous forme de chenille (Jongema, 2012). L'une des chenilles les plus utilisée en Afrique est *Imbrasia oyemensis* (Saturniidae) (Figure 8). Les chenilles de Saturniidae comme *Cirina forda*, un ravageur du karité, ou celles de *Cirina butyrospermi* sont

## Généralités

fortement consommées au Nigéria, au Mali et au Burkina Faso (Defoliart, 2002). Au Mexique on trouve l'espèce *Aegiale hesperiaris* (Hesperiidae) et l'Asie est caractérisée par *Bombyx mori* et *Bombyxeri* (Bombycidae) (Lavalette, 2013). En raison de leur cycle de vie holométabolique et de l'absence d'appendices visibles au stade larvaire, ils sont également un excellent candidat pour la torréfaction, le broyage en farine et l'incorporation dans divers produits alimentaires. Ils sont très riches en graisses, ce qui en fait un complément alimentaire attrayant dans les zones à ressources limitées où les gens sont mal nourris et sous-alimentés (Shockley & Dossey, 2013).



**Figure 8 :** Lépidoptères, *Imbrasia oyemensis* (A) et *Gonimbrasia belina* (B) (Nowak, 2014)

### 1.3.2.3. Hyménoptères

Les Hyménoptères (Hymenoptera, qui signifie « ailes unies ») sont des ordres d'insectes de la sous-classe des Ptérygotes, dont 351 espèces comestibles sur 120 000 sont décrites à ce jour (Ramos-Elorduy, 2009). Les familles d'insectes les plus concernées de cet ordre sont : les Apidae (Figure 9), Vespidae, et les Formicidae (Monzenga Lokela, 2015). En dehors des larves qui sont généralement consommées, les pupes le sont également. En effet, les larves et les chrysalides de la forme reproductrice, également appelées œufs de ourmis, constituent une nourriture populaire en Asie (van Mele, 2008 ; van Huis *et al.*, 2013). Les fourmis sont des mets appréciés dans plusieurs régions du monde. En Afrique par exemple, le genre *Carebara* est consommé cru ou frit avec du sel, aussi après enlèvement du gastre (Caparros Megido *et al.*, 2015). D'autres espèces de fourmis du genre *Camponotus* et *Oecophylla* sont également consommées comme épices (van Huis, 2003). La consommation de certaines larves de guêpes a également été rapportée à Madagascar (van Huis, 2003). Shen *et al.* (2006) ont rapporté que

## Généralités

---

la fourmi tisserande noire (*Polymachis dives*) est largement répandue dans le Sud-Est subtropical de la Chine, au Bangladesh, en Inde, en Malaisie et au Sri Lanka. En Amérique du Sud, les fourmis les plus appréciées sont les espèces du genre *Atta* (Defoliart, 2002). Les abeilles des genres *Oxytrigona* et *Trigona* sont les Hyménoptères les plus consommés en Amérique du Sud (Defoliart, 2002). En Chine, trente-deux espèces d'Hyménoptères sont consommées. Dans la région du Yunnan, les guêpes sont les Hyménoptères les plus consommés en été. Les larves et les nymphes sont vendues avec le nid puis sont consommées après avoir été frites (Caparros Megido *et al.*, 2015).



**Figure 9** : Larves et nymphes des abeilles (Waugenberg, 2012)

### 1.3.2.4. Orthoptères

Les Orthoptères représentent le quatrième ordre d'insectes consommés dans le monde avec 12 familles et 278 espèces de grillons, de sauterelles et de katydidés décrits comme étant consommés par les humains (van Huis, 2013 ; Shockley & Dossey, 2014 ; Monzenga Lokela, 2015). Contrairement aux ordres précédemment cités les espèces des Orthoptères sont consommées à l'état adulte (Cerritos, 2009 ; Shockley & Dossey, 2013). Cependant, de possibles consommations de nymphe ont été enregistrées (Monzenga Lokela, 2015). En Afrique, le criquet pèlerin, le criquet migrateur, le criquet rouge et le criquet brun sont consommés. Les criquets peuvent apparaître dans les essaims (fléau acridien) ; ce qui facilite particulièrement leur récolte (Shockley & Dossey, 2013). Le criquet le plus connu en Amérique

## Généralités

---

latine est la chapuline (*Sphenarium sp.*) tandis qu'en Asie, on trouve, *Gryllus bimaculatus*, *Teleogryllus occipitalis* et *T. mitratus* qui sont élevés pour l'alimentation (Monzenga Lokela, 2015). Malgré la pratique extensive de l'élevage d'insectes, seules deux espèces de grillons comestibles (*Gryllus bimaculatus* et *Acheta domesticus*) sont cultivées économiquement. D'autres, comme *Tarbinskiellus portentosus*, ne peuvent pas être élevées en raison de leur long cycle de vie (van Huis *et al.*, 2013). Les grillons domestiques (Figure 10) sont probablement l'un des insectes les moins coûteux à cultiver puisque leurs méthodes d'élevage en masse ont été perfectionnées durant plusieurs décennies (Shockley & Dossey, 2013). Au Mexique, le criquet appelé chapuline a été documenté comme étant l'espèce la plus fréquemment ingérée dans les zones où elle est populaire telle que la région d'Oaxaca (Ramos-Elorduy *et al.*, 2009).



**Figure 10 :** *Acheta domesticus* (Weissman *et al.*, 2012)

### 1.3.2.5. Hémiptères

Les Hémiptères regroupent les sous ordres des Homoptères (cigales, pucerons et cochenilles) et des Hétéroptères (punaises) (Monzenga Lokela, 2015). Tout comme les Orthoptères, cet ordre est généralement consommé au stade de la maturité (Cerritos, 2009). Cependant, au Mexique, ce sont les œufs des Hémiptères aquatiques appelés « caviar mexicain » qui sont consommés (van Huis *et al.*, 2013). Certains Homoptères élaborent des produits couramment consommés par les humains, tels que le colorant carmin (un pigment rouge vif E120) dérivé de la punaise (Figure 11) de la cochenille du *Cactus (Dactylopius coccus)* souvent utilisé dans les produits alimentaires. En Afrique du Sud, par exemple, le psylle (*Arytaina mopane*) qui se nourrit de la sève du phloème du mopane (*Colophospermum mopane*) est consommé. Le plus grand nombre de psylles constructeurs se trouve sur les espèces de *Eucalyptus* en Australie

(Yen, 2005). En République du Soudan, le pentatomidé *Agonoscelis versicolor*, un ravageur du sorgho pluvial qui cause des dégâts considérables, est mangé rôti. L'huile dérivée de ces insectes est utilisée dans la préparation des aliments et pour le traitement de la tavelure chez les chameaux (van Huis, 2003).



**Figure 11** : Cochenille, *Dactylopius coccus* (König, 2016)

### 1.3.2.6. Isoptères

Les Isoptères sont des insectes à métamorphose incomplète, dont les nymphes et les adultes sont consommés (Zaremski *et al.*, 2009). Cet ordre occupe la sixième place avec plus de 61 espèces décrites comestibles (Durst *et al.*, 2010 ; Monzenga Lokela, 2015). Les individus reproducteurs sont les termites les plus consommés, puis viennent les reines et les soldats (Defoliart, 1995). Les plus populaires sont les formes sexuées et ailées de grandes espèces de Macrotermitinae qui émergent du sol par des trous aux premières pluies, parfois durant la nuit (Caparros Megido *et al.*, 2015) (Figure 12). L'auteur van Huis (2003) a observé qu'en Afrique, les habitants battaient le sol autour des termitières (simulant de fortes pluies) pour provoquer l'émergence des termites. Au Nigéria, les espèces les plus consommées sont *Macrotermes bellicosus* et *Macrotermes natalensis*, deux espèces souvent exportées vers l'Europe (Chen *et al.*, 2009). Les espèces du genre *Syntermes* sont les plus gros termites consommés en Amazonie. En Chine, seize espèces de termites sont consommées et principalement des espèces appartenant aux genres *Macrotermes* et *Odontotermes* (Chen *et al.*, 2009). De nouveau, en Amérique du Sud, diverses espèces de *Macrotermes* sont consommées ainsi que diverses espèces des genres *Syntermes* et *Termes* (Defoliart, 2002).



**Figure 12** : *Macrotermes subhyalinus* ; Termite ailé (A) et Reine termite (B) (Bertner 2017 ; Théo, 2016)

#### 1.4. Valeurs nutritionnelles des insectes comestibles

Les insectes comestibles sont décrits généralement comme étant de véritable source d'éléments nutritionnels tels que les lipides, les protéines, les vitamines et les minéraux (Banjo *et al.*, 2006 ; Jokthan *et al.*, 2007 ; Michaelsen *et al.*, 2009 ; Boko *et al.*, 2020). Ces éléments nutritionnels sont très variables (Tableau II) notamment en raison de la grande variété d'espèces des insectes comestibles, de leur stade de développement mais également des facteurs externes comme le climat, la nourriture, l'habitat, le mode de préparation (Bukkens, 1997 ; Verkerk *et al.*, 2007 ; Chen *et al.*, 2009). Les insectes sont souvent décrits comme étant pauvres en glucides (Chen *et al.*, 2009). Toutefois, la fourmi « pot-de-miel » fait figure d'exception avec une teneur en sucre de 77,7 % de poids sec (Ramos-Elorduy *et al.*, 1997).

## Généralités

**Tableau II** : Composition nutritionnelle (%) et contenu énergétique (kcal/100g) d'insectes comestibles basés sur la matière sèche (Rumpold & Schlüter, 2013a)

Insectes comestibles	Protéines (%)	Lipides (%)	ENA (%)	Fibres (%)	Cendre (%)	Contenu énergétique (kcal/100 g)
<b>Orthoptères</b>	<b>61,32</b>	<b>13,41</b>	<b>12,98</b>	<b>9,55</b>	<b>3,85</b>	<b>426,25</b>
<i>Acheta domesticus</i> (adults)	66,56	22,08	2,60	22,08	3,57	455,19
<i>Acheta domesticus</i> (adults)	70,75	18,55	-	16,35	5,03	-
<i>Acheta domesticus</i> (nymphs)	67,25	14,41	3,93	15,72	4,80	414,41
<i>Acheta domesticus</i> (nymphes)	70,56	17,74	-	14,92	4,84	-
<i>Schistocerca sp.</i> (Larves)	61,00	17,00	7,00	10,00	4,60	427,00
<i>Schistocerca sp.</i> (Larves)	61,00	17,00	7,00	10,00	4,60	-
<b>Lepidoptères</b>	<b>45,38</b>	<b>27,66</b>	<b>18,76</b>	<b>6,60</b>	<b>4,51</b>	<b>508,89</b>
<i>Bombyx mori</i> (larves)	53,76	8,09	25,43	6,36	6,36	389,60
<i>Bombyx mori</i> (larves)	69,84	9,52	-	5,95	11,11	-
<i>Bombyx mori</i> (Chrysalides)	48,70	30,10	-	-	8,60	-
<i>Cirina forda</i> Westwood (larves)	33,12	12,24	38,12	9,40	7,12	35900
<i>Galleria mellonella</i>	41,25	51,40	-	12,10	3,30	-
<i>Galleria mellonella</i>	33,98	60,00	3,37	19,52	1,45	650,13
<b>Coléoptères</b>	<b>40,69</b>	<b>33,40</b>	<b>13,20</b>	<b>10,74</b>	<b>5,07</b>	<b>490,30</b>
<i>Rhynchophorus phoenicis</i> (larves)	28,42	31,40	48,60	2,82	2,70	-
<i>Rhynchophorus phoenicis</i> (larves)	41,69	37,12	-	-	3,27	478,60
<i>Tenebrio molitor</i> (larves)	47,18	43,08	0,26	7,44	3,08	577,44
<i>Tenebrio molitor</i> (larves)	49,08	35,17	7,09	14,96	2,36	539,63
<i>Tenebrio molitor</i> (nymph)	53,10	36,70	1,90	5,10	3,20	550,00
<i>Zophobas morio</i> (larves)	43,13	40,80	-	13,00	3,50	-
<i>Zophobas morio</i> (larves)	46,79	42,04	2,61	9,26	2,38	575,53
<b>Hyménoptères</b>	<b>46,47</b>	<b>25,09</b>	<b>20,25</b>	<b>5,71</b>	<b>3,51</b>	<b>484,45</b>
<i>Apis mellifera</i> (larves)	42,00	19,00	35,00	1,00	3,00	475,00
<i>Apis mellifera</i> (larves)	41,68	18,82	34,82	1,33	3,35	-
<i>Atta mexicana</i> (adultes)	66,00	24,02	4,92	2,06	3,00	-
<i>Atta mexicana</i> (adultes)	46,00	39,00	0,00	11,00	4,00	555,00
<b>Isoptères</b>	<b>35,34</b>	<b>32,74</b>	<b>22,84</b>	<b>5,06</b>	<b>5,88</b>	<b>-</b>
<i>Macrotermes bellicosus</i> (adultes)	34,80	46,10	-	-	10,20	-
<i>Macrotermes bellicosus</i> (adultes)	20,40	28,20	2,70	43,30	2,90	-
<b>Diptères</b>	<b>49,48</b>	<b>22,75</b>	<b>6,01</b>	<b>13,56</b>	<b>10,31</b>	<b>409,78</b>
<i>Musca domestica</i> (larves)	63,99	24,3	1,25	-	5,16	552,4

❖ ENA = extractif non azoté

❖ En gras : Moyenne généralement obtenu pour les ordres

### 1.4.1. Protéines

Les protéines sont l'une des principales composantes des insectes comestibles (Rumpold & Schlüter, 2013b). D'après la FAO, les insectes peuvent contenir jusqu'à presque 50 grammes de protéines pour 100 g de matières d'insectes selon les espèces (FAO, 2013). En moyenne, les insectes contiennent 20 % de protéines. Xiaoming *et al.* (2010) ont obtenu des teneurs en protéines variant de 13 à 77 % de matière sèche pour 100 espèces appartenant à divers ordres. D'un autre côté, Rumpold & Schlüter (2013a) ont compilé des valeurs des protéines allant de

## Généralités

---

4,90 à 77,13 % de matière sèche pour 236 espèces d'insectes. Bukkens (2005) a comparé les teneurs protéiques de 17 chenilles de Saturniidae et a rapporté des teneurs variants entre 52 à 80 % de matière sèche. L'étude de Boko *et al.* (2020) a enregistré une teneur de 32,06 % à 51,54 % de matière sèche pour les espèces *Imbrasia oyemensis* et *Macrotermes subhyalinus*. Par ailleurs, la méthode de cuisson affecte la qualité des protéines des insectes. Selon Bukkens (1997), les chenilles mopanes conservent plus de protéines étant séchées plutôt que grillées (57 % contre 48 %). Aussi, les termites frits, fumés ou séchés affichent-ils des teneurs en protéines (de 32 à 38 %) plus élevées que lorsqu'ils sont crus (20 %) (Medhavi, 2017). Selon FAO (2014), la qualité de l'alimentation impacte la valeur nutritionnelle. En effet, les sauterelles « natures » au Nigeria ont une teneur protéique deux fois plus élevée que celles nourries au maïs. Par ailleurs, la valeur protéique des insectes est comparable à celles du bœuf et du lait. Les grillons domestiques, par exemple, contiennent environ 205 g de protéines par kilogramme de grillons, tandis que le bœuf haché en contient environ 256 g par kilogramme et le lait entier en poudre contient environ 265 g par kilogramme (Shockley & Dossey, 2013). En moyenne, la quantité de protéines d'insectes dans 100 g de matière reste semblable à la quantité de protéines dans de la viande de bovins (FAO, 2013). Les protéines d'insectes constituent ainsi un potentiel important dans la lutte contre la faim dans le monde.

Les insectes possèdent une grande quantité d'acides aminés pour couvrir les besoins et carences nutritionnelles (Tableau III). Cette composition en acides aminés varie de 46 à 96 % de protéines avec une digestibilité allant de 77 à 96 % (Ramos-Elorduy *et al.*, 1997). La variation d'acide aminés s'explique par la présence de chitine chez certaines espèces (Ozimek *et al.*, 1985, Rumpold & Schlüter, 2013b). L'élimination de la chitine augmente la qualité des protéines d'insectes à un niveau comparable à celui des produits d'animaux vertébrés. Foua Bi *et al.* (2015) ont déterminé le profil d'acides aminés de la chenille de l'espèce *Imbrasia oyemensis* consommée au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. De plus, les analyses de Xiaoming *et al.* (2010) ont montré que la teneur des insectes en acides aminés essentiels représente 46 à 96 % de l'ensemble. En général, les protéines d'insectes ont tendance à être pauvres en acides aminés tels que la méthionine et la cystéine, mais elles sont riches en lysine et en thréonine, dont l'une ou les deux peuvent être déficientes dans les régimes à base de blé, de riz, de manioc et de maïs qui prévalent dans les pays en développement (Defoliart, 1992).

## Généralités

**Tableau III** : Composition en acides aminés de quelques espèces de criquets comestibles en mg/g de protéine (Paul *et al.*, 2016).

Espèces (références)	H	I	L	K	M	C	M + C	F	Y	F + Y
<i>Boopendon flaviventris</i> (Guevara <i>et al.</i> , 1995)	240	47,0	88,0	55,0	18,0	-	-	41,0	74,0	115,0
<i>Boopendon flaviventris</i> (Ramos-Elorduy <i>et al.</i> , 2012)	24,0	47,0	88,0	55,0	18,0	20,0	38,0	41,0	74,0	115,0
<i>Chondacris rosea</i> (Chakravorty <i>et al.</i> , 2014)	28,3	50,8	84,7	53,4	5,1	-	-	38,3	61,1	99,4
<i>Chrotogonus trachypterus</i> (Das <i>et al.</i> , 2013)	46,9	12,6	50,7	30,4	12,4	4,3	16,7	49,6	115,2	164,8
<i>Melanoplus femurrubrum</i> (Ramos-Elorduy <i>et al.</i> , 2012)	23,1	26,4	58,2	61,7	29,8	11,6	41,4	22,5	56,4	78,9
<i>Patanga succinate</i> (Yhoung-aree, 2008)	13,5	32,7	59,5	35,7	-	-	20,9	-	-	60,0
<i>Spathosternum prasiniferum</i> (Das <i>et al.</i> , 2013)	53,9	12,4	51,3	59,5	17,8	6,9	24,7	41,6	96,5	138,1
<i>Sphenarium histrio</i> (Ramos-Elorduy <i>et al.</i> , 2012)	19,0	53,0	87,0	57,0	20,0	13,0	33,0	117,0	73,0	190,0
<i>Sphenarium purpurascens</i> (Ramos-Elorduy <i>et al.</i> , 2012)	22,0	42,0	89,0	57,0	25,0	18,0	43,0	103,0	63,0	166,0
<i>Sphenarium purpurascens</i> (Melo <i>et al.</i> , 2011)	-	42,0	85,0	57,0	42,0	-	-	77,0	-	-
<i>Taeniopoda auricornis</i> (Ramos-Elorduy <i>et al.</i> , 2012)	14,8	41,2	42,5	41,5	18,9	10,7	29,6	51,2	76,4	127,6
Amino acid requirements in humans (WHO, 2007)	15,0	30,0	59,0	45,0	16,0	6,0	22,0	-	-	30,0
Espèces (références)	T	W	V	R	S	P	A	G	E	
<i>Boopendon flaviventris</i> (Guevara <i>et al.</i> , 1995)	44,0	6,0	57,0	-	-	-	-	-	-	
<i>Boopendon flaviventris</i> (Ramos-Elorduy <i>et al.</i> , 2012)	44,0	6,0	57,0	43,0	43,0	68,0	59,0	75,0	154,0	
<i>Chondacris rosea</i> (Chakravorty <i>et al.</i> , 2014)	44,1	-	68,3	66,6	47,0	69,0	118,4	71,6	114,6	
<i>Chrotogonus trachypterus</i> (Das <i>et al.</i> , 2013)	155,0	24,2	61,4	83,0	50,4	169,6	28,5	79,4	30,6	
<i>Melanoplus femurrubrum</i> (Ramos-Elorduy <i>et al.</i> , 2012)	37,0	6,4	40,9	32,1	29,4	26,6	-	-	62,6	
<i>Patanga succinate</i> (Yhoung-aree, 2008)	22,3	17,3	35,6	36,0	23,9	48,7	92,7	48,8	76,4	
<i>Spathosternum prasiniferum</i> (Das <i>et al.</i> , 2013)	177,7	23,3	60,5	72,5	45,5	159,3	31,5	84,0	37,5	
<i>Sphenarium histrio</i> (Ramos-Elorduy <i>et al.</i> , 2012)	40,0	6,0	51,0	66,0	51,0	72,0	76,0	53,0	53,0	
<i>Sphenarium purpurascens</i> (Ramos-Elorduy <i>et al.</i> , 2012)	31,0	7,0	57,0	60,0	48,0	62,0	64,0	68,0	68,0	
<i>Sphenarium purpurascens</i> (Melo <i>et al.</i> , 2011)	39,0	6,0	-	-	-	-	-	-	107	
<i>Taeniopoda auricornis</i> (Ramos-Elorduy <i>et al.</i> , 2012)	20,6	5,8	49,0	35,9	32,9	-	59,5	30,6	68,3	
Besoins en acides aminés chez l'homme (WHO, 2007)	23,0	6,0	39,0	-	-	-	-	-	-	

H : Histidine ; I : Isoleucine ; L : Leucine ; K : Lysine ; M : Méthionine ; C : Cystéine ; F : Phénylalanine ; Y : Tyrosine ; T : Thréonine ; W : Tryptophane ; V : Valine ; R : Arginine ; S : Sérine ; P : proline ; A : Alanine ; G : Glycine ; E : Acide glutamique ; - : données non disponibles.

### 1.4.2. Lipides

La matière grasse représente l'une des plus grandes compositions nutritionnelles des insectes après les protéines (Bukkens, 1997 ; Bukkens, 2005 ; Gahukar, 2011 ; Rumpold & Schlüter, 2013). La larve de *Pharus triangularis* (Lépidoptère) possède la plus haute teneur en matière grasse avec 77,13 %, suivi du *Rhynchophorus phoenicis* (Coléoptère) avec 69,78 % (Rumpold & Schlüter, 2013b). Le taux lipidique est souvent plus important chez les larves et les nymphes que chez les adultes (Chen *et al.*, 2009). Ces matières grasses fournissent une contribution calorique élevée pour les aliments à haute densité énergétique. Ekpo *et al.* (2009) ont obtenu des teneurs en cholestérol de 4 insectes provenant du Nigéria à savoir *Macrotermes bellicosus* (Isoptère), *Gonimbrasia belina* (Lépidoptère), *Oryctes rhinoceros* (Coléoptère) et *Rhynchophorus phoenicis* (Coléoptère) respectivement de 15,1 ; 7,31 ; 13,95 ; 22,91 mg pour 100 g d'insectes séchés. Plusieurs espèces d'insectes se sont révélées être une source importante d'acides gras essentiels à savoir les acides linoléique et linoléinique (Bukkens, 1997 ; Bukkens, 2005). La composition en acides gras saturés se situe autour de 29,88 % chez les Hyménoptères et jusqu'à 41,97 % chez les Isoptères. Celle des acides gras poly-insaturés (AGPI) varie entre 15,95 % chez les Diptères et 39,76 % chez les Lépidoptères (AFSSA, 2009 ; Rumpold & Schlüter, 2013b ; Yi *et al.*, 2013). En termes de qualité, les proportions des acides gras insaturés seraient semblables à celles de la volaille et du poisson, avec des quantités d'acides gras polyinsaturés plus élevées (Defoliart, 1991). Certains insectes peuvent également apporter une contribution calorique plus élevée à l'alimentation que le soja, le maïs ou le bœuf (Gahukar, 2011). Les acides gras des insectes sont similaires à ceux de la volaille et du poisson au niveau du degré d'insaturation. Certains groupes ont des teneurs plus élevées en acides linoléique et/ou linoléinique (Defoliart, 1992). Par ailleurs, Tiencheu *et al.* (2013) ont étudié l'impact de différents traitements thermiques sur la conservation et la qualité des lipides présents dans une espèce de Coléoptères (*Rhynchophorus phoenicis*). Ils ont révélé que la cuisson, la réfrigération de plus de 3 jours et la congélation de plus d'un mois diminuent la stabilité des lipides à l'oxydation. En dessous des délais précités, ces techniques de conservation sont considérées comme les meilleures options pour la préservation des lipides avec le fumage des insectes au bois durant 6 heures (Tiencheu *et al.*, 2013).

### 1.4.3. Fibres

Les insectes comestibles sont composés également de fibres. Celles-ci sont représentées en majorité par la chitine composant principal de l'exosquelette d'un insecte. La quantité de chitine

varie de 11,6 à 137,2 mg par kg (poids sec) chez les espèces d'insectes élevées comme nourriture pour insectivores (Finke, 2007). Wang *et al.* (2004) ont rapporté 8,7 % de chitine chez le grillon *Grylles testaceus*. Il est considéré comme de qualité supérieure à la chitine commerciale préparée à partir de coquilles de crevettes et de crabes. La chitine a été associée à la défense contre les infections parasitaires et certaines conditions allergiques (Finke, 2007). Toutefois, elle est considérée comme digeste et insoluble (Paoletti *et al.*, 2007). D'autres auteurs soutiennent qu'elle est une fibre diététique (Bukkens, 2005 ; Muzzarelli, 2001). Bednářová *et al.* (2013) ont analysé la teneur en fibres de sept espèces différentes. Le criquet migrateur africain avait obtenu le contenu le plus élevé en fibres, tandis que le grillon en contenait moins.

### 1.4.4. Micronutriments

Les micronutriments (vitamines, minéraux) sont des éléments qui participent au bon fonctionnement de l'organisme. Ils doivent être apportés par l'alimentation en quantité suffisante et de manière régulière afin que le métabolisme conserve un bon équilibre (van Huis *et al.*, 2013)

#### 1.4.4.1. Minéraux

Les insectes comestibles sont de véritables sources de minéraux dont les concentrations varient en fonction des espèces et de leur alimentation. Ils sont généralement une bonne source de cuivre, de fer, de magnésium, manganèse, phosphore, sélénium et zinc, mais relativement pauvres en calcium, en potassium et en sodium (Bukkens, 2005 ; Rumpold & Schlüter, 2013a). Concernant le fer, les teneurs de la chenille mopane et du criquet (*Locusta migratoria*) varient de 31 à 77 mg et de 8 à 20 mg pour 100 g de poids sec, respectivement, pendant que celle de la viande bovine est de 6 mg pour 100 g de poids sec (van Huis *et al.*, 2013). Les termites contiennent 27-29 mg de fer/100 g de poids sec (Banjo *et al.*, 2006). Quant au phosphore, les sauterelles et la punaise géante d'eau (*Lethocerus indicus*) contiennent 226 à 238 mg pour 100 g de poids sec (Feng *et al.*, 2000). Les larves de charançons du palmier (genre *Rhynchophorus*) ont une quantité de zinc estimée à 26,5 mg pour 100 g alors que la viande de bœuf en contient 12,5 mg/100 g de poids sec (Bukkens, 2005). De plus, la biodisponibilité des minéraux des insectes est plus importante que celle des aliments végétaux (Christensen *et al.*, 2006). Pour l'OMS (2010), l'inclusion des insectes dans l'alimentation humaine pourrait contribuer à réduire les décès maternels liés aux carences en minéraux. Bauserman *et al.* (2015) ont étudié les avantages des céréales à base de chenilles en tant que supplément riche en micronutriments dans des aliments complémentaires chez les nourrissons âgés de 6 à 18 mois en République

Démocratique du Congo. Les nourrissons qui ont consommé des céréales à chenilles avaient une concentration d'Hb (hémoglobine) plus élevée et étaient moins anémiques, ce qui suggère que les céréales à chenilles pourraient avoir un effet bénéfique. Selon van Huis (2016), d'autres études sont nécessaires sur la biodisponibilité des minéraux chez les sujets humains à partir d'insectes comestibles. Il est bien de souligner que les méthodes de cuisson impactent la quantité de minéraux dans les aliments. Par exemple l'ébullition impacte la biodisponibilité du zinc chez certains insectes (Raheem *et al.*, 2019).

### 1.4.4.2. Vitamines

En ce qui concerne les vitamines, les insectes sont généralement pauvres en rétinol mais riches en riboflavine, acide pantothénique, biotine et dans certains cas en acide folique (Rumpold & Schlüter, 2013a ; Finke & Oonincx, 2014). La vitamine B12 est uniquement obtenue à partir d'aliments d'origine animale. Elle a ainsi été retrouvée dans diverses espèces d'insectes comme les larves de vers de farine (0,47 mg pour 100 g) et les grillons domestiques (5,4 mg pour 100 g chez les adultes et 8,7 mg pour 100 g chez les nymphes). Toutefois, elle reste très peu abondante (Finke, 2002 ; Bukkens, 2005). Des quantités exceptionnellement élevées de vitamine E ont été trouvées dans les larves de charançon du palmier, qui contenaient 35 mg et 9 mg pour 100 g de poids sec d' $\alpha$ -tocophérol et de  $\beta + \gamma$  tocophérol, respectivement (Finke, 2002 ; Bukkens, 2005). Kinyuru *et al.* (2009) ont rapporté que l' $\alpha$ -tocophérol chez la sauterelle à longues cornes (*Ruspolia differens*) serait dans la gamme de 161 mg à 170 mg/100 g de poids sec. Le rétinol et le  $\beta$ -carotène ont été trouvés dans certaines espèces de chenilles allant de 32 à 48 mg pour 100 g et 6,8 à 8,2 mg pour 100 g de poids sec, respectivement. Le rétinol et le bêta-carotène sont présents dans certaines chenilles du genre *Imbrasia*, avec des teneurs respectives de 32-48  $\mu$ g/100 g et 6,8-8,2  $\mu$ g/100 g. Chez les vers de farine et les criquets domestiques, le taux de rétinol est inférieur à 20  $\mu$ g/100 g et le taux de  $\beta$ -carotène est moins de 100  $\mu$ g/100 g. Les insectes ne contiennent cependant pas dans la majorité des cas de vitamine K, provitamine D, vitamine A, niacine et de thiamine (Boullaud, 2018 ; Albouy & Chardigny, 2016).

## 1.5. Consommation et valorisation des insectes comestibles

### 1.5.1. Consommation des insectes et sécurité alimentaire

Malgré la valeur nutritionnelle évidente des insectes comestibles et les nombreux avantages liés à leur consommation, l'acceptation par les consommateurs reste toujours l'un des obstacles à leur utilisation comme source alimentaire protéinée. Les insectes sont considérés avec dégoût

par la majorité de la population en particulier dans les zones urbaines (Mlcek *et al.*, 2014 ; Verberke, 2015). En effet, certains consommateurs associent généralement la consommation d'insectes comestibles aux pays pauvres (van Huis *et al.*, 2013 ; Verberke, 2015) bien que dans certains pays comme l'Autriche, la Belgique, les Pays-Bas et la France, l'élevage et la consommation d'insectes comestibles soient en quelque sorte tolérées (van Huis, 2015). Selon Verbeke (2015) et Gere *et al.* (2017), certains des facteurs influençant la consommation d'insectes incluent la commodité, l'intérêt pour l'environnement et la néophobie alimentaire. Dobermann *et al.* (2017) ont observé que, moins certaines personnes sont susceptibles de consommer des insectes, plus elles sont néophobes. Cette observation est corroborée par les résultats de Sogari *et al.* (2018) en Italie qui ont rapporté une corrélation négative entre la néophobie et la volonté des consommateurs de pratiquer l'entomophagie. Fait intéressant, les auteurs ont également signalé que les femmes étaient moins susceptibles de consommer des insectes que leurs homologues masculins (Sogari *et al.*, 2018). Ajoutons à cela les problèmes de sécurité alimentaire liés aux insectes comestibles tels que les microorganismes, et les réactions allergiques (Rumpold & Schlüter, 2013a). Afin d'encourager la consommation et l'élevage d'insectes, des stratégies doivent être élaborées en vue de créer de la valeur ajoutée dans des produits plus attrayants et avec lesquels les populations peuvent facilement s'identifier. Le changement de forme et/ou le développement de produits où les insectes comestibles font partie d'un ingrédient peut ouvrir une voie par laquelle les perceptions seront modifiées et les insectes seront consommés « indirectement ».

### 1.5.2. Valorisation des insectes comestibles

Les insectes comestibles ont toujours fait partie du régime alimentaire de l'homme. La croissance démographique, l'urbanisation et la montée des classes moyennes ont fait augmenter la demande mondiale en aliments, notamment en protéines d'origine animale (Caparros, 2017). Ainsi, les enjeux de satisfaction des besoins alimentaires mondiaux croissants, notamment en protéines, les placent aujourd'hui au cœur des réflexions sur des alternatives agricoles plus durables (Person *et al.*, 2015). Certains insectes considérés comme des ravageurs de culture sont néanmoins valorisés à travers le monde (Defoliart, 1995). Par exemple, la sériciculture exploite le ver à soie, chenille d'un papillon, le bombyx du mûrier (*Bombyx mori*). Le ver à soie a fait l'objet d'une intense domestication en raison de son potentiel technologique et alimentaire. Plusieurs pays dont la Chine se sont investis dans sa production pour l'obtention de la soie et la valorisation des chrysalides en alimentation humaine et animale (Defoliart,

1995). Le ministère thaïlandais de la santé publique a autorisé, depuis 1987, l'incorporation des chrysalides de *Bombyx mori* dans la formulation d'aliments prescrits aux enfants souffrant de malnutrition (Defoliart, 1995). En Inde, au Japon, au Sri-Lanka et en Chine, les chrysalides de *B. mori* ainsi que les résidus de leur production sont utilisés pour l'alimentation de poissons et de la volaille (Kiuchi & Tamaki, 1990). Un autre insecte dont la domestication fut une réussite est l'abeille domestique, *Apis mellifera*. Dans les pays industrialisés, l'apiculture est pratiquée pour la production de miel mais aussi de cire d'abeille, de pollen, de propolis, de gelée royale et du venin d'abeille (utilisé pour traiter les allergies graves liées aux piqûres) (Schmidt & Buchmann, 1992). Dans les pays tropicaux, les populations consomment en plus du miel, le couvain (larves et pupes) d'abeille. En industries agroalimentaires et en cosmétique, on utilise le colorant E120 provenant de la cochenille *Dactylopius coccus*. Celle-ci produit de l'acide carminique qui la protège des insectes prédateurs. L'acide carminique est extrait du corps et des œufs de cet insecte pour en faire une teinture colorée rouge, le cramoisi, autorisé comme colorant par la réglementation européenne et utilisé dans diverses formulations alimentaires comme le yaourt, les bonbons ou les sodas (Cardon, 2003 ; Verkerk *et al.*, 2007). Les chenilles de Lépidoptères sont souvent utilisées car elles sont dépourvues d'ailes à ce stade et ne sautent pas, mais convertissent efficacement la biomasse végétale en biomasse animale (Schabel, 2010). Les Orthoptères (criquets, sauterelles et grillons) sont également employés en raison de leur abondance et disponibilité géographique (Defoliart, 1995).

### 1.5.3. Usage médical des insectes comestibles

La recherche scientifique a confirmé que certains insectes et leurs extraits fonctionnent dans la régulation immunitaire et contiennent des composés anti-fatigue et antioxydants (Liu & Wei, 2002). Également, les peuples qui consomment des insectes ont tendance à les associer à divers avantages pour la santé au-delà de la nutrition (Raheem *et al.*, 2019). Dans la médecine traditionnelle chinoise, le *Antheraea pernyi* mâle est considéré comme aphrodisiaque (Chen *et al.*, 2009). Certaines preuves existent pour suggérer que les termites (*Macrotermes annandalei*) peuvent avoir des effets immunostimulants (Chen *et al.*, 2009). Un autre insecte historiquement considéré comme ayant des effets bénéfiques sur la santé est le ver à soie (*Bombyx mori* L.) (Kim *et al.*, 2008). Des analyses récentes ont identifié un agent hypoglycémiant, entraînant le développement de la poudre de ver à soie en tant que médicament contre le diabète en Corée, et un tel bénéfice a également été signalé par le ministère chinois de la Santé et le State Food and Drug Administration (Belluco *et al.*, 2013 ; Nongonierma & Fitz, 2017). Les revendications

traditionnelles de propriétés médicinales ont donné lieu à de multiples études visant à déterminer empiriquement les propriétés des insectes comestibles. Les différentes analyses d'hydrolysats enzymatiques d'insectes ont identifié des propriétés antioxydants et des antidiabétiques, ainsi que la capacité d'inhiber l'enzyme de conversion de l'angiotensine (ECA) (Nongonierma & FitzGerald, 2017 ; De Castro *et al.*, 2018). Les hydrolysats de larves de *Spodoptera littoralis* (ver du cotonnier) présentent du 2,2'azino-bis (acide 3 éthylbenzothiazoline-6-sulfonique) et une activité de piégeage du 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl qui indique une puissante propriété antioxydante (Vercruyssen *et al.*, 2009). En résumé, la découverte de substances physiologiquement importantes contenues dans les insectes comestibles fait de leur usage médicinal une application potentiellement importante (Han *et al.*, 2017). Cependant, étant donné le manque actuel de données scientifiques, davantage de recherches sont justifiées afin de confirmer les avantages de la consommation d'insectes en tant qu'aliment santé ou médicament.

### 1.6. Risques liés à la consommation des insectes

Selon la FAO, la consommation d'insectes ou entomophagie constitue l'une des réponses possibles pour relever le défi de nourrir la planète en 2050. Mais, tout comme les vertébrés, les insectes peuvent contenir des agents biologiques et des substances pouvant représenter un danger pour la santé humaine lors de la consommation. Parfois, les conditions d'élevage, de transformation et de conservation ultérieure sont en grande partie déterminantes pour la sécurité alimentaire. Il faut donc, prêter une attention particulière aux risques :

- microbiologiques : des parasites, des virus, des bactéries et leurs toxines ou encore des champignons ;
- allergéniques : communs aux acariens, crustacés, mollusques ;
- physiques : parties dures de l'insecte comme le dard, le rostre et bien d'autres ;
- chimiques : venins, facteurs antinutritionnels, médicaments vétérinaires utilisés dans les élevages d'insectes, pesticides ou polluants organiques présents dans l'environnement ou l'alimentation des insectes (NVWA, 2012 ; FAO, 2013 ; ANSES, 2015).

#### 1.6.1. Risques chimiques

##### 1.6.1.1. Origine du danger

Les risques chimiques proviennent essentiellement de substances synthétisées par l'insecte lui-même ou de substances accumulées par l'insecte via l'environnement ou l'alimentation. Toutes les espèces d'insectes ne sont donc pas comestibles en l'état, ou seulement à l'état de larves et

pas à l'état adulte ou inversement. Les insectes peuvent demeurer non-comestibles même en conditions d'élevage et après transformation par cuisson et séchage. Certaines catégories d'insectes synthétisent des substances toxiques de défense ou répulsives, d'origine endocrinienne ou non glandulaire (Eisner, 1970 ; Zagrobelny *et al.*, 2004). Des larves ont par ailleurs développé un système de défense autonome avec un processus de mélanisation, par lequel elles noircissent et deviennent impropres à la consommation du fait de l'apparition de produits toxiques. C'est le cas des larves de *Galleria mellonella* infectées par une moisissure (Slepneva *et al.*, 2003). L'entomophagie peut donc montrer des limites de sécurité puisque certaines espèces d'insectes sont susceptibles de contenir des agents pharmacologiques puissants. Ces agents peuvent être particulièrement toxiques comme chez les Coléoptères bombardiers (Carabidae). Ils sont capables d'éjecter de leur abdomen un spray à base de quinones pouvant atteindre une température de 100 °C (Eisner *et al.*, 1977 ; Blum, 1994). Il existe deux grands types d'insectes toxiques.

### **1.6.1.2. Types d'insectes toxiques**

#### **1.6.1.2.1. Insectes dits phanérozoïques**

Ils présentent des dispositifs venimeux externes comme les dards des Hyménoptères (incluant les abeilles, les guêpes et les fourmis), les pièces buccales perceuses des hémiptères (comprenant les punaises, les cochenilles, etc.) ou les soies urticantes de certains Lépidoptères. L'envenimation par les phanérottoxiques se produit par l'inoculation de venins (Hyménoptères) ou par contact avec les produits urticants (la chenille processionnaire du pin) qui provoquent des réactions inflammatoires (Pouvreau, 1999). Cependant, l'envenimation peut aussi concerner la voie alimentaire : c'est le cas des larves de *Trogoderma spp.*, de l'ordre des Coléoptères, capables de provoquer des traumatismes intestinaux par une envenimation attribuée aux soies présentes sur l'insecte.

#### **1.6.1.2.2. Insectes dits cryptotoxiques**

Ils ont une particularité de stocker et/ou de synthétiser des éléments chimiques toxiques, et dont la toxicité n'apparaît que si l'insecte est consommé. Ils contiennent des substances toxiques qu'ils ont, soit eux-mêmes synthétisées, soit accumulées à partir des végétaux qu'ils consomment.

En effet, les insectes phytophages peuvent accumuler des toxines végétales et acquérir ainsi les mêmes propriétés toxiques que les plantes hôtes (Berenbaum, 1993). Ils peuvent éventuellement développer en retour des stratégies adaptatives comme la détoxification,

l'excrétion ou la bioaccumulation afin d'éviter toute intoxication. Ces phytotoxines sont des métabolites secondaires synthétisées par les plantes vasculaires comme mécanismes de défense active. Elles appartiennent à des classes de composés très variées : alcaloïdes, cardénolides, glucosinolates, cucurbitacines ou encore composés phénoliques, ou cyanogéniques (Bennett & Wallsgrove, 1994 ; Nishida, 2002).

Les insectes oligophages (se nourrissant d'un nombre limité d'espèces de végétaux) accumulent davantage de phytotoxines que les polyphages. Des variations de l'accumulation sont aussi observées avec le stade de développement de l'insecte et son état physiologique (Berenbaum, 1993 ; Bennett & Wallsgrove 1994).

### **1.6.2. Risques physiques**

Les insectes comestibles sont généralement consommés en entier, ou après préparation pour en enlever certaines parties dures dont la consommation n'est pas souhaitée (élytres, rostres, ailes, etc.). Les insectes comestibles ne sont pas particulièrement vecteurs de dangers physiques au sens classique (contaminants denses ou corps étrangers). Lors de leur transformation, ils sont sujets à des recontaminations par des corps étrangers venant des procédés, comme tous autres aliments transformés (Caparros Megido *et al.*, 2015). Les insectes déshydratés consommés entier comportent des parties dures susceptibles de présenter un danger particulier. De même, les insectes présentant un dard ou un rostre pointu peuvent présenter un danger spécifique. Ces dangers liés à la présence de corps étrangers doivent être pris en compte. Les consommateurs devraient être informés de la présence de ces parties dures comme étant naturellement présentes dans le produit. Par ailleurs, les produits d'insectes présentés broyés et sous forme de farines ne sont pas vecteurs de corps étrangers spécifiques, autres que ceux apportés par les procédés (ANSES, 2015).

### **1.6.3. Risques microbiologiques**

Il existe deux types de microbiote à considérer comme des dangers potentiels chez les insectes pour l'alimentation humaine et animale. Ceux qui sont intrinsèquement associés aux insectes dans le cadre de leur mode de vie et ceux qui sont introduits pendant l'élevage et la transformation. Le microbiote (dont bactéries, virus, champignons) présent dans l'intestin des insectes est essentiellement dû au métabolisme, au comportement et à la survie des insectes. Ce microbiote est normalement le reflet du mode de vie des insectes à l'état sauvage ainsi que dans des conditions d'élevage.

### 1.6.3.1. Bactéries

Des études spécifiques sur la sécurité microbiologique des insectes spécifiquement élevés ou récoltés pour l'alimentation ou la production d'aliments pour animaux sont rares dans la littérature scientifique. La flore microbienne des insectes est composée de bactéries de différents genres : *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Bacillus*, *Proteus*, *Pseudomonas*, *Escherichia*, *Micrococcus*, *Lactobacillus* et *Acinetobacter* (Amadi *et al.*, 2005 ; Giaccone, 2005 ; Agabou & Alloui, 2010 ; Braide *et al.*, 2011). Les risques bactériens (et leurs toxines) pour l'homme et les animaux liés aux insectes proviendront donc principalement d'un microbiote résidentiel (naturel ou accidentel) lié aux conditions d'élevage (substrats et aliments), de manipulation, de transformation et conservation (ANSES, 2015). De nombreux agents pathogènes sont utilisés dans le contrôle biologique des insectes nuisibles et sont généralement considérés comme sûrs (GRAS) en Amérique du Nord ou sont QPS (qualifiés présomption de sécurité) en Europe, lorsqu'ils sont intentionnellement ajoutés aux denrées alimentaires ou aux aliments pour animaux à cette fin (Leuschner *et al.*, 2010 ; Sundh *et al.*, 2012). Ceux qui ne le sont pas sont testés spécifiquement et individuellement pour la présence de toxines ou d'autres composés métaboliques et leur innocuité pour les humains et les animaux avant utilisation. La sécurité d'utilisation des agents pathogènes invertébrés fait partie intégrante de l'enregistrement de ces agents comme agents de lutte biologique avant la commercialisation (Eilenberg *et al.*, 2015).

### 1.6.3.2. Virus

Aucune publication ne fait état de virus transmis à l'homme et ne présente aucun danger même si l'on peut relever des intoxications pulmonaires chez certains animaux à sang chaud comme le rat de laboratoire (Zhou & Han, 2006). Cependant, les insectes contiennent une pléthore de virus et nombre d'entre eux sont pathogènes pour les insectes, c'est-à-dire qu'ils causent des maladies et peuvent entraîner la mortalité et l'effondrement de la colonie (King *et al.*, 2012 ; Eilenberg *et al.*, 2015). De plus, les virus chez les insectes sont spécifiques au niveau de la famille ou de l'espèce et ne sont donc pathogènes que pour invertébrés et non pour les humains ou d'autres vertébrés tels que les animaux de ferme et les oiseaux. Mais, ces virus spécifiques aux insectes sont une préoccupation majeure pour les producteurs, en élevant les insectes pour l'alimentation. En effet, ils peuvent entraîner des pertes de production (Eilenberg *et al.*, 2015). Tous ces virus spécifiques aux insectes utilisés pour la lutte biologique sont considérés comme sûrs pour les vertébrés, y compris les humains, et comprennent ceux qui sont intentionnellement

ajoutés aux cultures vivrières ou fourragères (Gröner, 1986 ; Laird *et al.*, 1990) ; Leuschner *et al.*, 2010 ; Sundh *et al.*, 2012). Il est à noter que certains de ces virus d'insectes sont taxonomiquement apparentés chez les vertébrés (King *et al.*, 2012), tels que les poxvirus, les parvovirus (B19), les picornavirus (par exemple la polio, la fièvre aphteuse), les orthomyxovirus (grippe), les rhabdovirus (rage) et les réovirus (diarrhée) chez les mammifères et les iridovirus chez les poissons et les amphibiens. Cependant, ces taxonomies liées aux virus restent limitées aux vertébrés. Ces virus ne se répliquent pas chez les insectes et ne sont pas activement transmis aux vertébrés (King *et al.*, 2012).

### 1.6.3.3. Parasites

La présence de parasites chez les insectes est bien documentée dans une revue sur les douves intestinales d'origine alimentaire en Asie du Sud-Est où l'isolement de six espèces différentes des insectes a été discuté. Des preuves des autopsies humaines et l'analyse des insectes ont suggéré la transmission possible par les aliments de parasites (trématodes) appartenant à la famille des Lecithodendridae et des Plagiorchiidae (Chai *et al.*, 2009). Un cas important dans lequel les insectes montrent leur potentiel en tant que vecteur biologique est la trypanosomiase. L'OMS (2010) a estimé qu'environ 10 millions de personnes sont infectées par *Trypanosoma cruzi* l'agent pathogène de la maladie de Chagas en Amérique. Historiquement, la transmission se produit principalement dans les zones rurales d'Amérique latine, où les conditions des logements insalubres favorisent le contact avec des vecteurs infectés. Des cas ont été rapportés dans la littérature liant l'infection à l'ingestion accidentelle des insectes ou la consommation d'aliments contaminés (Pereira *et al.*, 2010). Le trématode *Dicrocoelium dendriticum* (Dicrocoeliidae) est un autre agent zoonotique parasitaire infectant potentiellement les humains par la consommation d'insectes. L'infection est due à l'ingestion de fourmis contenant des métacercaires alors que les pseudo-infections (présence d'œufs de *D. dendriticum* dans les selles et absence de vers adultes) sont dues à la consommation de foie d'animal infecté (Jeandron *et al.*, 2011).

### 1.6.3.4. Champignons

Les maladies associées aux champignons entomopathogènes sont observées chez les personnes immunodéprimées (Strasser *et al.*, 2000 ; Jani *et al.*, 2001 ; Goettel *et al.*, 2001 ; Roberts & St. Leger, 2004). Mais de façon générale les champignons spécifiques aux insectes pathogènes ont un très bon dossier de sécurité tant pour les animaux vertébrés que pour l'environnement (Zimmerman 2007a et b ; Mudgal *et al.*, 2013). Les insectes peuvent également être porteurs

de moisissures et de levures avec des dangers potentiels pour les animaux et les humains. Les levures et les moisissures ont été trouvées en quantités considérables dans les insectes frais, lyophilisés et congelés (*Tenebrio molitor* et *Locusta migratoria*) (AFSCA, 2014). L'importance d'un traitement, d'une manipulation, d'un séchage et d'un stockage appropriés a été encore soulignée par une étude du Botswana, après que des niveaux inacceptables d'aflatoxines aient été documentés dans certains lots commerciaux de vers mopane, *Gonimbrasia belina* (Saturniidae) (Schabel, 2010). A partir de la même espèce, séchée en conditions de laboratoire, quelques champignons ont été isolés (*Aspergillus spp.*, *Penicillium spp.*), parmi lesquelles figurent également des espèces mycotoxinogènes (Simpanya *et al.*, 2000). En général, tous les risques liés aux champignons associés aux insectes produits pour l'alimentation humaine et animale ou introduits pendant l'élevage, pourraient être atténués par des mesures d'hygiène dans l'ensemble de la chaîne de fabrication.

### 1.6.4. Risques allergéniques

#### 1.6.4.1. Principaux allergènes des insectes

Les allergènes des insectes sont mal connus, même si certains insectes sont responsables de réactions allergiques sévères. C'est le cas des allergènes des cafards ou blattes et des allergènes des venins d'Hyménoptères (abeilles, guêpes, frelons). Les allergènes des insectes comestibles n'ont fait l'objet que d'un nombre très limité de travaux (Barre *et al.*, 2014). Quant aux antigènes contenus dans les venins d'insectes phanérotoxiques, le risque associé pour les animaux ou les hommes pourrait être écarté en choisissant des espèces ou des stades de développement dépourvus de dards (Belluco *et al.*, 2013).

La plupart des allergènes d'insectes correspondent à des protéines ubiquitaires ou pan-allergènes, susceptibles de donner lieu à des réactions croisées, comme, les protéines musculaires (actine, myosine, tropomyosine, troponine C), les protéines cellulaires (tubulines), les protéines circulantes (hémocyanines, défensines) et de nombreuses protéines à propriétés enzymatiques (amylase, arginine-kinase, glutathion S-transférase, triosephosphate isomérase, trypsine). La chitine est le constituant fondamental de l'exosquelette des arthropodes (cuticule des acariens et des insectes, carapace des crustacés), de différents organes des mollusques (radula des gastéropodes, bec des pieuvres), des parois cellulaires des moisissures et du tégument des helminthes. Elle est également considérée comme un allergène, mais ses effets sur le système immunitaire sont complexes. Chez les insectes, elle agit sur l'immunité innée mais ses effets sont différents en fonction de la taille des chaînes de N-acétylglucosamine

(chitosanes) qui la constituent. Elle peut avoir des effets immuno-stimulants ou au contraire, diminuer la réponse allergique (Lee *et al.*, 2008 ; Muzzarelli, 2010). L'EFSA indique l'absence de risque pour l'homme, dans les conditions d'utilisation préconisées (entre 2 et 5 g/jour), d'un complément alimentaire constitué de 90 % de chitine-glucane (EFSA, 2010). La richesse en chitine des insectes comestibles peut toutefois poser un problème de digestibilité car les chitinases identifiées dans les sécrétions gastriques ne paraissent pas suffisamment actives pour hydrolyser ce polymère. Les particularités de la fucosylation des N-glycanes chez les insectes, créent de nouvelles spécificités immuno-chimiques ou glycotopes, pouvant être reconnues au même titre que les épitopes protéiques, par les sujets allergiques. C'est la raison pour laquelle, l'utilisation des protéines recombinantes thérapeutiques exprimées par des baculovirus, peut être déconseillée.

### 1.6.4.2. Réactions et/ou allergies croisées

La diversité des anticorps a mis davantage l'accent sur la prédiction et la compréhension de la façon dont une réactivité croisée se produit. La prédiction de l'allergénicité d'une protéine est basée sur les caractéristiques partagées par d'autres allergènes tels que la résistance à la chaleur, à l'acide ou à la protéolyse, mais aussi la réactivité croisée incorporant également la séquence et la structure (Kay *et al.*, 2009). Les relations phylogénétiques plus ou moins étroites existant entre les différents phylums d'arthropodes, expliquent parfaitement ces homologies de séquences et de structure. En effet, ces homologies sont responsables de l'existence d'épitopes B communs chez certains allergènes. Elles sont à l'origine d'une réactivité/allergie croisée éventuelle entre les insectes comestibles et d'autres arthropodes, acariens, crustacés et insectes non comestibles (blattes). Des exemples de pan-allergènes sont impliqués dans des réactions croisées entre les insectes et les crustacés. La consommation d'insectes par des individus allergiques aux acariens ou aux crevettes, pourrait très bien déclencher des réactions allergiques imputables à cette réactivité croisée. Elle repose sur des pan-allergènes, la tropomyosine mais aussi sur d'autres allergènes comme l'arginine kinase, la triose-phosphate isomérase et les tubulines. Les deux premiers ont été identifiés comme les principales protéines responsables de la réaction croisée. La tropomyosine appartient à une famille de protéines fortement conservées. Elle possède de multiples isoformes (dues à des variations de quelques acides aminés) et retrouvées aussi bien dans des cellules musculaires que non-musculaires de toutes les espèces du règne animal (Leung *et al.*, 1996 ; Reese *et al.*, 1999 ; Belluco *et al.*, 2013). La tropomyosine est un allergène thermostable, de 32 à 39 kDa, constitué de deux hélices alpha enroulées l'une autour de l'autre, donnant à la protéine une structure hélicoïdale (Metz-Favre *et al.*, 2009).

## Généralités

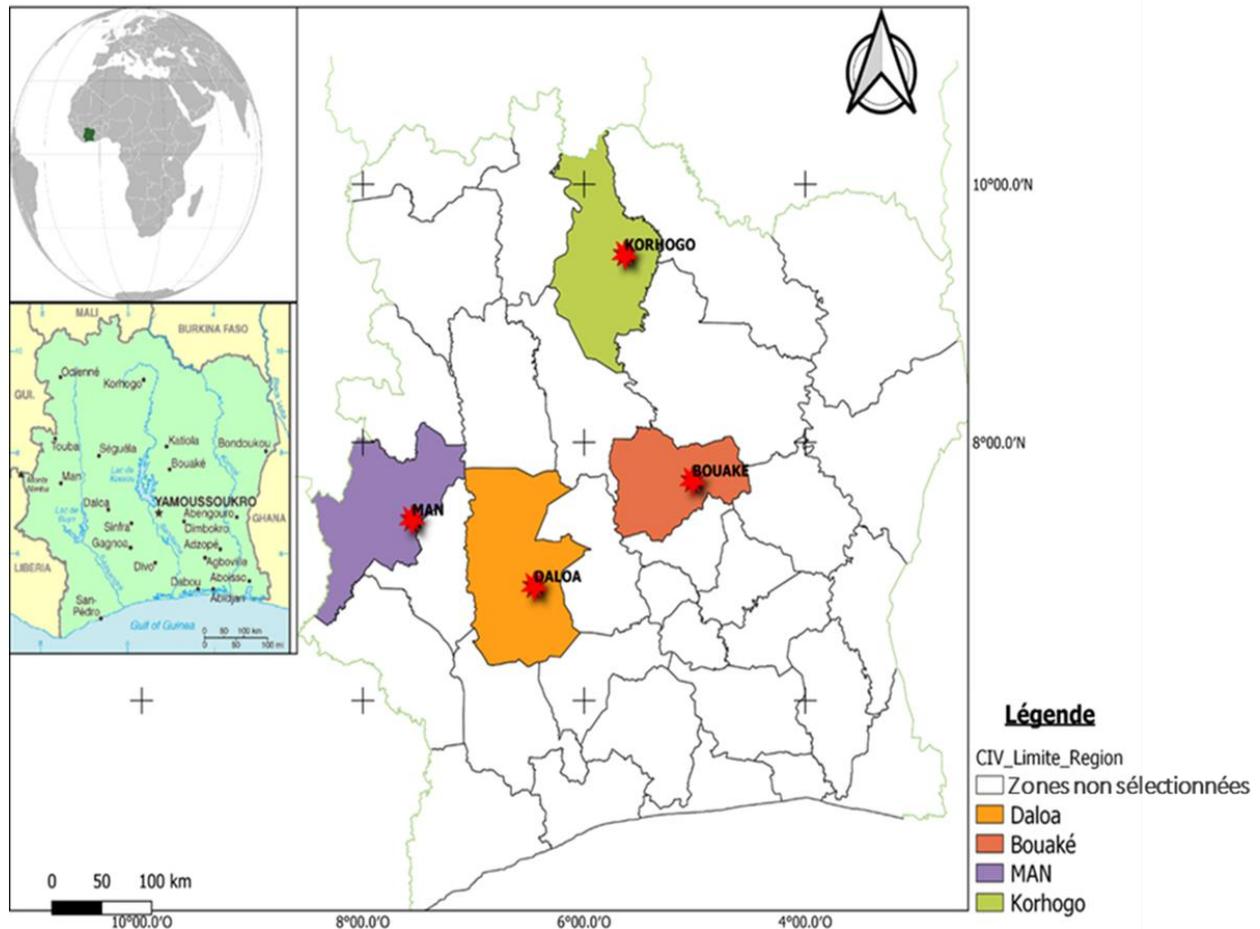
---

L'arginine kinase, quant à elle, est une enzyme souvent présente chez les invertébrés. Aussi, des réactions allergiques croisées engendrées par celle-ci ont-elles déjà été identifiées entre les crustacés et acariens. Les espèces d'insectes *Plodia interpunctella* (lépidoptères – Pyralidae), *Bombyx mori*, *Blatella germanica* et *Periplaneta americana* (blattoptères – Blattidae) possèdent l'arginine kinase (Liu *et al.*, 2009 ; Verhoeckx *et al.*, 2013). La possibilité de réactions croisées entre les insectes comestibles et les autres groupes d'arthropodes (acariens, crustacés), les mollusques et les nématodes, mériterait d'être étudiée à plus grande échelle. L'existence d'une réactivité croisée n'implique pas automatiquement l'existence d'allergies croisées entre les insectes comestibles et les autres arthropodes, les mollusques et les helminthes. Beaucoup de réactions croisées n'ont aucune signification clinique mais elles doivent inciter à la prudence en matière d'entomophagie. Il est à prévoir que la consommation d'insectes par des sujets allergiques à d'autres arthropodes, des crustacés en particulier, puisse déclencher des réactions croisées liées à des pan-allergènes. Dans cette éventualité, il est prudent de recommander à ces sujets de ne pas consommer d'insectes comestibles ou des produits en renfermant. En France, sous réserve qu'il existe un risque allergique réel lié à des réactions et/ou allergies croisées, ce risque ne serait pas a priori négligeable, comme le suggère une simple estimation. En effet :

- ✓ L'allergie alimentaire touche 3,5 % de la population française, soit un Français sur 30 (2 300 000/65 500 000), tous âges confondus ;
- ✓ L'allergie aux crustacés et aux mollusques touche 2 % des enfants et 3 % des adultes souffrant d'allergies alimentaires, soit 5 % de ces Français (115 000), tous âges confondus, ce qui donne un Français sur 20 souffrants d'allergies alimentaires (115 000/2 300 000) ou un Français sur 550 (0,1 %) si on se réfère à la population totale (115 000/65 500 000) ;
- ✓ Environ 100 000 personnes, soit la population d'une ville française moyenne, pourraient donc être potentiellement concernées par ces réactions et/ou allergies croisées. En fait, ce chiffre est très approximatif et doit être nettement inférieur, car la plupart des réactions croisées observées dans l'allergie alimentaire ne traduisent aucun symptôme clinique. Mais le danger, à ce jour, ne peut être exclu, bien qu'il ne puisse être estimé en l'absence d'étude à grande échelle (Palmer *et al.*, 2020).

## 1.7. Zones d'étude

Pour l'enquête sur le terrain, 4 zones d'étude ont été choisies, à savoir Daloa, Bouaké, Korhogo et Man, situées au Centre-Ouest, au Centre, au Nord et à l'Ouest de la Côte d'Ivoire respectivement (Figure 13). Les villes de Daloa, Bouaké, Korhogo et Man accueillent de nombreuses populations de toutes les régions du pays. Ces villes ont été choisies en fonction de la gravité de la malnutrition (PNMN, 2016) mais aussi du taux et de la diversité de la population.



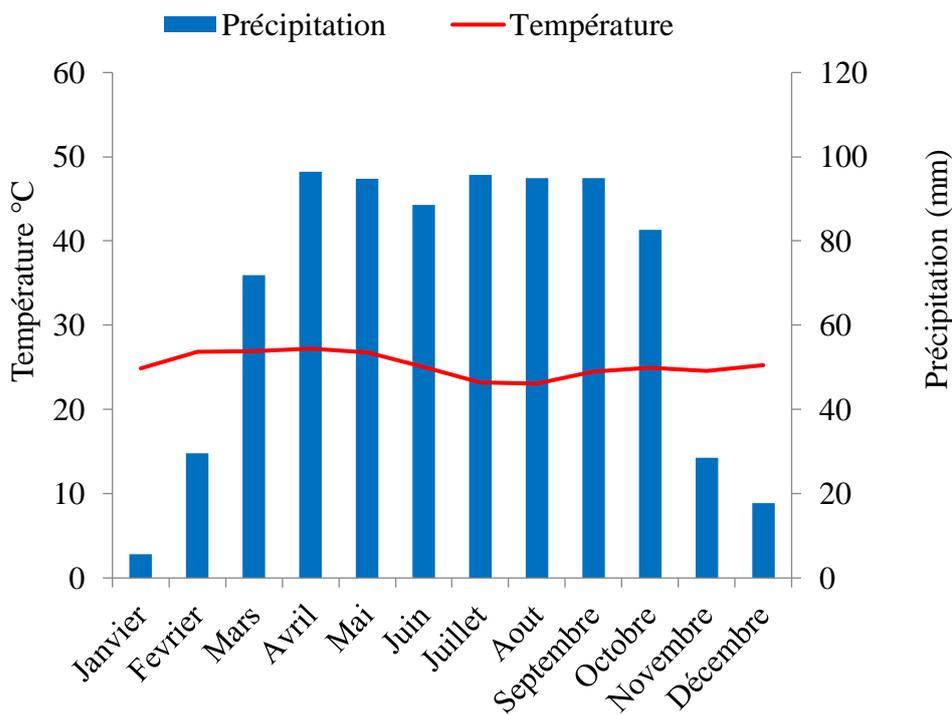
**Figure 13** : Zones enquêtées pour l'évaluation de l'entomophagie (Boko, 2021)

### 1.7.1. Daloa

Daloa, chef-lieu de département de la région du Haut-Sassandra, est une ville située au centre ouest de la Côte d'Ivoire, à 383 km d'Abidjan. Elle est située à 6°53 de latitude nord et 6°27 de longitude ouest. La ville est limitée au Nord par le département de Vavoua, au sud par le département d'Issia, à l'Est par Département de Zuénoula et Bouaflé et à l'Ouest par le Département de Duékoué.

## 1.7.1.1. Climat

Le diagramme ombrothermique (Figure 14) de la région du Haut-Sassandra réalisé à partir des données pluviométriques et thermiques moyennes mensuelles calculées sur une période de 30 ans (1988 à 2017) permet de visualiser deux saisons. La saison sèche s'étend de novembre à février et la saison des pluies part de mars à octobre. Le pic de précipitation est atteint en avril avec 96,50 mm de pluie. Les températures ont de faibles amplitudes et sont comprises entre 24,25 °C et 26,95 °C.



**Figure 14** : Diagramme ombrothermique de la région du Haut-Sassandra (Anonyme, 2019).

## 1.7.1.2. Végétation

La ville de Daloa est située dans la zone forestière où domine la forêt dense humide semi-décidue du secteur mésophile dans le domaine guinéen. Les forêts et brousses marécageuses sont très abondantes le long des cours d'eau dans la région de Daloa. Les rivières ont de vastes zones d'inondation dominées par divers végétaux, des forêts souvent inondées, des marais herbeux, des trous d'eau libre, répartis selon la topographie locale où l'on retrouve de nombreuses plantes aquatiques de la zone forestière. Les rizières dans les bas-fonds en région de Daloa donnent une jachère très abondante en broussailles (Guillaumet & Adjanohoun, 1971).

### 1.7.1.3. Sols

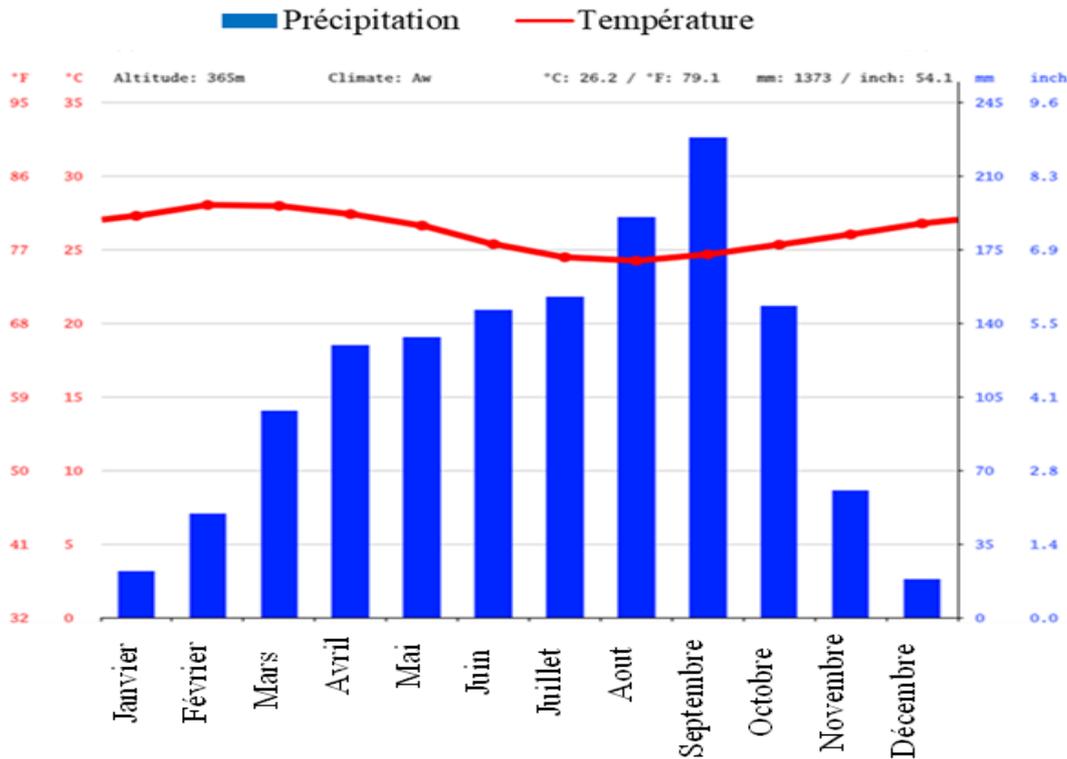
Le sol de la ville de Daloa, est essentiellement de type ferrallitique remanié avec des sous-classes : une sous-classe fortement dénaturée (granite à faciès induré) et une sous-classe moyennement dénaturée (granite sous des sols rajeunis) de l'horizon B (B2) très réduite. Le sol est enrichi en débris divers (débris de cuirasse, gravillons ferrugineux) (Perraud, 1971). Le sous-sol est essentiellement granitique et fait partie d'un ancien noyau cratonique. Il présente un système phylliteux avec le glacis aplani et déprimé, établi sur schistes. Ce glacis appartient à la zone de transition située entre les retombées de la dorsale guinéenne au nord-ouest, les plateaux du nord et la plaine intérieure au sud (Avenard, 1971).

### 1.7.2. Bouaké

La ville de Bouaké située approximativement au centre du pays à 370 km de la capitale économique Abidjan, Bouaké est la deuxième ville la plus peuplée de la Côte d'Ivoire. Cette ville est localisée à 7°69' de latitude nord et à 5°03' de longitude ouest. Elle est limitée au nord par la ville de Katiola, au sud par celle de Djébonoua, à l'ouest par les villes de Béoumi et Sakassou, et à l'est par la ville de Brobo.

#### 1.7.2.1. Climat

La région du Gbéké dont fait partie la ville de Bouaké est une région de transition climatique qui baigne tantôt dans le climat subtropical à quatre saisons (deux saisons sèches alternant avec deux saisons des pluies) (Ouattara, 2001). Le régime pluviométrique (Figure 15), y est bimodal, avec une température et une pluviométrie moyennes annuelles respectives de 28 °C et 1200 mm (Koné *et al.*, 2009). Un régime climatique à quatre saisons est observé : une grande saison des pluies, de mars à juin (4 mois), une petite saison sèche, de juillet à août (2 mois), une petite saison des pluies commençant en septembre et s'achevant en octobre (2 mois) et une grande saison sèche s'étend, du mois de novembre à février (4 mois) (CREPA, 2002). Ce climat est caractérisé par des précipitations moyennes annuelles variant entre 1200 mm et 1600 mm (Amani *et al.*, 2010). Le déficit hydrique annuel cumulé, varie entre 700 et 800 mm et se fait ressentir sur sept à huit mois. La pluviosité oscille entre 1 000 et 1 600 mm d'eau (Sangaré *et al.*, 2009).



**Figure 15** : Diagramme ombrothermique de la région du Gbèkè (Anonyme, 2019).

## 1.7.2.2. Végétation

La Région du Gbèkè (anciennement la vallée du Bandama) est localisée dans la zone de transition forêt - savane, caractérisée par une végétation dominée par des îlots localisés de forêts denses sèches, dans une savane dominante (Guillaumet et Adjanohoun, 1971). La végétation est celle des savanes préforestières et composée essentiellement de savanes herbeuse et arborée (Ouattara, 2001 ; CREPA, 2002). Cette savane se caractérise par trois types d'écosystèmes selon différentes écologies :

- les savanes, qui occupent les plateaux et pentes convenablement drainés et non rocheux ;
- les savanes marécageuses et les mares, liées à l'hydromorphie plus ou moins prolongée des sols limoneux ;
- les formations saxicoles, qui se trouvent sur les dômes granitiques ou sur les cuirasses.

Ces savanes comportent de nombreux groupements végétaux bien définis. Les sommets d'interfluves et les hauts de versant sont couverts par une forêt semi-décidue, tandis que les bas versants sont occupés par une savane arbustive et les bas-fonds, des galeries forestières (Diatta *et al.*, 1998).

### 1.7.2.3. Sols

Selon les études de Perraud & Souchère (1971), les sols de la vallée du Bandama (Région du Gbèkè) appartiennent au groupe des sols ferrallitiques moyennement et faiblement désaturés en bases dans l'horizon B (WRB, 2006). Ce sont des sols ferrallitiques typiques ou rajeunis, sur granite, ou des sols remaniés, avec des sous-groupes indurés, appauvris ou hydromorphes. Ils sont de type ferralsol selon (Koné *et al.*, 2009) correspondant aux ferrasol de type Plinthic Ferralsols Ferric ou Plinthic Ferralsols Ferric Arenic (WRB, 2006). Les sols de bas-fond ont une couverture pédologique colluvio-alluviale, occupée par des sols hydromorphes sablo limoneux à sablo-argileux, en permanence inondés pendant la saison des pluies (Diatta *et al.*, 1998).

### 1.7.3. Korhogo

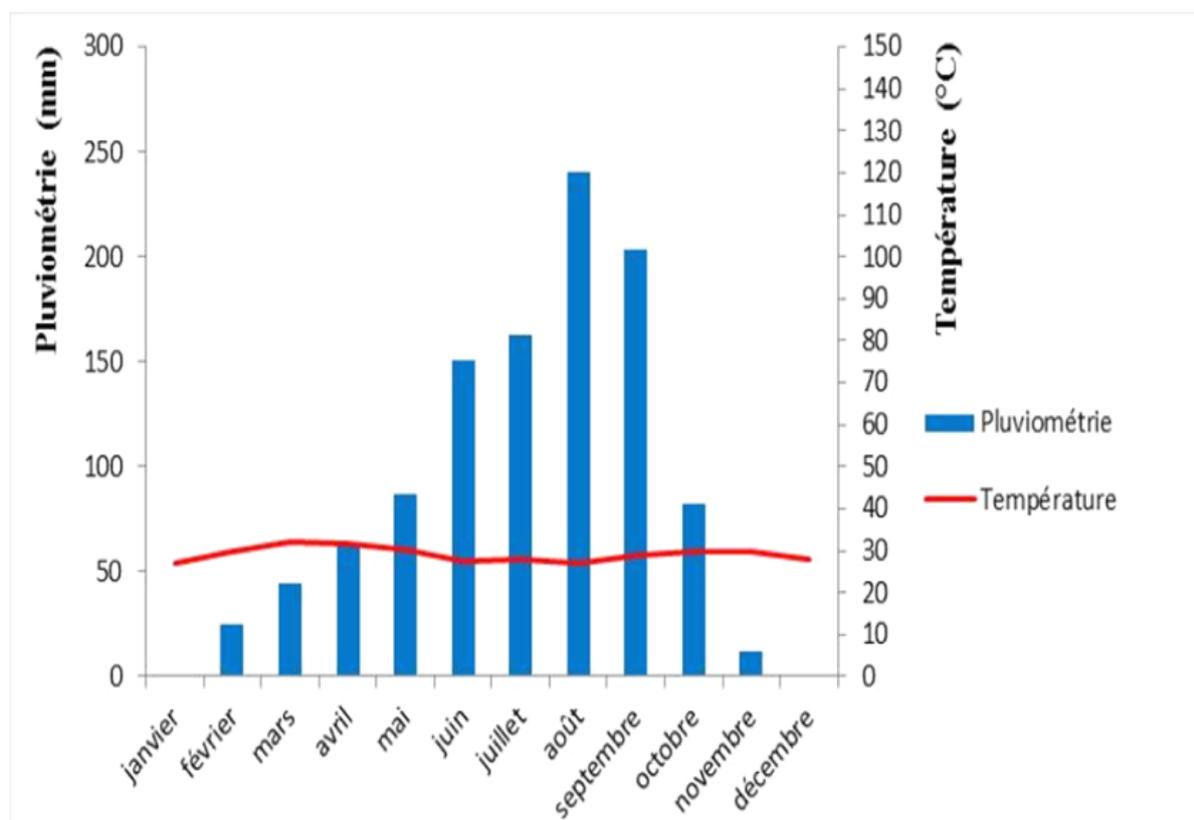
Localisé au nord de la Côte d'Ivoire, à 635 km d'Abidjan, elle est le chef-lieu du District des Savanes et de la région du Poro. La ville Korhogo est située entre les 5°16 et 16°16 de longitude ouest et les 8°32 et 10°20 de latitude nord. Elle est délimitée au nord, par la République du Mali, à l'ouest, par le département de Boundiali, au sud, par les départements de Mankono et de Katiola, enfin, à l'est, par le département de Ferkéssédougou

#### 1.7.3.1. Climat

La ville de Korhogo située dans la région du Poro, est caractérisée par un climat de type soudanais avec deux saisons : une saison sèche et une saison humide à faible pluviométrie. La température moyenne annuelle varie entre 24,47 °C et 30,53 °C. Les minimas absolus peuvent descendre jusqu'à 16,15 °C dans les mois de Décembre et Janvier et les maximas absolus s'élèvent au-dessus de 40 °C en Mars et Avril (Nannou, 2001 ; N'Dépo, 2010). La saison sèche s'étend de novembre à mi-avril. Elle dure six mois et le mois de janvier est le plus sec. De décembre à janvier, il y'a le vent sec et chaud (l'harmattan) avec une baisse de l'humidité relative (inférieure à 50 %) et une absence quasi-totale de précipitation (Diomandé, 2002). La saison des pluies part de mai à octobre. Elle dure six mois avec les fortes précipitations d'Août à Septembre.

La moyenne mensuelle de la pluviométrie de 2012 à 2017 a varié de 0 à 248,4 mm. Les faibles valeurs de la pluviométrie annuelle de cette zone oscillent entre 0,18 mm et 66,26 mm (Figure 16). Une forte variabilité spatiale de la pluviométrie annuelle d'une décennie à une autre y est observée. L'évolution des températures diurnes est marquée par un maximum de 30,53 °C en

mars et un minimum de 26,47 °C en période de saison des pluies. Les températures nocturnes sont maximales en avril avec 30 °C et nettement plus faibles en Décembre et Janvier.



**Figure 16** : Diagramme ombrothermique de la région du Poro (Anonyme, 2020)

### 1.7.3.2. Végétation

Korhogo appartient au secteur sub-soudanais du domaine soudanais. La végétation de type savanicole est caractérisée essentiellement par des forêts claires sèches et de différents types de savanes (savanes boisées, arborées et arbustives). Quelques îlots de forêts denses sèches subsistent. En bordure d'un certain nombre d'axes de drainage se trouvent des forêts galeries (Zagbai *et al.*, 2006).

### 1.7.3.3. Sols

La ville de Korhogo est caractérisée en majorité par une association de sols ferrallitiques moyennement ou faiblement désaturés et de sols ferrugineux. Les sols sont en général peu humifères et de fertilité moyenne (Zagbai *et al.*, 2006). Le relief relativement plat est parsemé par endroits de vallées et de galeries avec de légers affaissements de terrains. Il est également constitué de vallées larges en zones granitiques et plus étroites en zones schisteuses. Selon

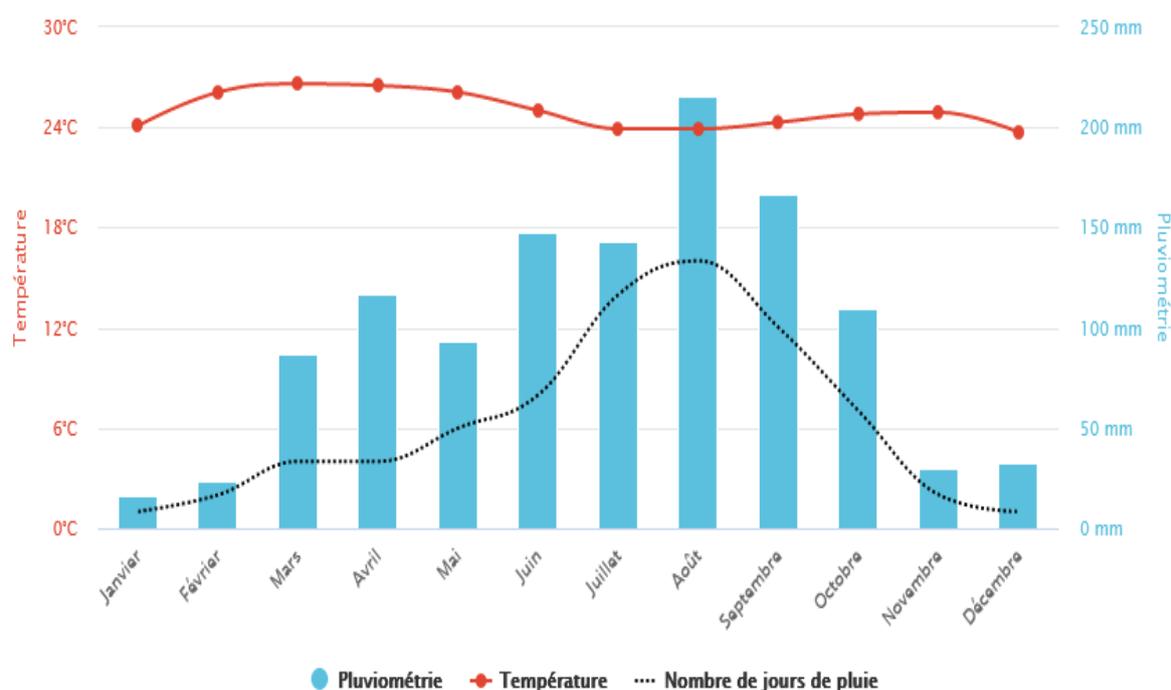
Zagbai *et al.* (2006), le relief se présente généralement comme un plateau faiblement ondulé avec des sommets de 300 à 400 m d'altitude.

### 1.7.4. Man

La ville de Man est située dans l'Ouest de la Côte d'Ivoire dans la région du Tonkpi en zone montagneuse à environ 600 km d'Abidjan. La ville est localisée à 7° 18' 53" latitude Nord, et 7° 33' 1" longitude Ouest. Les localités voisines à la ville de Man sont Touba au Nord, Danané à l'Est, Séguéla à l'Ouest et Duékoué au Sud.

#### 1.7.4.1. Climat

La pluviométrie comprend les principales caractéristiques suivantes : 1300 à 2400 mm de pluies par an ; gradient décroissant de pluviométrie d'Ouest en Est et du Sud au Nord ; répartition bimodale dans le Moyen Cavally et monomodale dans les régions des Montagnes et du Bafing ; les températures sont douces, moyenne (24°C) ; l'hygrométrie varie de 80 à 85 % (Figure 17).



**Figure 17** : Diagramme ombrothermique de la région du Tonkpi (Anonyme, 2020).

#### 1.7.4.2. Végétation

Concernant la végétation, 80 % de forêt humide dans les parties Sud et Centre Ouest ont laissé place à des jachères à *Chromolaena odorata* (appelé communément Sékou Touré) et à des plantations agroindustrielles de café, cacao et d'hévéa (Koumé, 2009).

### 1.7.4.3. Sols

Le relief est très accidenté sur le tiers de la superficie avec des altitudes dépassant parfois les 1000 m dans ses parties Nord et Centre ; les Monts Nimba et Tonkpi en sont les illustrations. Il présente d'immenses plaines et de nombreux et larges bas-fonds dans sa partie Sud. Les sols de type ferrallitique à fertilité chimique moyenne, sont largement dominants. Il y existe aussi des sols développés sur des roches basiques, (potentiellement riches), des sols hydromorphes (bas-fonds) et des sols minéraux (montagnes) (Zagbai *et al.*, 2006).

**DEUXIEME PARTIE : MATERIEL  
ET METHODES**

## Matériel et Méthodes

### 2.1. Matériel

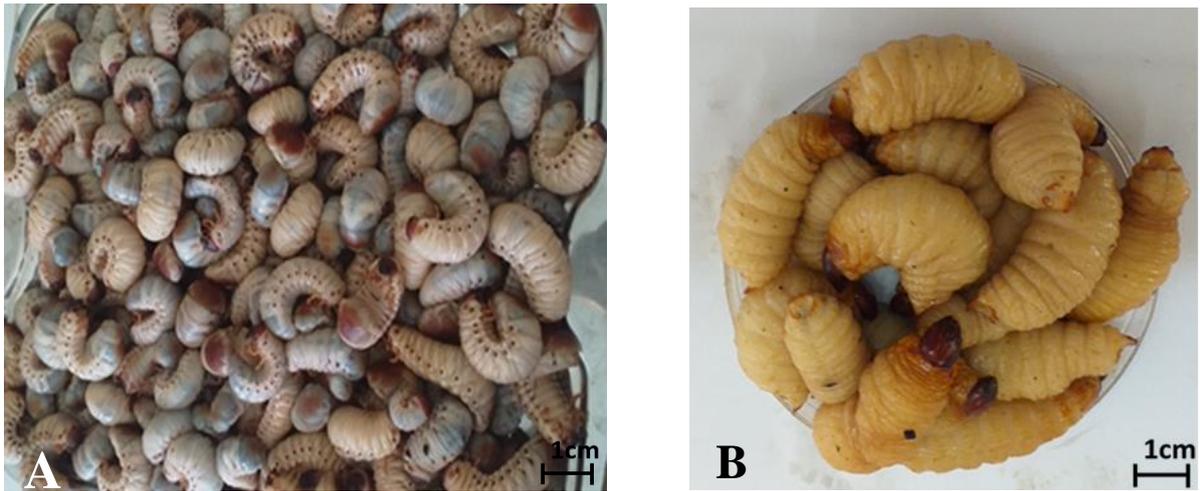
#### 2.1.1. Matériel biologique

##### 2.1.1.1. Matériel animal

Le matériel animal est constitué de sept (07) espèces d'insectes consommés en Côte d'Ivoire (Tableau IV). Il s'agit notamment de 2 espèces de Coléoptères (*Oryctes owariensis* et *Rhynchophorus phoenicis*), 3 espèces de Lépidoptères (*Cirina butyrospermi*, *Imbrasia oyemensis* et *Nudaurelia dione*), 1 espèce d'Isoptères (*Macrotermes subhyalinus*) et 1 espèce d'Orthoptères (*Zonocerus variegatus*) (Figures 18-21). Seuls *Macrotermes subhyalinus* et *Zonocerus variegatus* ont été collectés au stade adulte. Toutes les autres ont été récoltées aux stades larvaires (pools) à l'exception de *Nudaurelia dione* qui a été collectée au stade 3 sur les 5 stades qu'elle comporte.

**Tableau IV** : Liste des espèces d'insectes échantillonnés

<b>Ordres</b>	<b>Familles</b>	<b>Espèces</b>	<b>Noms communs</b>	<b>Stade de consommation</b>
<b>Lépidoptères</b>	Saturniidae	<i>Imbrasia oyemensis</i>	Chenille du fromager	Larves (pool)
		<i>Cirina butyrospermi</i>	Chenille du karité	Larves (pool)
		<i>Nudaurelia dione</i>		Larves (stade 3)
<b>Coléoptères</b>	Curculionidae	<i>Rhynchophorus phoenicis</i>	Chenille du palmier	Larves (pool)
	Dynastidae	<i>Oryctes owariensis</i>	Chenille du raphia	Larves (pool)
<b>Isoptères</b>	Macrotermitidae	<i>Macrotermes subhyalinus</i>	Termite ailé	Adultes
<b>Orthoptères</b>	Acrididae	<i>Zonocerus variegatus</i>	Criquet	Adultes



**Figure 18** : Larves de *Oryctes owariensis* (A) et *Rhynchophorus phoenicis* (B) (Photo prise par BOKO en 2020)



**Figure 19** : Larves de *Imbrasia oyemensis* (A), *Cirina butyrospermi* (B) et *Nudaurelia dione* (C) (Photo prise par BOKO en 2020)



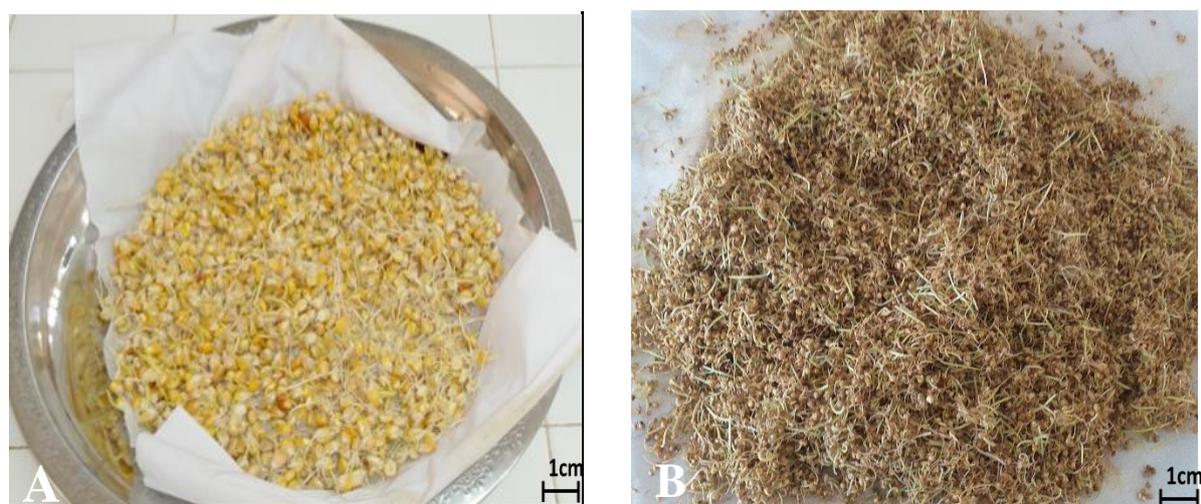
**Figure 20** : *Macrotermes subhyalinus* (termites ailés, stade adulte) (Photo prise par BOKO en 2020).



**Figure 21** : *Zonocerus variegatus* (criquet puant, stade adulte) (Photo prise par BOKO en 2020).

### 2.1.1.2. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans cette étude est composé des grains germés de deux espèces de céréales locales à savoir le maïs et le mil (Figure 22). Ce matériel a été acheté au grand marché de Daloa.



**Figure 22** : Grains germés de maïs (A) et mil (B) (photo prise par BOKO en 2020)

### 2.1.2. Matériel technique

Le matériel technique est constitué du matériel utilisé pour l'échantillonnage et du matériel de laboratoire.

#### 2.1.2.1. Matériel d'échantillonnage

Le matériel d'échantillonnage est composé d'un appareil numérique pour la prise de vues des différentes espèces d'insectes, de bocaux stériles pour la collecte des différents échantillons et

## Matériel et Méthodes

une glacière contenant de la glace en surfusion pour transporter les échantillons. Les fiches d'enquête préalablement établies ont été utilisées pour la collecte d'informations lors de l'enquête (Annexe 1).

### 2.1.2.2. Matériel de laboratoire

Tous les équipements prépondérants qui ont servi de matériel de laboratoire sont consignés dans le tableau V. Quelques photographies de ces équipements sont présentées en Annexe2.

**Tableau V** : Equipements prépondérants utilisés

Désignations	Marque	Rôle
<b>pH-mètre</b>	Hanna HI 9124	Utilisé pour mesurer le pH
<b>Etuve</b>	MEMMERT	Utilisée pour le séchage, la détermination de la teneur en eau et la matière sèche
<b>Refractomètre</b>	ATAGO N-1 $\alpha$	Pour la lecture du degré Brix
<b>Mortier en porcelaine</b>	AVIGNON	Utilisé pour broyer les chenilles
<b>Four à moufle</b>	NABERT HERM	Utilisé pour déterminer la teneur en cendre
<b>Balance numérique</b>	OHAUS CS SERI	Utilisée pour les pesées.
<b>Autoclave</b>	H+P VARIOKLAV	Pour les stérilisations
<b>Bain marie</b>	Fisher Scientific Polytect 12	Utilisé pour l'évaporation des solutions
<b>Centrifugeuse</b>	SIGMA 2-16P	Utilisée pour la séparation
<b>Dispositif d'électrophorèse</b>	Bio-Rad Laboratories	Pour la migration des protéines
<b>Trans-blot</b>	Bio-Rad Laboratories	Transfert des protéines sur membrane
<b>Tissue Lyser</b>	Qiagen	Lyse des cellules
<b>Lecteur de gel</b>	Bio-Rad Laboratories	Pour observation des bandes de protéine sur gel

### 2.1.2.3. Matériel d'analyse moléculaire

Le kit d'extraction Nucleospin Tissue, Mini kit for DNA from cells and tissue (Macherey-Nagel, Allemagne) a été utilisé pour l'extraction de l'ADN génomique des échantillons. Des

## Matériel et Méthodes

réactions de polymérisation en chaîne (PCR) ont été réalisées dans un thermocycleur (Biorad, Singapour). Le gène marqueur recherché dans le typage moléculaire des espèces d'insectes à partir de 3 larves collectées est le COI. Les amorces exploitées ainsi que leurs caractéristiques sont consignées dans le tableau VI. Le milieu réactionnel utilisé est composé de tampon PCR 10X contenant du chlorure de magnésium ( $MgCl_2$ ) des désoxyribonucléotides triphosphates (dNTPs), l'eau ultra pure ( $H_2O$ ), des amorces et le KAPA HiFi ADN polymérase. L'agarose lyophilisé a servi pour la préparation du gel de migration électrophorétique. En outre, La solution Tris Borate EDTA (TBE) a été utilisée comme tampon pour l'électrophorèse et comme solvant pour la préparation du gel d'agarose. La solution de bromure d'éthidium (BET) a été employée comme agent intercalant nécessaire pour la visualisation des fragments d'ADN à l'aide d'un transilluminateur à rayon ultraviolet.

**Tableau VI** : Amorces pour identification moléculaire de quelques échantillons

Espèces	Gène	Séquences sens et anti-sens (5'-3')	Taille de l'amplicon (pb)	Références
<i>Nudaurelia dione</i>	COI	ATTCAACCAATCATAAAGAT ATTGG TAAACTTCTGGATGTCCAAA AAATCA	658	Mally <i>et al.</i> (2018)
<i>Oryctes owariensis</i>	COI	GGTCAACAAATCATAAAGAT ATTGG TAAACTTCAGGGTGACCAAAA AAAATCA	621	Folmer <i>et al.</i> (1994)
<i>Rhynchophorus phoenicis</i>	COI	TATAGCATTCCCCGTTTA TCCTAATAAACCAATTGC	600	Simon <i>et al.</i> (1994)

COI : gène mitochondrial codant pour le cytochrome oxydase de la sous-unité 1

## 2.2. Méthodes

### 2.2.1. Enquête sur l'entomophagie en Côte d'Ivoire

L'enquête s'est déroulée dans quatre grandes villes de la Côte d'Ivoire à savoir Korhogo, Bouaké, Daloa et Man. Cette enquête a été initiée pour évaluer entre autres le niveau de consommation des insectes dans le pays mais aussi pour identifier les espèces consommées, le mode de consommation, les facteurs motivants ou limitants ainsi que l'avenir de cette pratique. Elle a débuté dans le mois de Juillet 2018 et a pris fin en Février 2019, soit une durée de 8 mois. Il s'agit d'une enquête de terrain notamment auprès des différentes personnes ressources

## Matériel et Méthodes

---

(commerçants, consommateurs, agriculteurs, etc.). A cet effet, un questionnaire (Annexe 1) à la fois ouvert et fermé avait été établi selon le modèle de Balinga *et al.* (2004) et soumis aux répondants. Les personnes enquêtées étaient chiffrées à 1806 et constituées des deux sexes et de toutes les couches sociales. Les entretiens ont été conduits individuellement en français en général et dans une langue locale avec l'appui d'un interprète le cas échéant. En plus du questionnaire, un GPS a été utilisé pour enregistrer les coordonnées géographiques de chaque localité échantillonnée.

### **2.2.2. Collecte des échantillons sur le terrain et conservation au laboratoire**

Lors de l'enquête, des personnes qui ont pour habitude de récolter les insectes pour leur propre consommation ou la commercialisation ont été contactées pour convenir d'un site et d'une heure pour la collecte des échantillons. Les différentes espèces ont été choisies en fonction de la prépondérance sur les marchés locaux et aussi de leur particularité sur un site. La collecte des larves des coléoptères a été faite durant toute l'année après décomposition de la plante nourricière (palmier et raphia) dans la zone d'Issia et dans le village Nématoulaye situé sur l'axe Daloa-Bédiala. Par contre, la collecte des autres espèces était saisonnière. Les chenilles ont été collectées de Juin à Août après récolte des fruits des plantes nourricières. Les termites ailés ont été collectés en début et pendant la saison des pluies par piégeage à l'aide d'une bassine pleine d'eau. Tous les échantillons collectés ont d'abord été introduits dans des boîtes stériles étiquetées. Ensuite, ces boîtes ont été mises dans une glacière contenant de la glace et acheminées au laboratoire où les insectes ont été nettoyés à l'eau puis emballés à nouveau dans une boîte stérile avant d'être conservés au surgélateur à - 80 °C. Pour chaque analyse, une quantité requise a été prélevée selon la méthodologie appliquée.

### **2.2.3. Identification des espèces**

#### **2.2.3.1. Identification morphologique des espèces collectées**

Les insectes ont été identifiés sur le plan morphologique à l'aide de manuels de référence (Morphology and systematics : phytophaga Handbook of Zoology; Arthropoda; Insecta; Saturniidae of the world; Their Life stages from the Eggs to the Adults). La confirmation par des entomologistes spécialistes de ces ordres a été réalisée.

### **2.2.3.2. Identification moléculaire des larves collectées**

Sur le plan moléculaire, certaines larves difficilement identifiables sur le plan morphologique ont fait l'objet d'amplification de fragments d'ADN spécifiques aux espèces. Il s'agit de *Rhynchophorus phoenicis*, *Oryctes owariensis* et *Nudaurelia dione*.

#### **2.2.3.2.1. Extraction d'ADN génomique des larves d'insectes**

L'ADN génomique des larves d'insectes a été extrait à l'aide du kit d'extraction Nucleospin Tissue, Mini kit for DNA from cells and tissue, selon les recommandations du fabricant. En substance, 20 mg d'échantillon ont été pesés dans un tube eppendorf de 1,5 mL et 100 µL de tampon d'élution BE, 40 µL de tampon MG, 10µL de protéinase K et six billes ont été additionnés pour le broyage de l'échantillon au Tissue Lyser à 30 Hz pendant 30 min. Les broyats obtenus ont été centrifugés à 11 000 xg pendant 30 s puis 600 µL de tampon MG ont été ajoutés et le tout passé au vortex et centrifugé à nouveau. Les surnageants ont été récupérés et placés sur des colonnes posées sur des tubes collecteurs puis centrifugés à 11 000 xg pendant 30 s. Les colonnes ont été récupérées sur de nouveaux tubes collecteurs. Un volume de 500 µL du tampon BW a été ajouté à la colonne et centrifugé. Les tubes collecteurs vidés de leur contenu ont été remplacés sous les colonnes. Un volume de 500 µL du tampon B5 a été ajouté à la colonne et centrifugé à 11 000 xg pendant 30 s. Les colonnes sont récupérées sur des tubes Eppendorf de 1,5 mL dans lesquels l'ADN a été élué. Un volume de 30 µL du tampon d'élution BE a été ajouté et incubé à température ambiante (20 °C) pendant 5 min puis centrifugé à 11 000 xg pendant 30 s. L'ADN obtenu est conservé à -20 °C pour la suite des analyses moléculaires.

#### **2.2.3.2.2. Evaluation de la qualité et la quantité de l'ADN extrait**

La concentration en acide nucléique a été déterminée à l'aide du spectrophotomètre Nanodrop™ ND-1000 (Biolab Scientific Ltd). Le nombre de paires de bases d'ADN a également été estimé en utilisant une électrophorèse sur gel d'agarose, le bromure d'éthidium comme agent intercalant des fragments d'ADN et une visualisation sous lumière ultraviolette (UV). La quantité de fluorescence d'un échantillon est proportionnelle à la masse totale d'ADN, de sorte que la quantité d'ADN a été estimée par comparaison de l'intensité des bandes à des bandes de concentration connue à partir du marqueur de taille.

#### **2.2.3.2.3. Réaction d'amplification par polymérisation en chaîne des gènes recherchés**

##### **2.2.3.2.3.1. Préparation du milieu réactionnel**

## Matériel et Méthodes

Le milieu réactionnel pour chaque PCR simplex a été préparé à un volume final de 10  $\mu$ L. ce milieu était constitué de :

- ✓ 0,5  $\mu$ L de chaque amorce listée précédemment ;
- ✓ 5  $\mu$ L ReadyMix (KAPA HiFi ADN polymérase, dNTPs,  $MgCl_2$ ) ;
- ✓ 3  $\mu$ L eau ultrapure ;
- ✓ 1  $\mu$ L ADN.

### 2.2.3.2.3.2. Conditions d'amplification des gènes

Les conditions d'amplifications sont fonction du gène et de la température d'hybridation des amorces. Après la dénaturation initiale, une série de 40 cycles pour chaque PCR simplex a été réalisée. Les différentes étapes de la PCR et leurs conditions d'amplification sont consignées dans le tableau VII.

**Tableau VII** : PCR et conditions d'amplification

Étapes de l'amplification	COI de <i>O. owariensis</i>	COI de <i>R. phoenicis</i>	COI de <i>N. dione</i>	Nombres de cycles
Dénaturation initiale	95 °C/3 min	94 °C/ 5 min	95 °C/3 min	} X 40
Dénaturation	95 °C/15 s	94 °C/ 1 min	95 °C/15 s	
Hybridation	60 °C/30 s	60 °C/ 1 min	55 °C/30 s	
Elongation	72 °C/ 30 s	72 °C/ 1 min	72 °C/ 30 s	
Elongation	72 °C/ 5 min	72 °C/ 5 min	72 °C/ 5 min	

### 2.2.3.2.3.3. Préparation du gel d'agarose

Un gel d'agarose de 1% a été préparé pour la migration des produits d'amplification. Ainsi dans un erlenmeyer, 1 g de poudre d'agarose ont été homogénéisés avec 100 mL de tampon de migration TBE 0,5 X (pH 8,3, Tris 890 mM, acide borique 890 mM, EDTA 20 mM). Le mélange a été porté à ébullition dans un four à microondes jusqu'à obtention d'un mélange transparent. Après refroidissement, 3  $\mu$ L de bromure d'éthidium (BET) de concentration 5 mg/mL ont été additionnés et homogénéisés. La solution obtenue a été coulée dans un moule muni de peignes. Le gel a été utilisé après sa solidification pour la migration des fragments d'ADN amplifiés dans une cuve à électrophorèse contenant la solution de TBE concentrée 0,5X.

### 2.2.3.2.3.4. Electrophorèse des gènes amplifiés

## Matériel et Méthodes

---

La révélation des produits d'amplification ou amplicons a été réalisée par électrophorèse sur gel d'agarose 1 %. Pour se faire 5  $\mu$ L de chaque PCR ont été additionnés à 2  $\mu$ L de tampon de charge 2X (Promega, USA) puis homogénéisés. Ces mélanges constitués sur du film de paraffine sont déposés dans chaque puits du gel à l'aide d'une micropipette ajustable. Parallèlement aux échantillons à tester, un marqueur de poids de 100 paires de bases de gradient a été déposé dans un puits de chaque gel (à raison de 2,5  $\mu$ L). La migration est réalisée sous une tension électrique de 100 volts pendant 30 min dans le TBE (0,5X). Après migration, le gel a été placé dans un transilluminateur pour la visualisation des bandes correspondant aux fragments de gènes recherchés, sous la lumière à rayons ultra-violet.

### **2.2.4. Préparation des échantillons d'insectes pour analyse**

Une fois les échantillons d'insectes ont été mis à mort par le froid du surgélateur à  $-80^{\circ}\text{C}$ , une lyophilisation a été réalisée pendant 5 jours (120 h) selon la méthode de Barroso *et al.* (2014). Chaque échantillon est ensuite broyé à l'aide d'un mixeur (NASCO, model : BL1008AK-CB) pendant 5 minutes à vitesse maximale afin d'obtenir une texture homogène capable de traverser un tamis dont les mailles font 1 mm de diamètre (Paul *et al.*, 2017). Ces farines obtenues sont de nouveau conservées à température ambiante ( $25$  à  $30^{\circ}\text{C}$ ) jusqu'aux analyses.

### **2.2.5. Analyses physico-chimiques des espèces collectées**

#### **2.2.5.1. Détermination du potentiel hydrogène (pH)**

Le pH a été déterminé selon la méthode AOAC (1984). Cinq (05) g d'échantillon de farine ont été pesés dans un tube de 50 mL puis additionné de 20 mL d'eau distillée. L'ensemble a été centrifugé puis un volume de 10 mL du surnageant a été prélevé dans un bécher. Le pH a été mesuré après calibrage du pH-mètre, en plongeant l'électrode dans les 10 mL de solution et la valeur a été lue sur l'écran du pH-mètre portable (Hanna HI 9124).

#### **2.2.5.2. Détermination de l'acidité titrable**

L'acidité titrable (en mEq/100 g), a été déterminée suivant la méthode colorimétrique décrite par la norme française NF V05-101 (AFNOR, 1974). Cinq grammes d'échantillon ont été pesés dans un tube de 50 mL puis additionné de 20 mL d'eau distillée. L'ensemble a été centrifugé puis 5 mL du surnageant ont été prélevés dans un bécher. Ensuite, un titrage a été réalisé avec de l'hydroxyde de sodium (NaOH à 0,1 N) après ajout de 2 gouttes de phénolphaléine. Le

## Matériel et Méthodes

---

volume  $V_1$  de la solution de NaOH versé à l'équivalence a été noté. L'acidité titrable ( $A^\circ$ ) est obtenue selon la formule de l'équation (1) :

$$A^\circ(\text{mEq}/100 \text{ g}) = \frac{N_1 \cdot V_1 \cdot 10^5}{m \times V_0} \quad (1)$$

$N_1$  : Normalité de NaOH ;  $m$  : Prise d'essai ;  $V_0$  : Volume de la solution prélevé pour le titrage.

### 2.2.5.3. Dosage du degré Brix

La détermination de l'extrait sec soluble a été réalisée selon Dadzie & Orchard (1997) à l'aide d'un réfractomètre. Une goutte de filtrat des échantillons préalablement tempérés à 20 °C a été déposée sur le prisme d'un réfractomètre (Atago N-1 $\alpha$ , modèle N, McCormick fruit Tech). Cet appareil a été ensuite pointé en direction d'une source lumineuse pour la lecture du degré Brix correspondant au taux d'extrait sec de l'échantillon. La valeur lue a été multipliée par le facteur de dilution de cette solution.

La teneur en résidu sec soluble de la solution diluée a été exprimée selon la formule (2) :

$$IR = M \times f \quad (2)$$

où  $M$  est la valeur lue au réfractomètre et  $f$  est le facteur de dilution,  $IR$  est l'indice de réfraction.

### 2.2.5.4. Détermination de la teneur en eau

La teneur en eau (TE) est déterminée selon la méthode AACC (1990). Un creuset vide est d'abord nettoyé, séché et pesé ( $M_0$ ). Ensuite, le creuset contenant l'échantillon (1 g) est de nouveau pesé ( $M_1$ ) puis placé à l'étuve à 105 °C pendant 24 heures. Après ce temps de séchage, le creuset est sorti de l'étuve, puis refroidi avant d'être pesé ( $M_2$ ) à nouveau. Les résultats exprimés représentent la moyenne de trois essais et la teneur en eau est donnée par l'expression mathématique (3) :

$$TE(\%) = \frac{M_1 - M_2}{M_1 - M_0} \times 100 \quad (3)$$

### 2.2.5.5. Détermination de la teneur en cendres

Les cendres ont été obtenues selon la méthode AOAC (1995). Un prélèvement de 1 g du broyat des insectes a été reparti dans des capsules et mis à incinérer au four à moufle à 550 °C pendant 24 heures. Après refroidissement au dessiccateur, les capsules ont été pesées. Le taux de cendres a été déterminé selon l'expression mathématique (4) :

$$Cendres(\%) = \frac{M2 - M0}{M1 - M0} \times 100 \quad (4)$$

M0 : Masse du creuset vide ; M1 : Masse du creuset + échantillon avant incinération ; M2 : Masse du creuset + cendres après incinération.

### 2.2.5.6. Teneur en lipides

#### 2.2.5.6.1. Dosage des lipides totaux

La méthode utilisée afin de doser par extraction les lipides est celle de Folch *et al.* (1957) avec de légères modifications. Cette méthode est appliquée aux broyats des différentes espèces d'insectes étudiés pour extraire les lipides totaux. Environ 5 g de broyat ont été mélangés avec 25 mL du mélange chloroforme/méthanol (2/1) dans un mixeur pendant 2 min. Le mélange a été homogénéisé à l'aide d'un agitateur à la vitesse maximale (420 tours/minutes) puis centrifugé à 4000 xg pendant 10 min. Le surnageant a été transféré dans une ampoule à décanter à l'aide d'un entonnoir avec filtre (Whatman 595, diamètre : 125 mm). Ensuite, les différents filtres utilisés sont lavés avec le mélange de solvants et l'ampoule est remplie jusqu'à atteindre un volume final de 120 mL avant l'ajout de 30 mL de NaCl à 0,58 % (Figure 23A). Après cela, la solution est laissée à décanter toute la nuit pour séparer les phases. La phase organique inférieure a été récupérée dans un ballon taré (Figure 21b). Une fois la récupération faite, un volume de 40 mL de solvant de chloroforme (CHCl<sub>3</sub>) a été introduit dans chaque ampoule et l'opération de mise en contact et de dégazage a été reprise. Le mélange de chaque ampoule a été reposé pendant environ 5 h. La phase organique inférieure dans les mêmes ballons a été récupérée à nouveau (la phase supérieure ne servant plus, elle a été jetée selon la procédure du laboratoire). Puis, le solvant a été évaporé dans l'évaporateur rotatif sous azote (évaporateur rotatif de Marque BUCHI, modèle R-2010) (Figure 24) à 50 °C pour obtenir la masse de lipides. Le résultat est exprimé en pourcentage (%) de la matière (broyat) et correspond à la moyenne de trois déterminations



**Figure 23** : Extraction des lipides des différents échantillons d'insectes : phase de mélange de solvant (A) et récupération de la phase organique après 24 h (B)



**Figure 24** : Concentration de la matière grasse par évaporation des solvants

### 2.2.5.6.2. Détermination du profil des acides gras

Le profil en acides gras a été déterminé par une méthode de chromatographie en phase gazeuse. Pour cela, les acides gras ont été dérivatisés en esters méthyliques afin d'être plus volatils.

Une goutte d'huile a été déposée dans des tubes étanches dans lesquels ont ensuite été ajoutés 0,2 mL d'hexane (Biosolve) et 0,5 mL de solution de BF<sub>3</sub> (préparation de la solution : 55 mL méthanol sec (méthanol de grade analytique, Scharlau), 20 mL d'hexane (Biosolve), 25 mL de BF<sub>3</sub> (trifluorure de bore 14 % dans du méthanol, Sigma-Aldrich)). Le tout a été incubé à 75 °C durant 90 min. Une fois le milieu réactionnel refroidi, 0,5 mL d'une solution de NaCl (NaCl

## Matériel et Méthodes

---

technique, VWR) saturé et 0,2 mL d'H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10 % ont été ajoutés. Le tout a été homogénéisé par vortex. Enfin, 8 mL d'hexane (Biosolve) ont été ajoutés afin de diluer l'échantillon. La phase supérieure a été transférée dans un flacon en verre de 2 mL pour dosage. Cette solution a été injectée en GC-FID (Gas Chromatography-Thermo Fisher Scientific Trace GC Ultra) (Figure 25). Les pics ont été identifiés à l'aide des temps de rétention obtenus pour un témoin comprenant de nombreux acides gras. En effet, chaque ester méthylique d'acide gras (EMAG) est caractérisé par un temps de rétention, qui est fonction de la longueur de la chaîne carbonée, du nombre d'insaturations porté ainsi que de la (des) position (s) et configuration (s) de cette (ces) dernière (s). Les analyses ont été répétées trois fois sur chacun des extraits.



**Figure 25** : Chromatographe en phase gazeuse (Thermo Fisher Scientific Trace GC Ultra)

### 2.2.5.6.3. Caractérisation chimique de la matière grasse extraite

#### 2.2.5.6.3.1. Indice de peroxyde

L'indice de peroxyde a été déterminé selon la méthode AFNOR (1984). Le principe de détermination de cet indice repose sur l'oxydation de l'iodure par l'oxygène actif des peroxydes contenus dans les huiles, en milieu acide. L'iode libéré est ensuite dosé en retour par le thiosulfate de sodium titré. Un (01) g de matière grasse a été pesé dans un erlenmeyer et 10 mL de chloroforme y sont ajoutés. Ensuite, 15 mL d'acide acétique puis 1 mL d'une solution d'iodure de potassium (KI) ont été introduits. Après cette étape, l'erlenmeyer est bouché et placé dans l'obscurité pendant 5 min et à une température comprise entre 15 et 25 °C. Enfin, 75 mL

## Matériel et Méthodes

---

d'eau distillée ont été ajoutés et l'iode a été titré sous agitation par le thiosulfate de sodium en présence d'amidon comme indicateur. Un essai à blanc a été effectué de la même manière.

L'indice de peroxyde (IP) exprimé en mEq d'oxygène/kg de matière grasse a été calculé par l'expression mathématique (5) :

$$I_p = \frac{(V - V_0) \times C}{P} \times 100 \quad (5)$$

$V_0$  : Volume de thiosulfate de sodium (mL) nécessaire pour l'essai à blanc ;  $V$  : Volume de thiosulfate de sodium (mL) pour l'échantillon ;  $C$  : Concentration exacte, en mole par litre, de la solution titrée de thiosulfate de sodium utilisée ;  $P$  : Prise d'essai (g).

### 2.2.5.6.3.2. Indice d'iode

L'indice d'Iode a été déterminé selon la méthode de Wolff (1968). Une prise d'essai d'un (1) g de la matière grasse a été pesée et introduite dans un ballon. Quinze (15) mL du tétrachlorure de carbone et 25 mL du réactif de Wijs y ont été ajoutés. Après avoir bouché et agité, le ballon a été enveloppé avec du papier aluminium et laissé reposer pendant une heure. Ensuite, 20 mL d'iodure de potassium à 10 % préparé extemporanément et 150 mL d'eau distillée ont été ajoutés à la solution. Un titrage a été effectué avec la solution de thiosulfate de sodium à 0,1 N jusqu'à ce que la couleur jaune due à l'iode ait quasiment disparu. Ensuite, quelques gouttes d'empois d'amidon ont été ajoutées avant de poursuivre le titrage jusqu'à la disparition de la couleur bleu violette ; la solution est devenue alors transparente. Un essai à blanc a été effectué de la même façon. L'indice d'iode (II) est donné par la formule (6) établie par Wolff (1968) :

$$I_i(\text{g d'iode}/100 \text{ g de matière grasse}) = \frac{V_0 - V}{P} \times 126,9 \times N \quad (6)$$

$V_0$  : Volume en (mL) de thiosulfate de sodium à (0,1 N) nécessaire pour titrer l'essai à blanc ;  $V$  : Volume en (mL) thiosulfate de sodium à (0,1 N) nécessaire pour titrer l'échantillon ;  $P$  : Prise d'essai (g) ; 126,9 : Masse molaire de l'iode (g/mol) ;  $N$  : Normalité du thiosulfate de sodium est de 0,1.

### 2.2.5.6.3.3. Indice d'acide

L'indice d'acide d'une huile mesure la quantité d'acides gras libres (AGL) présents dans ce corps. Il s'agit de dissoudre la matière grasse dans de l'éthanol chaud neutralisé, puis titrer les

## Matériel et Méthodes

---

AGL présents au moyen d'une solution titrée de KOH en présence de phénolphthaléine comme indicateur (Wolff, 1968). De ce fait, 1 g de corps gras a été introduit dans un erlenmeyer en verre. Cinq millilitres (5 mL) d'éthanol à 95 % et 5 gouttes de phénolphthaléine à 0,2 % ont été ajoutés et neutralisés grâce à une solution de KOH éthanoïque (0,1 mol/L) jusqu'à l'obtention d'une couleur rose persistante.

L'indice d'acide ( $I_a$ ) est calculé par la formule (7):

$$I_a(\text{mg de KOH par g d'huile}) = \frac{V \times 56,1 \times N}{P} \quad (7)$$

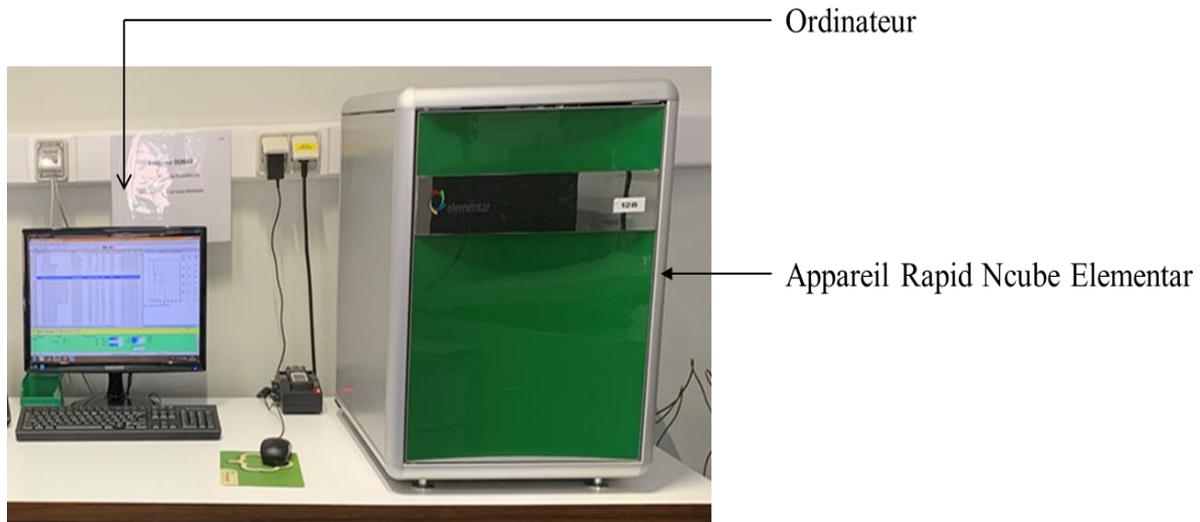
V : Volume de KOH (0,1 mol /L) en mL ; N : Normalité de la solution de KOH (0,1 mol /L) ;  
P : Poids de la prise d'essai en g ; 56,1 : Masse moléculaire relative de KOH (g/mol)

### 2.2.5.7. Dosage des protéines

La teneur en protéines de chaque spécimen récolté a été dosée en utilisant la méthode Dumas (1831). Dans le cadre de notre étude, la détermination des teneurs en protéines a été faite avec l'appareil Rapid Ncube Elementar (Dumas) (Figure 26). La méthode Dumas permet le dosage de l'azote. L'échantillon (en forme de pastille de 200 g) a été soumis à une combustion à une température de 960 °C, en présence d'O<sub>2</sub>. Le gaz issu de la combustion est passé par une série de tubes contenant des produits qui ont visé à éliminer tous les gaz autres que le N<sub>2</sub>. Ensuite, l'azote est arrivé au détecteur pour y être détecté et dosé. Les gaz de combustion entraînés par le courant d'hélium sont passés sur un catalyseur d'oxydation qui les a transformés en CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, NxOy. Ces gaz sont passés alors sur un deuxième catalyseur (cuivre réduit) qui a réduit les oxydes d'azote en azote élémentaire, le SO<sub>2</sub>, en SO<sub>3</sub>, et a piégé l'excès d'oxygène. A la sortie du tube, les gaz N<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O ont été trouvés en plus du gaz vecteur hélium. Les produits non dosés ont été piégés. Les gaz obtenus ont été alors séparés sur une colonne de chromatographie et quantifiés par un détecteur à conductibilité thermique (González-Martín *et al.*, 2006). Le signal obtenu est amplifié puis traité par un ordinateur (Alais *et al.*, 1961 ; Thiex *et al.*, 2002).

La teneur en protéines est ensuite calculée selon l'expression mathématique (9) :

$$\text{Teneur en proteines (g/100 g)} = \%N \times 6,25 \quad (9)$$



**Figure 26** : Présentation du Dumas en cours d'analyse

### 2.2.5.8. Détermination de la teneur en glucides

La teneur en glucides a été estimée par l'expression mathématique (10) présentée par FAO/OMS/UNU (1985).

$$\text{Glucides}(\%) = 100 - (\text{Protéines}(\%) + \text{Lipides}(\%) + \text{Cendres}(\%) + \text{Humidité}(\%)) \quad (10)$$

### 2.2.5.9. Calcul de la valeur énergétique

La valeur énergétique (kilocalories/100 g de MS) a été calculée par rapport à la matière sèche (MS), en utilisant les coefficients d'Atwater & Benedict (1902) cité par Angaman et al., (2021).

$$VE(\text{kcal}/100 \text{ g}) = 4 \times \text{Glucides}(\%) + 9 \times \text{Lipides}(\%) + 4 \times \text{Protéines}(\%) \quad (11)$$

### 2.2.5.10. Détermination de la teneur en acide ascorbique

La teneur en vitamine C a été déterminée selon le dosage colorimétrique directe à l'iode de Kolthoff et Sandell (1936). Cinq (05) g d'échantillon ont été pesés dans un tube de 50 mL puis additionnés de 20 mL d'eau distillée. L'ensemble a été centrifugé puis 5 mL du surnageant ont été prélevés dans un erlenmeyer, additionnés de 5 mL d'une solution de diode à  $5.10^{-3}$  N. Après agitation, cette solution, en présence d'empois d'amidon a été titré par du thiosulfate de sodium à  $5.10^{-3}$  N jusqu'à l'équivalence.

La masse de vitamine C dans cette solution a été calculée en tenant compte des coefficients stœchiométriques selon la formule (12) :

$$m = (C_{I2}V_{I2} - \frac{1}{2}C_{th}V_E)M \quad (12)$$

m : Masse de vitamine C contenue dans 5 mL de solution ;  $C_{I2}$  : Concentration de diode utilisé ;  $V_{I2}$  : Volume de diode ajouté dans la solution ;  $C_{th}$  : Concentration de thiosulfate de sodium utilisé ;  $V_E$  : Volume de thiosulfate de sodium versé ; M : Masse molaire de vitamine C.

### 2.2.5.11. Détermination des minéraux des insectes collectés

La composition minérale de l'échantillon a été analysée en digérant 500 mg d'échantillon avec 5 mL d'eau régale (acide chlorhydrique et acide nitrique 1 :3 v/v). Les teneurs en calcium, cuivre, fer, magnésium, manganèse et zinc ont été estimées à l'aide du spectrophotomètre d'absorption atomique Perkin Elmer AAS800 (Perkin Elmer, USA). Les teneurs en potassium et sodium ont été estimées à l'aide du spectrophotomètre à émission de flamme Perkin Elmer AAS200 (Perkin Elmer, USA). La teneur en phosphore a été estimée à l'aide de phosphomolybdate (Loukou et al., 2011).

### 2.2.6. Evaluation des propriétés fonctionnelles des insectes collectés

#### 2.2.6.1. Capacité d'absorption en eau

L'absorption d'eau des farines d'insectes a été mesurée par la méthode de centrifugation de Sosulski (1962). Une quantité d'un (1) gramme de farine a été pesée par échantillon et introduite dans un tube à centrifugeuse. Les tubes contenant les farines ont été pesés et les masses notées (me). Ensuite, une quantité de 10 mL d'eau a été ajoutée dans chaque tube et le tout a été agité pendant 30 min. Enfin, la centrifugation a été faite pendant 25 min à 3000 rpm. Le surnageant de chaque tube est versé et les nouvelles masses notées (me'). La capacité d'absorption d'eau (CAE) pour chaque échantillon a été déterminée selon l'expression mathématique (13) :

$$CAE (\%) = (me' - me) \times 100 / PE \quad (13)$$

PE : prise d'essai (g) ; me : Masse tube + échantillon avant ajout d'eau (g) ; me' : Masse tube + échantillon après centrifugation et extraction de surnageant (g).

#### 2.2.6.2. Capacité d'absorption en huile (CAH)

La capacité d'absorption en huile a été évaluée selon la méthode de Lin *et al.* (1974). Pour chaque échantillon, une quantité de 0,5 g de farine a été pesée et introduite dans un tube à

## Matériel et Méthodes

---

centrifugeuse. Trois (3) essais, pour chaque type de farine, ont été réalisés. Les tubes contenant les farines ont été pesés et les masses notées ( $me$ ). Ensuite, une quantité de 6 mL d'huile de tournesol a été ajoutée dans chaque tube et le tout a été agité pendant 30 min. Enfin, la centrifugation a été faite pendant 25 minutes à 5000 rpm. Le surnageant de chaque tube a été rejeté. Les tubes ont été séchés à l'étuve (à 50 °C) pendant 30 min et les nouvelles masses sont notées ( $me''$ ). La capacité d'absorption en huile (CAH) pour chaque échantillon a été déterminée selon la formule (14) :

$$CAH (\%) = (me'' - me) \times 100 / PE \quad (14)$$

PE : prise d'essai (g) ;  $me$  : Masse tube + échantillon avant ajout d'huile (g) ;  $me'$  : Masse tube + échantillon après centrifugation et extraction de surnageant (g).

### 2.2.6.3. Activité émulsifiante (AE) et stabilité des émulsions (SE)

AE et SE ont été déterminés par la méthode de Lin *et al.* (1974). Une quantité d'un (1) gramme de farine a été pesée par échantillon et introduite dans un tube à centrifugeuse. Les tubes contenant les farines ont été pesés. Ensuite, ont été ajoutés successivement dans chaque tube, 3 mL d'huile et 3 mL d'eau distillé. Pendant 30 min, les différents tubes ont été agités à la main. Enfin, la centrifugation a été faite pendant 25 min à 5000 rpm. Les tubes ont été retirées et les hauteurs (hauteur totale et hauteur d'eau) ont été mesurées. L'activité émulsifiante (AE) a été calculée selon l'expression mathématique (15) :

$$AE (\%) = (He/Ht) \times 100 \quad (15)$$

He : Hauteur de l'eau ; Ht : Hauteur totale.

Pour la détermination de la stabilité des émulsions (SE), les tubes à centrifugeuse ont été conduits au bain-marie bouillant à 100 °C pendant 30 minutes. Au terme de cette période, les tubes sont retirés et les nouvelles hauteurs de l'eau ont été notées ( $He'$ ). La stabilité a été calculée selon la formule (16) :

$$SE (\%) = (He'/He) \times 100 \quad (16)$$

He : Hauteur de l'eau ;  $He'$  : Nouvelle hauteur de l'eau.

### 2.2.6.4. Pouvoir moussant (PM) et stabilité de la mousse (SM)

Le pouvoir et la stabilité de mousse ont été déterminés par la méthode de Lin *et al.* (1974). Une quantité de trois (3) grammes de farine a été pesée par échantillon et introduite dans un bécher.

## Matériel et Méthodes

---

Ensuite, 100 mL d'eau distillée y ont été ajoutés et le tout a été agité pendant 15 min. La solution obtenue a été filtrée à l'aide d'un papier filtre. Après avoir quantifié le filtrat, le liquide a été agité avec la main dans une éprouvette graduée pour faire mousser et la hauteur de la mousse a été notée. Le pouvoir moussant (PM) a été déterminé selon la formule (17) :

$$PM (\%) = ((V2 - V1) / V1) \times 100 \quad (17)$$

V1 : Volume du filtrat avant moussage ; V2 : Volume du filtrat après moussage.

Après avoir agité les éprouvettes contenant les différentes solutions, les éprouvettes ont été abandonnées à température ambiante (30°C) pendant 30 min et une nouvelle lecture du niveau de la mousse a été faite. La stabilité de la mousse (SM) a été déterminée selon la formule (18) :

$$SM (\%) = (Vf / (V2 - V1)) \times 100 \quad (18)$$

Vf : Volume final de la mousse après repos de 30 minutes ; V1 : Volume du filtrat avant moussage ; V2 : Volume du filtrat après moussage.

### 2.2.7. Détermination des risques liés à la consommation des insectes comestibles

#### 2.2.7.1. Dosage des facteurs antinutritionnels

La détermination des facteurs antinutritionnels a été réalisée sur les espèces *Macrotermes subhyalinus*, *Rhynchophorus phoenicis*, *Oryctes owariensis*, *Nudaurelia dione* et *Zonocerus variegatus*.

##### 2.2.7.1.1. Quantification de l'acide phytique ou phytate

La méthode utilisée pour la détection de l'acide phytique est basée sur celle décrite par Latta & Eskin (1980) et modifiée par Gao *et al.* (2007). Ce dernier a proposé un nouveau test de l'acide phytique reproductible et efficace dont le principe est basé sur la décoloration du complexe rose Fe (III)–sulfosalicylate (Réactif de Wade) par l'acide phytique (PA) en raison de la formation d'un précipité Fe-phytate. D'abord, une courbe d'étalonnage a été construite à l'aide d'une série de 6 dilutions du sel sodium-acide phytique (Na-PA) avec des concentrations allant de 0 à 80 µg/mL. Ensuite, 500 mg d'échantillons ont été pesés dans un tube Falcon de 14 mL et 10 mL d'une solution de HCl 2,4 % ont été ajoutés. Après cette étape, les tubes ont été agités pendant 16 heures à 220 tours/min puis centrifugés à 1000 x g pendant 20 min à 10 °C. Les extraits bruts ont été collectés dans de nouveaux tubes Falcon de 14 mL contenant 1g de NaCl. Après

## Matériel et Méthodes

---

agitation à 350 tours/min pendant 20 min la suspension a été laissée au repos durant 60 min dans un réfrigérateur à 4 °C. Le surnageant a été ensuite récupéré par centrifugation à 1000 x g pendant 20 min à 10 °C. Un (1) millilitre du surnageant clair a été transféré dans un tube Falcon de 50 mL et dilué 25 fois en ajoutant 24 mL de l'eau deux fois distillée (ddH<sub>2</sub>O). Par la suite, 3 mL de l'échantillon dilué ont été introduits dans un nouveau tube Falcon de 14 mL et combiné avec 1 mL du Réactif de Wade. Cette solution a été passée au vortex et centrifugée à nouveau à 1000 x g pendant 10 min à 10 °C avant la lecture de l'absorbance à 500 nm à l'aide d'un spectrophotomètre (Shimadzu UV-1800). Le blanc a été réalisé en suivant toute la procédure sans ajouter d'échantillon.

### 2.2.7.1.2. Détermination de la teneur en oxalate

La teneur en oxalate a été déterminée selon la méthode décrite par Day & Underwood (1986). Un gramme d'échantillon a été pesé et 75 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,1 N) ont été ajoutés. Le contenu du mélange a été agité pendant 1 h à l'aide d'un agitateur mécanique. Ensuite, la solution a été filtrée avec du papier filtre Whatman et 25 mL du filtrat ont été titrés avec 0,1 N de KMnO<sub>4</sub> à chaud (80–90 °C) jusqu'à ce qu'une coloration violette soit observée au point final. La valeur du titre a ensuite été multipliée par 0,9004 pour donner le résultat exprimé en mg/g. Le calcul de la teneur en oxalate a été effectué comme indiqué dans l'équation (19) :

$$\text{Oxalate (mg/100 g)} = \text{valeur du titre} \times 0,9004 \quad (19)$$

0,9004 : Coefficient de conversion en mg/100 g MS (Day & Underwood (1986))

### 2.2.7.1.3. Dosage des tanins

Les tanins totaux des échantillons ont été dosés selon la méthode Folin-Denis (Polshettiwar *et al.*, 2007). Cette méthode colorimétrique estime la teneur en tanins en fonction de la mesure de la couleur bleue formée par la réduction de l'acide molybdique phosphotungstique (H<sub>3</sub>Mo<sub>12</sub>O<sub>40</sub>P) par des composés de type tanin en milieu alcalin. Pour ce faire, le réactif de Folin-Ciocalteu a été préparé en mélangeant l'acide phosphotungstique (H<sub>3</sub>PW<sub>12</sub>O<sub>40</sub>) et l'acide phosphomolybdique (H<sub>3</sub>PMo<sub>12</sub>O<sub>40</sub>) dans une fiole conique. Cette solution a été recouverte d'une feuille d'aluminium puis bouillie pendant 2 heures. Après refroidissement à la température ambiante, la solution a été transférée dans une fiole jaugée de 1 L et le volume a été ajusté à l'eau distillée. Ensuite, cette solution a été filtrée à l'aide d'une seringue de 0,45 µm puis stockée dans une bouteille brune. A cette étape, les solutions standards de modélisation de la courbe ont été préparées à partir d'une série de 7 dilutions d'acide tannique (0-6 µg/mL) dans

## Matériel et Méthodes

---

l'eau distillée à l'aide d'un stock de solution de 0,05 mg/mL. Aussi 0,2 g d'échantillon a été mis en suspension dans 5 mL de solution, dans un tube à essai en plastique. Les tubes ont été secoués pendant 40 min et la suspension a été filtrée à l'aide du papier Whatman. Un millilitre du filtrat est ajouté à 2,5 mL du réactif de Folin-Ciocalteu, puis le volume total a été complété à 50 mL avec de l'eau Milli-Q. Les solutions ont été incubées pendant 30 min à température ambiante et l'absorbance a été lue à 700 nm à l'aide d'un spectrophotomètre. La teneur en tanins dans les échantillons a été exprimée en équivalent d'acide tannique par gramme de MS. Chaque échantillon a été analysé en triple et la moyenne et l'écart-type ont été calculés.

### **2.2.7.2. Identification d'allergènes de quelques espèces comestibles**

Tout comme les facteurs antinutritionnels, l'identification des allergènes a été réalisée sur les espèces *Rhynchophorus phoenicis*, *Oryctes owariensis*, *Zonocerus variegatus*, *Nudaurelia dione* et *Macrotermes subhyalinus*.

#### **2.2.7.2.1. Purification de l'arginine kinase et l'alpha amylase**

La poudre des insectes lyophilisés (3 g) a été remise en suspension dans 50 mL de Tris-HCl 50 mM ; DTT 0,2 mM ; PMSF 1 mM avec cocktail d'inhibiteur de protéase (Promega). Après une nuit d'agitation à 4 °C, l'échantillon a été centrifugé pendant 20 min à 12 000 x g et à 4 °C et le surnageant a été collecté pour une précipitation supplémentaire au sulfate d'ammonium sur la base d'une procédure en trois étapes 30 %, 70 % et 90 % de (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Pour chaque concentration, une heure d'agitation à 4 °C a été suivie d'une centrifugation de 20 min à 12 000 x g. Ensuite, le culot de protéines a été collecté et la quantité correspondante de (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a été ajoutée. La phase de 30 à 70 % a servi pour la détermination de l' $\alpha$ -amylase et celle de 70-90 % pour l'arginine kinase. Chaque culot a été remis en suspension dans du tampon Tris-HCl 20 mM à pH 8,0 et dialysé pendant une nuit dans 50 fois le volume (Figure 27A). Chaque échantillon a ensuite été filtré avec du papier Whatman à 0,45  $\mu$ m. Une chromatographie d'échange d'ions Q Sepharose FF a été utilisée sur un système Akta (GE) en utilisant la fraction dialysée de l'étape précédente (Figure 27B). Après lavage et équilibrage avec du tampon Tris-HCl 20 mM pH 8,0, 10 mM 2-ME, 0,1 mM EDTA, l'échantillon de protéine a été chargé et un gradient continu de 0 à 1 M NaCl a été appliqué à un débit de 1 mL/min pour collecter des fractions de 1 mL qui seront utilisées pour la suite des analyses.



**Figure 27** : Dispositif de dialyse (A) et appareil de chromatographie Akta sur colonne (B)

### 2.2.7.2.2. Description des sérums utilisés

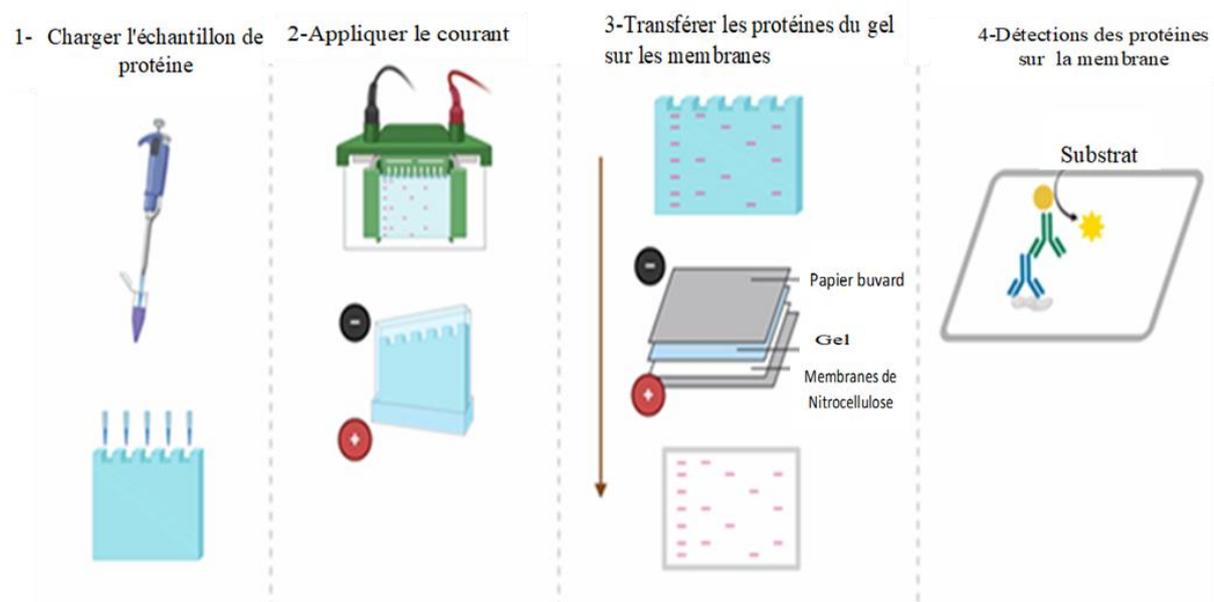
Les sérums utilisés dans cette étude ont été collectés auprès du personnel du laboratoire d'entomologie de Gembloux Agro-Bio Tech - Université de Liège (Belgique) après accord des volontaires. Trente et une personnes âgées de 23 à 51 ans, selon leurs disponibilités ont contribué à donner leurs sérums. Tous ont été continuellement (plusieurs jours par semaine) en contact direct avec différents types d'insectes au cours de leur élevage. Ils ont été soumis à un test quantitatif d'immunoglobuline-E (IgE) sérique et cutané avec des allergènes d'insectes comestibles. Les sérums utilisés sont ceux des patients présentant des réponses positives à des tests d'allergénicité (Tableau VIII). L'autorisation d'utilisation du sérum a été approuvée par le conseil institutionnel du Centre Hospitalier Universitaire Brugman à Bruxelles (Belgique). Chaque sérum a été utilisé individuellement pour des tests immunologiques.

**Tableau VIII** : Caractéristiques des sérums aux réponses positives utilisées pour le test de western blot

N° Sérum	IgE	Sexe	Age
5	67,2	F	36
9	56,6	M	31
15	478	M	46
23	17	F	37
39	83	M	51
27	34,7	M	-
40	369	M	46
42	328	F	-

### 2.2.7.2.3. SDS-PAGE et western blot

Pour le SDS-PAGE analytique, les échantillons (5  $\mu$ g) ont été dilués à 1:2 (v:v) avec un solubilisant (1 % SDS ; 0,02 % bromophénol ; 1 %  $\beta$ -mercaptoéthanol dans le tampon d'échantillon Laemmli) et bouillis pendant 10 min avant électrophorèse. Les protéines et les standards de poids moléculaire ont été chargés dans un gel d'empilement (3,5 % d'acrylamide, 0,5 M Tris-HCl pH 6,8). Les protéines ont été dissociées dans un gel de séparation (12,5 % d'acrylamide ; 0,01 % de SDS ; 1,5 M de Tris-HCl pH 8,8). L'électrophorèse a été réalisée dans du tampon de migration Laemmli (0,2 M-glycine ; 0,1 % SDS ; 0,025 M Tris, pH 8.3), à 100 V et 50 mA pendant 2 h dans un système de gel S-lab (BioRad). Le kit de marqueurs LMW-SDS (GE Healthcare) a été utilisé pour les étalons de poids moléculaire. Les gels ont été directement colorés avec du bleu de sylvet ou utilisés pour un autre western blot (Figure 28) sur un système de transfert Trans-Blot® Turbo™ (Biorad) pendant 10 min en utilisant une membrane de nitrocellulose.



**Figure 28** : Principe de western blot appliqué

Après avoir lavé les membranes trois fois avec de l'eau distillée, une étape de blocage de 2 heures à température ambiante (19 °C) a été appliquée sous agitation avec une solution de PVP 2 %, Tween 0,1 %, TBS (0,15 M NaCl, 0,05 M Tris HCl pH 7,6). Ensuite, une incubation d'une nuit à 4 °C au réfrigérateur a été réalisée avec l'anticorps primaire d'un patient individuel (le facteur de dilution de 1/10 fut préalablement appliqué sur le sérum). Après, 3 fois 5 min de lavage avec du tampon TBS Tween 0,1 %, la membrane a été incubée dans des bacs

## Matériel et Méthodes

---

d'incubations compartimentés pour western blot avec un anticorps (chèvre anti-IgE humaine HRP, KPL à la dilution 1/2000) pendant 2 h à température ambiante (19°C). Une fois de plus, 3 lavages de 5 min avec du tampon TBS ont été appliqués et une révélation de 5 min avec la solution de révélation a été faite en vue de l'observation par lecture en immunofluorescence à partir d'un lecteur (BioRad).

### **2.2.7.2.4. Identification des protéines**

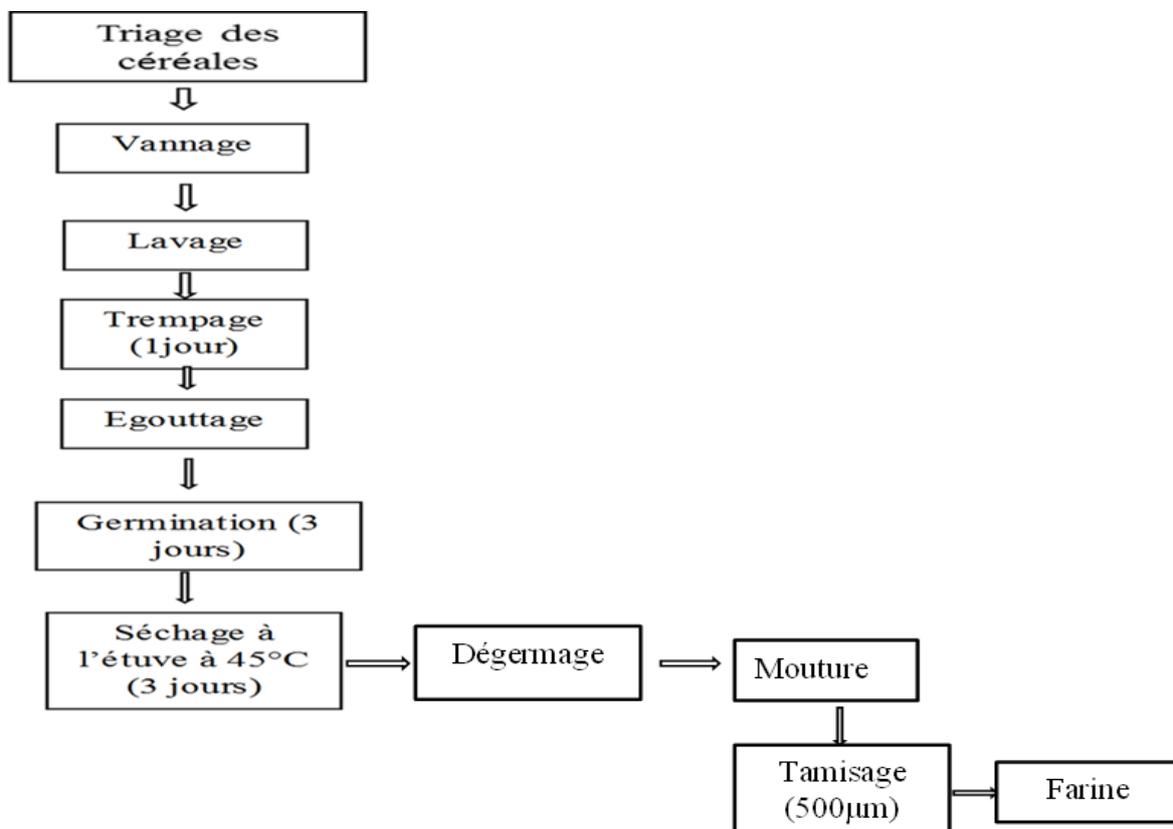
Les taches excisées des bandes de gel 1D ont été désignées pour le digesteur automatisé Proteiner dp (Bruker, Brême, Allemagne). Brièvement, les morceaux de gel ont été lavés avec trois incubations dans 100 % de bicarbonate d'ammonium 50 mM, suivies d'incubations dans un mélange 1:1 d'acétonitrile (ACN) et de bicarbonate d'ammonium 50 mM. Deux lavages supplémentaires ont été effectués avec de l'acétonitrile à 100 % pour déshydrater le gel. Les morceaux de gel ont d'abord été trempés dans de la trypsine fraîchement activée (Porcine, Proteomics Grade, Roche) à 8 °C pendant 30 min, puis soumis à une trypsinisation des protéines pendant 3 h à 30 °C. Les extractions peptidiques ont été réalisées avec 10 µL d'acide formique à 1 % (AF) pendant 30 min à 20 °C. Les produits de digestion des protéines (3 µL) ont été adsorbés pendant 3 min sur des puces d'ancrage pré-tachées (R) à l'aide de l'automate Proteiner dp. Les taches ont été lavées sur la cible en utilisant 10 mM de dihydrogénophosphate d'ammonium dans 0,1 % d'acide trifluoroacétique (TFA) et dessalé après lavage à l'eau Milli-Q (Millipore). Les spectres à haut débit ont été acquis à l'aide d'un spectromètre de masse Ultraflex II MALDI (Bruker) en mode réflectron positif avec un étalonnage rapproché activé. Les spectres réussis ont été additionnés, traités et désisotopés conformément à un système automatisé incluant l'algorithme SNAP utilisant le logiciel Flex Analysis 2.4 (Bruker), puis soumis en mode batch à la suite logicielle Biotools 3.0 (Bruker) avec un moteur de recherche MASCOT hébergé en interne ([www.MatrixScience.com](http://www.MatrixScience.com)). La base de données du centre national public de non redondance d'information biotechnologique (NCBI) a été utilisée. Une tolérance de masse de 100 ppm avec un étalonnage serré et un site de clivage manquant ont été autorisés. L'oxydation partielle des résidus méthionine et la carbamylation complète des résidus cystéine ont été considérées. Le score de probabilité calculé par le logiciel a été utilisé comme critère pour une identification putative correcte.

### 2.2.8. Enrichissement et caractérisation des farines enrichies avec *Rhynchophorus phoenicis* et *Oryctes owariensis*

L'enrichissement a été réalisé sur les Coléoptères (*Rhynchophorus phoenicis* et *Oryctes owariensis*) en raison de leur disponibilité au moment de la réalisation de cette tâche d'une part et d'autre part, pour leurs caractéristiques nutritives intéressantes après l'espèce *Macrotermes subhyalinus*.

#### 2.2.8.1. Production des farines des céréales impliquées dans l'étude

Les farines de maïs et de mil germés ont été élaborées suivant un diagramme (Figure 29). Une quantité d'1 kg de grains de chaque céréale est triée, lavée et trempée dans l'eau pendant une nuit. Après cette étape, les grains ont été sortis de l'eau, égouttés et mis à germer sur un support de tissu blanc de coton humide. Le support a été placé à l'abri du soleil et a été régulièrement arrosé. La germination a duré 3 jours pour chacune des deux céréales. Les grains germés ont été ensuite séchés pendant 3 jours à 45 °C à l'étuve. Après séchage, les grains ont été dégermés à la main et broyés au mixeur. Les différentes farines ont été tamisées avec un tamis de mailles 500µm et conservées dans des bocaux hermétiquement fermés.



**Figure 29** : Diagramme de production des différentes farines brutes de maïs et de mil (Boko, 2021)

### 2.2.8.2. Production des broyats d'insectes comestibles

Les espèces d'insectes (*O. owariensis* et *R. phoenicis*) capturées ont été nettoyées par rinçage à l'eau distillée, égouttées, puis placées à froid à -80 °C pendant 48 h. Par la suite, les échantillons ont été lyophilisés pendant 5 jours selon la méthode de Barroso *et al.* (2014). Une fois l'étape de lyophilisation terminée, chaque échantillon est ensuite broyé à l'aide d'un mixeur (NASCO, model : BL1008AK-CB) pendant 5 minutes à vitesse maximale afin d'obtenir une texture homogène capable de traverser un tamis dont les mailles font 1 mm de diamètre (Paul *et al.*, 2017). Ces farines obtenues sont de nouveau conservées à une température ambiante (25-30 °C) pour l'enrichissement.

### 2.2.8.3. Préparation de farines composées de maïs et broyats d'insectes

Les différentes farines composées de maïs incorporées de broyats des différentes espèces d'insectes ont été formulées dans les proportions illustrées par les tableaux IX et X. Les codes MaRh20, MaRh22,5 et MaRh25 désignent les farines composées tests de maïs avec respectivement 20 %, 22,5 % et 25 % d'incorporation de broyat de *Rhynchophorus phoenicis*. De la même manière que précédemment les codes MaOr20, MaOr22,5 et MaOr25 désignent les farines composées tests de maïs avec respectivement 20 %, 22,5 % et 25 % d'incorporation de broyat de *Oryctes owariensis*.

**Tableau IX** : Enrichissement de farines composées de maïs incorporées de broyat de *R. phoenicis*

Ingrédients	MaRh20	MaRh22,5	MaRh25
Farine de maïs germé	80	77,5	75
Broyat de <i>R. phoenicis</i>	20	22,5	25

MaRh 20 : Farine de maïs germé (80 %) + broyat de *Rhynchophorus phoenicis* (20 %)

MaRh 22,5 : Farine de maïs germé (77,5 %) + broyat de *Rhynchophorus phoenicis* (22,5 %)

MaRh 25 : Farine de maïs germé (75 %) + broyat de *Rhynchophorus phoenicis* (25 %)

## Matériel et Méthodes

**Tableau X** : Enrichissement de farines composées de maïs incorporées de broyat de *O. owariensis*

Ingrédients	MaOr20	MaOr22,5	MaOr25
Farine de maïs germé	80	77,5	75
Broyat de <i>O. owariensis</i>	20	22,5	25

MaOr20 : Farine de maïs germé (80 %) + broyat de *Oryctes owariensis* (20 %)

MaOr22,5 : Farine de maïs germé (77,5 %) + broyat de *Oryctes owariensis* (22,5 %)

MaOr25 : Farine de maïs germé (75 %) + broyat de *Oryctes owariensis* (25 %)

### 2.2.8.4. Préparation des farines de mil incorporées des différents broyats d'insectes

Les farines composées de mil incorporées de broyats des différentes espèces d'insectes ont été formulées avec les mêmes proportions que celles du maïs comme l'indique les tableaux XI et XII. Ici, les codes MiRh20, MiRh22,5 et MiRh25 désignent les farines composées tests de mil avec respectivement 20 % ; 22,5 % et 25 % d'incorporation de broyat de *Rhynchophorus phoenicis*. Parallèlement, les codes MiOr20, MiOr22,5 et MiOr25 représentent les farines composées tests de mil avec respectivement 20 %, 22,5 % et 25 % d'incorporation de broyat de *Oryctes owariensis*.

**Tableau XI** : Enrichissement de farines composées de mil incorporées de broyat de *R. phoenicis*

Ingrédients	MiRh20	MiRh22,5	MiRh25
Farine de mil germé	80	77,5	75
Broyat de <i>R. phoenicis</i>	20	22,5	25

MiRh 20 : Farine de mil germé (80 %) + broyat de *Rhynchophorus phoenicis* (20 %)

MiRh 22,5 : Farine de mil germé (77,5 %) + broyat de *Rhynchophorus phoenicis* (22,5 %)

MiRh 25 : Farine de mil germé (75 %) + broyat de *Rhynchophorus phoenicis* (25 %)

**Tableau XII** : Enrichissement de farines composées de mil incorporées de broyat de *O. owariensis*

Ingrédients	MiOr20	MiOr22,5	MiOr25
Farine de mil germé	80	77,5	75
Broyat d' <i>O. owariensis</i>	20	22,5	25

MiOr 20 : Farine de mil germé (80 %) + broyat de *Oryctes owariensis* (20 %)

MiOr 22,5 : Farine de mil germé (77,5 %) + broyat de *Oryctes owariensis* (22,5 %)

MiOr 25 : Farine de mil germé (75 %) + broyat de *Oryctes owariensis* (25 %)

### **2.2.8.5. Détermination des propriétés physico-chimiques et fonctionnelles des farines composées**

Les caractéristiques physico-chimiques et fonctionnelles des farines ont été déterminées selon les méthodes précédemment décrites dans les sections 2.2.5. et 2.2.6. Pour les propriétés physico-chimiques, les paramètres étudiés sont le pH, l'humidité, l'acidité titrable, les lipides, les protéines, la vitamine C, le degré Brix, les cendres, la matière sèche, les glucides et la valeur énergétique. En ce qui concerne les propriétés fonctionnelles, les paramètres sont les capacités d'absorption en eau et en huile, l'activité émulsifiante et la stabilité de l'émulsion.

### **2.2.8.6. Analyses microbiologiques des farines formulées**

#### **2.2.8.6.1. Préparation de la solution mère et des dilutions décimales**

##### **2.2.8.6.1.1. Préparation de la solution mère**

La solution mère a été obtenue en diluant une quantité de 10 g de farine dans 90 mL d'eau peptonée tamponnée stérile (EPT) dans un sachet Stomacher. Le mélange a été homogénéisé pour obtenir la solution  $10^{-1}$  constituant la solution mère (SM). Cette solution a été laissée au repos pendant 30 à 45 min, afin de permettre une revivification des microorganismes à la température ambiante. A partir de cette suspension une série de dilutions décimales a été ensuite réalisée.

##### **2.2.8.6.1.2. Dilution décimale**

Elle a été obtenue en mélangeant un volume déterminé de la suspension mère avec un volume 9 fois égale de diluant. Cette opération a été répétée sur chaque dilution ainsi préparée, jusqu'à l'obtention d'une gamme de dilution décimale appropriée pour l'inoculation des milieux de culture. A l'aide d'une pipette stérile, 1 mL de la suspension mère a été introduit dans un tube à essai contenant 9 mL de diluant (EPT) pour obtenir la dilution  $10^{-2}$ . Le mélange a été réalisé grâce à un agitateur de type vortex durant 5 à 10 s. Les opérations ont été répétées sur la dilution  $10^{-2}$  et les dilutions décimales suivantes, afin d'obtenir les dilutions  $10^{-3}$  et  $10^{-4}$ .

## Matériel et Méthodes

### 2.2.8.6.1.3. Préparation des milieux de culture

Les différents milieux de cultures pour les différentes analyses ont été préparés selon les prescriptions des fabricants. Les détails de la préparation des milieux sont présentés dans le tableau XIII.

**Tableau XIII** : Méthodes de préparation des différents milieux de culture

Milieux de culture	Types de stérilisation	Quantité à prélever	Germes et autres usages
<b>VRBL</b>	Non autoclavable	40 g/L d'eau distillée	Coliformes totaux
<b>VRBG</b>	Non autoclavable	40 g/L d'eau distillée	Entérobactéries
<b>PCA</b>	Autoclavable à 120 °C pendant 15 min	23 g/L	Germes Aérobie Mésophiles
<b>Hektoen</b>			Salmonelles
<b>Sabouraud+</b> <b>Chloramphénicol</b>	Autoclavable à 120 °C pendant 15 min	65 g/L d'eau distillée	Moisissures et levures
<b>EPT</b>	Autoclavable à 120 °C pendant 15 min	15 g/L d'eau distillée	Solution mère

### 2.2.8.6.2. Recherche de microorganismes

#### 2.2.8.6.2.1. Entérobactéries

Le dénombrement des entérobactéries a été réalisé sur la gélose Violet Rouge neutre Bile Glucose (VRBG) selon la norme ISO 21528-2 : 2004. L'ensemencement a été effectué en profondeur en coulant environ 20 mL de gélose VRBG refroidie à 50 °C dans une boîte de Pétri contenant 1 mL de l'inoculum. Les boîtes ont été incubées à l'étuve à 37 °C en position retournée pendant 24 h.

#### 2.2.8.6.2.2. Germes Aérobie Mésophiles

Les germes aérobies mésophiles (GAM) ont été cultivés par la technique de double couche sur le milieu gélosé PCA (Plat Count Agar) en référence à la norme AFNOR NF V08-051. Un (1) mL de l'inoculum a été coulé dans les boîtes de Pétri. Cet inoculum a été recouvert d'une couche de 12-15 mL de la gélose PCA (40-45 °C), et le mélange a été homogénéisé par des mouvements

## Matériel et Méthodes

---

circulaires lents. Après solidification une seconde couche y a été ajoutée pour immobiliser les bactéries afin de former des colonies bien définies. L'incubation a été faite à 30 °C pendant 72 h. Seules les boîtes contenant 30 à 300 colonies ont été considérées dans la lecture et le dénombrement.

### **2.2.8.6.2.3. Coliformes totaux**

La recherche des coliformes totaux a été effectuée sur la gélose Violet Rouge neutre Bile Lactose (VRBL) par la technique d'ensemencement dans la masse en se référant à la norme ISO 4832 : 2006. Dans chaque boîte, environ 20 mL de gélose VRBL refroidie à 50 °C au bain-marie ont été coulés. Après l'homogénéisation (par un mouvement lent et circulaire) et la solidification du milieu, s'en est suivi l'incubation à l'étuve des boîtes à 30 °C en position retournée pendant 24 h. Les colonies caractéristiques qui ont été de couleur rouge ont été dénombrées. Seules les boîtes contenant entre 15 et 150 colonies sont prises en compte pour le dénombrement.

### **2.2.8.6.2.4. Salmonelles**

La recherche et le dénombrement de salmonelles ont été réalisés suivant trois étapes conformément à la norme ISO 6579 : 2000. La première étape a été le pré-enrichissement. Il a consisté à peser 25 g d'échantillon et à l'introduire dans 225 mL d'eau peptonée et incubé à 35-37 °C pendant 24 h. Pour l'enrichissement, 1 mL de la culture (inoculum) a été transféré dans 10 mL de Rappaport Vassiliadis (RV). Le tout a été incubé à 37 °C pendant 24 h. Ensuite, l'inoculum a été ressorti et 0,1 mL a été prélevé et ensemencé sur le milieu Hektoen. Les boîtes ont été incubées à l'étuve à 37 °C pendant 24 h.

### **2.2.8.6.2.5. Levures et moisissures**

Les levures et les moisissures ont été dénombrées avec la technique d'ensemencement en surface sur la gélose Sabouraud + chloramphénicol d'après la norme NF/ISO 16212 : 2011. Environ 20 mL du milieu gélosé Sabouraud + chloramphénicol refroidi à 50 °C au bain marie, ont été coulés dans les mêmes boîtes de Pétri et le tout est homogénéisé par un mouvement lent et circulaire. Après solidification, 0,1 mL de la dilution a été étalé sur le milieu et les boîtes ont été incubées à 25 °C durant 72 h. Les colonies de levures (blanches, crémeuses, transparentes)

et de moisissures (duveteuses, rugueuses) ont été comptées entre 15 et 150 colonies caractéristiques après la période d'incubation.

### 2.2.8.6.3. Calcul de la charge microbienne

Le calcul du nombre de microorganismes par gramme d'échantillon (UFC/g) à partir du nombre de colonies obtenues dans les boîtes de Pétri choisies a été réalisé par l'équation 20 :

$$N = \frac{\sum Ci}{(N_1 + 0,1N_2)d \cdot V} \quad (20)$$

N : Nombre de colonie en UFC/g d'aliment ;  $\sum Ci$  : Somme des colonies caractéristiques comptées sur toutes les boîtes retenues ;  $N_1$  : Nombre de boîtes retenues à la première dilution ;  $N_2$  : Nombre de boîtes retenues à la seconde dilution ; d : Taux de dilution correspondant à la première dilution retenue ; V : Volume de l'inoculum prélevé.

### 2.2.8.7. Evaluation de l'acceptabilité sensorielle des biscuits produits

#### 2.2.8.7.1. Préparation de biscuits

Les biscuits enrichis aux insectes ont été préparés selon la méthode décrite par de Jager (1991) avec une modification minimale. Les farines utilisées ont été choisies après que des essais préliminaires en laboratoire aient révélé une amélioration de la composition nutritionnelle en lipides et protéines. Il s'agit des farines MaRh25, MaOr25, MiRh22, et MiRh25. Les formulations avec les quantités respectives ont été indiquées dans le tableau XIV selon la méthode d'Akullo *et al.* (2017). Les biscuits expérimentaux ont été préparés en substituant 50 % de farine de blé par différentes proportions du mélange de céréales (maïs ou mil) et d'insectes choisi séparément. Environ 3 g de sucre, 1,7 mL d'essence de vanille, 0,8 mL de sel, 20 mL de lait et 0,7 mL de levure chimique ont été mélangés avec la farine (céréale + insecte). En outre, Environ 13 g de beurre ont été ajoutés au mélange et le tout est malaxé pendant deux minutes pour former une pâte ferme. La pâte a été étalée, découpée dans les formes souhaitées et transférée dans le four. Les biscuits ont été cuits à 150 °C dans un four préchauffé pendant 20 min.

## Matériel et Méthodes

**Tableau XIV** : Quantités d'ingrédients pour la formulation des biscuits

Ingrédients	BMiRh22,5	BMiRh25	BMaRh25	BMaOr25
Farine composée (g)	50	50	50	50
Farine blé (g)	50	50	50	50
Sel (g)	0,8	0,8	0,8	0,8
Sucre (g)	3	3	3	3
Arôme (vanille mL)	1,7	1,7	1,7	1,7
Lait (mL)	20	20	20	20
Eau (mL)	16,7	16,7	16,7	16,7
Beurre (g)	13	13	13	13
Levure chimique (g)	0,7	0,7	0,7	0,7

Recette pour 100 g de farine composée + farine de blé ; BMiRh 22,5 : Biscuit composée de Farine mil (77,5 %) et *Rhynchophorus phoenicis* (22,5 %) ; BMiRh25 : Biscuit composée de farine de mil (75 %) et *Rhynchophorus phoenicis* (25 %) ; BMaRh25 : Biscuit composée de farine maïs (75 %) et *Rhynchophorus phoenicis* (25 %) ; BMaOrh25 : Biscuit composée farine de maïs (75 %) et *Oryctes owariensis* (25 %)

### 2.2.8.7.2. Méthode d'évaluation hédoniques des biscuits produits

La méthode appliquée (Larmond, 1991 ; Al-Marazeeq *et al.*, 2017) a utilisé une échelle hédonique en dix points (1 = extrêmement désagréable ; 9 = extrêmement agréable), pour l'évaluation des attributs tels que l'apparence, le goût, l'arrière-goût, la texture, le croquant, l'arôme, la saveur et l'acceptabilité globale. Le panel a été constitué de 65 personnes comprenant des étudiants, des techniciens de laboratoire et des enseignants-chercheurs. Les panélistes étaient des deux sexes (40 femmes et 25 hommes), et d'âges variant de 20 à 45 ans. Ils ont été invités à évaluer chaque échantillon de biscuits séparément sans le comparer avec un autre échantillon. De l'eau minérale a été utilisée pour neutraliser le goût entre les tests d'échantillons. Une fiche de dégustation a été utilisée par les panélistes pour porter les scores (Annexe 4)

### 2.3. Analyse statistique des données

Les données brutes de l'enquête ont été dépouillées avec le logiciel Sphinx Plus<sup>2</sup> V5 et exportées dans le tableur Excel (pack Microsoft office 2016) pour être traitées avec le logiciel statistique R 4.1.0 dans Rstudio (<http://www.rstudio.com> ; <http://www.R-project.org/>) (R développement core team, 2021). Les statistiques inférentielle et descriptive, grâce aux packages questionr, gtsummary, ggplot2 ont permis de générer les tableaux de contingences, les boîtes à moustaches, les camemberts, et les histogrammes afin de ressortir les informations essentielles

## Matériel et Méthodes

---

selon l'objectif initial de la présente étude. En associant les données socio-démographiques et professionnelles des enquêtés, aux différentes données sur l'utilisation des insectes, l'indépendance des variables a été vérifiée par le test de Khi-carré. Aussi, des analyses en composantes principales grâce aux packages FactomineR et factoextra ont-elles été effectuées. Afin de vérifier la significativité des différents traitements de chacune des variables (physico-chimiques, fonctionnelles, matières grasses, acides gras, minéraux, facteurs antinutritionnels, formulations) une analyse de la variance (ANOVA) au seuil de 5 % a été effectuée sur les paramètres considérés. Le modèle ANOVA à un facteur a été validé grâce aux tests de normalité de Shapiro-Wilk et d'homogénéité des résidus de Bartlett. Le test de Welch a permis de comparer les moyennes des différents traitements selon les variables concernées. Le logiciel MATLAB 6.1 avec l'algorithme SOM (Self-Organizing Map) a permis de réaliser des cartes auto-organisatrices pour l'exploration et la visualisation des données sur les minéraux et les farines.

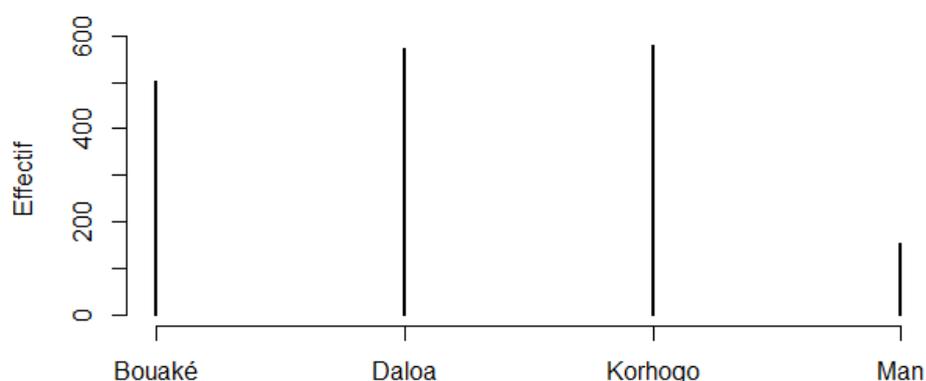
**TROISIEME PARTIE :**  
**RESULTATS ET DISCUSSION**

### 3.1. Résultats

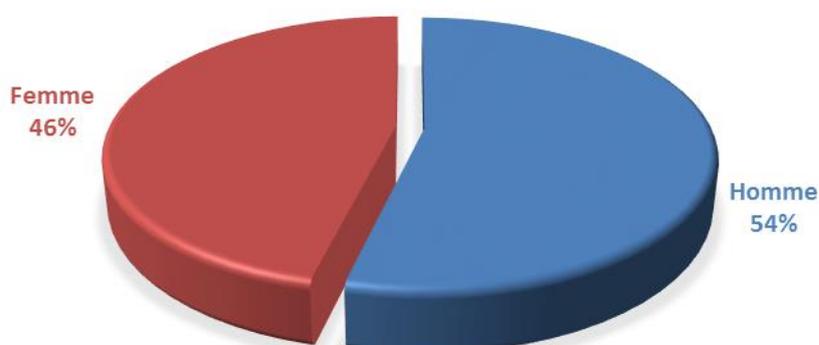
#### 3.1.1. Etat de l'entomophagie dans les villes enquêtées

##### 3.1.1.1. Caractéristiques socio-démographiques des populations enquêtées

Il ressort de l'enquête que le sondage mené a rejoint des répondants de divers groupes socio-démographiques. Au total 1806 personnes ont été interviewées dans 4 villes dont 501 (27,7 %) à Bouaké, 576 (32,1 %) à Korhogo, 574 (31,8 %) à Daloa et 152 (8,4 %) à Man (Figure 30). L'ensemble de la population enquêtée était constitué de 46,2 % de femmes et 53,8 % d'hommes (Figure 31).



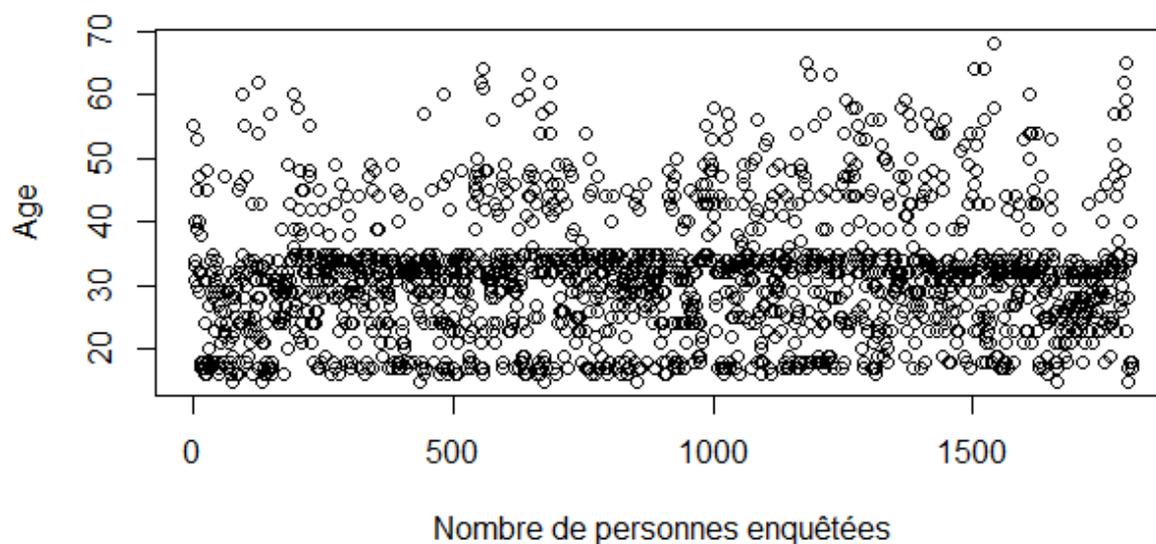
**Figure 30** : Nombre de personnes enquêtées par ville



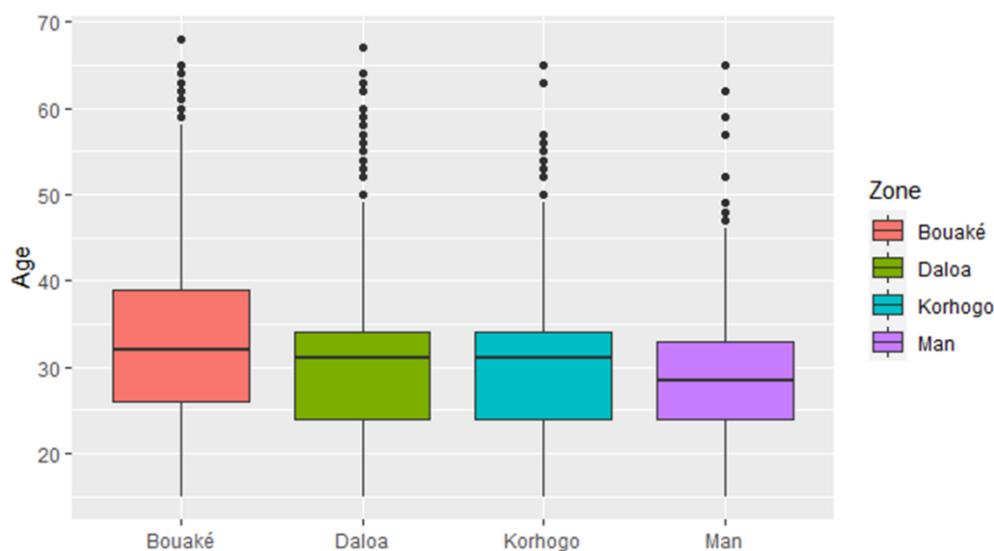
**Figure 31** : Population enquêtée selon le sexe

Aussi, l'observation de la répartition des âges des répondants montre-t-elle que la majorité des répondants est comprise dans la tranche d'âge de [19-35 ans], soit 67 % (Figure 32). Cette répartition a été aussi observée au niveau de la distribution des âges en fonction des villes enquêtées (Figure 33). Toutefois, le pourcentage restant est reparti entre les autres classes, soit 15 % pour [36-50 ans] ; 13 % pour moins de 18 ans et 4,6 % pour 50 ans et plus.

## Résultats et Discussion



**Figure 32 :** Distribution de l'âge des personnes enquêtées



**Figure 33 :** Distribution de l'âge des personnes enquêtées en fonction des villes (Bouaké, Daloa, Korhogo, Man)

Pour ce qui est de la situation professionnelle, une frange importante des répondants est représentée par les élèves et étudiants (49 %) (Figure 34). Les autres parts sont constituées de commerçants (16 %) et de sans-emplois (10 %). Dans un même temps, le niveau d'éducation enregistré est subdivisé en 4 groupes dont 14 % d'analphabètes, 15 % avec un niveau d'étude primaire, 35 % avec un niveau secondaire et 36 % avec un niveau supérieur (Figure 35). En ce qui concerne les groupes ethniques, les secteurs majoritairement observés étaient respectivement de 35 % d'Akans, 34 % de Mandés et 20 % de Voltaïques. Le pourcentage restant est affilié aux Krous (10 %) et Etrangers (1 %) (Figure 36).

## Résultats et Discussion

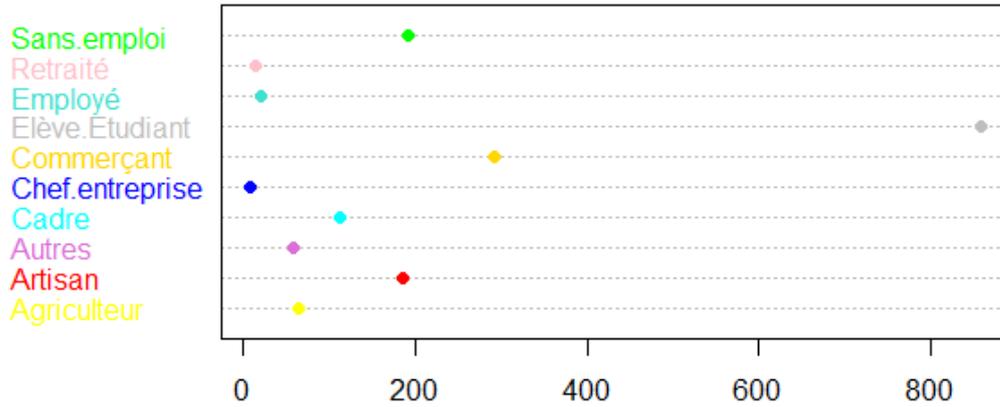


Figure 34 : Diagramme de Cleveland de la profession ou activité des personnes enquêtées

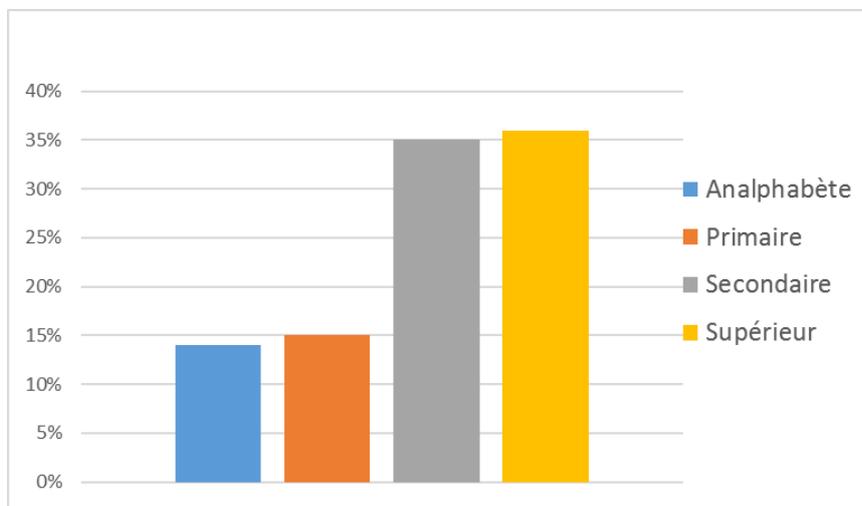


Figure 35 : Histogramme du niveau d'éducation des personnes enquêtées

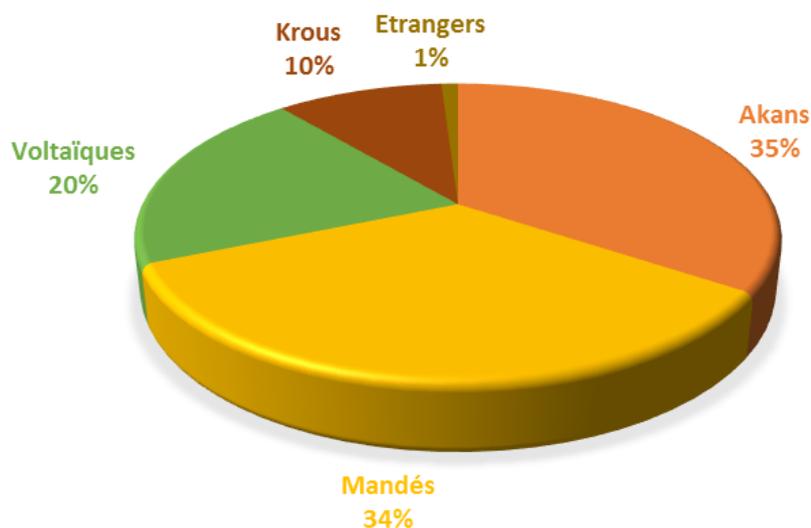


Figure 36 : Diagramme en secteur des groupes ethniques représentés au cours de l'enquête sur l'entomophagie

## Résultats et Discussion

---

### 3.1.1.2. Connaissance de l'entomophagie par la population dans les villes enquêtées

La réalisation de tableaux croisés dynamiques à l'aide des données du sondage à partir du logiciel R version 4.1.0 a permis de mettre en relief certaines caractéristiques : la connaissance en fonction du sexe, de la zone, du niveau d'étude et de la classe d'âge (Tableau XV). Ainsi l'exploration générale des données indique que les 79,12 % des enquêtés connaissent les insectes comestibles contre 20,88 % qui en témoignent le contraire. L'analyse du tableau de contingence de tri croisé présente une différence significative du taux de connaissance de l'entomophagie en fonction des villes ( $\text{Khi}^2 = 47,964$  ;  $\text{df} = 3$  ;  $\text{p-value} = 2,167.10^{-10}$ ). La population enquêtée à Bouaké a une connaissance plus élevée de l'entomophagie avec un taux de 85,2 % contre 83,9 % à Korhogo. Pour ces deux villes les résidus de  $\text{khi}^2$  des personnes connaissant les insectes sont supérieurs à 2 donc les effectifs sont plus élevés que ceux attendus d'où la surreprésentation de ces cases (bleu). Quant à Daloa et Man les proportions des personnes ne connaissant pas les insectes sont surreprésentées par rapport à celles attendues. Également, la connaissance des insectes était liée à la classe d'âge ( $\text{khi}^2 = 9,6156$  ;  $\text{df} = 3$  ;  $\text{p-value} = 0,02213$ ). Les informations recueillies avec la tranche d'âge de 18 ans et moins ont montré une différence significative par rapport aux autres classes d'âge. En effet, le résidu de  $\text{khi}^2$  est surreprésenté chez ceux qui ne connaissent pas les insectes. Cependant cette connaissance de l'entomophagie n'est significativement pas influencée par le sexe, le niveau d'étude ( $\text{p-value} > 0,05$  et résidus de  $\text{khi}^2$  compris entre -2 et 2).

## Résultats et Discussion

**Tableau XV** : Niveau de connaissance de l'entomophagie par la population enquêtée

	Non	Oui	
Homme	20.7%	79.3%	Sexe
Femme	21.1%	78.9%	
Man	29.6%	70.4%	Zone
Korhogo	16.1%	83.9%	
Daloa	28.7%	71.3%	
Bouaké	14.8%	85.2%	
Supérieur	23.2%	76.8%	Niveau étude
Secondaire	20.0%	80.0%	
Primaire	20.7%	79.3%	
Analphabète	17.6%	82.4%	
51+	18.4%	81.6%	Classe Age
36-50	17.7%	82.3%	
19-35	20.3%	79.7%	
18-	28.0%	72.0%	

Résidus du Chi<sup>2</sup>

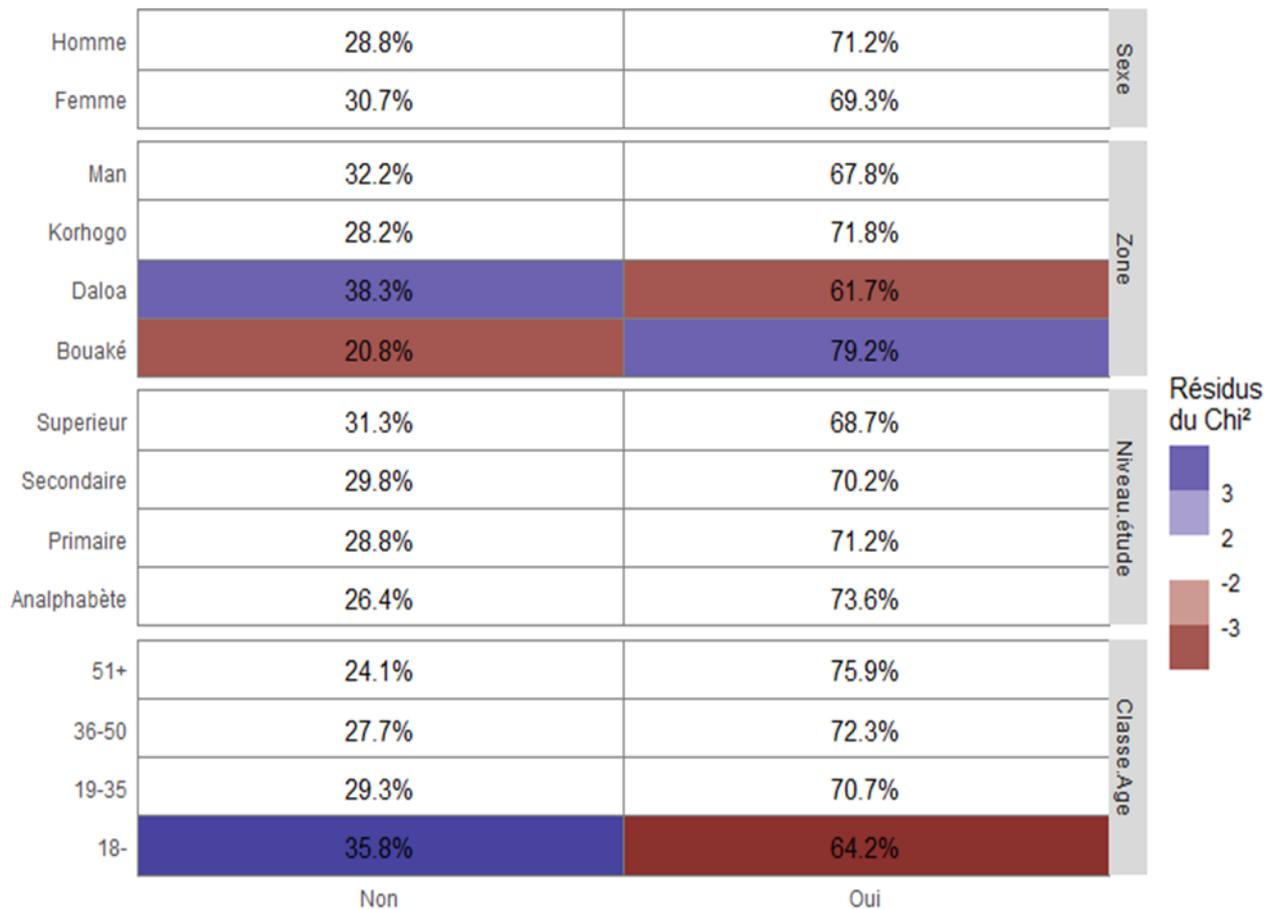
- 3
- 2
- 2
- 3

### 3.1.1.3. Taux de consommation des insectes dans les villes enquêtées

A la question « Avez-vous déjà consommé des insectes ? », environ 70,32 % des participants ont répondu en avoir déjà consommé contre 29,68 %. Le test de Pearson's khi<sup>2</sup> montre que la zone (ville dans laquelle réside les enquêtés) influence les personnes qui ont déjà consommé les insectes (khi<sup>2</sup>= 87,99, df = 3, p-value < 2,2. 10<sup>-16</sup>). Ainsi, la plus grande influence a été constatée au niveau de la ville de Bouaké. Les populations de Daloa ont montré une forte propension à n'avoir jamais consommé les insectes. Aussi, la classe d'âge de 18 ans et moins semble n'avoir jamais eu à pratiquer l'entomophagie (Tableau XVI).

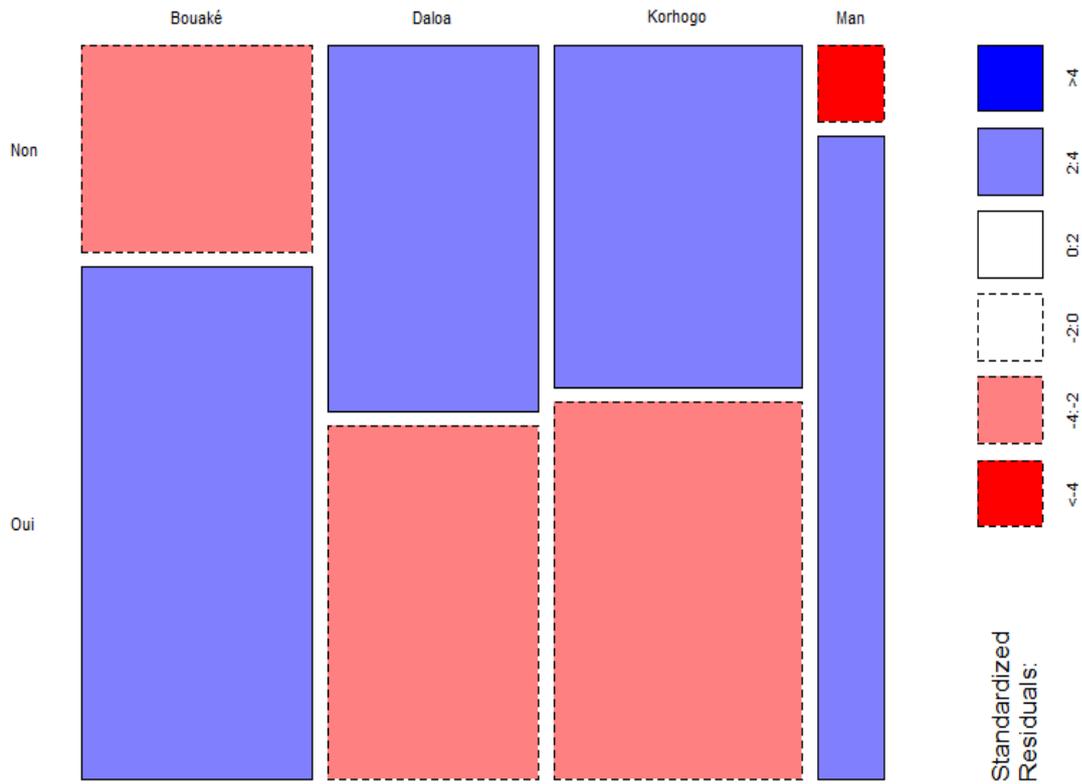
## Résultats et Discussion

**Tableau XVI** : Proportions de personnes ayant déjà consommé les insectes en fonction du sexe, de la ville, du niveau d'éducation et de l'âge.



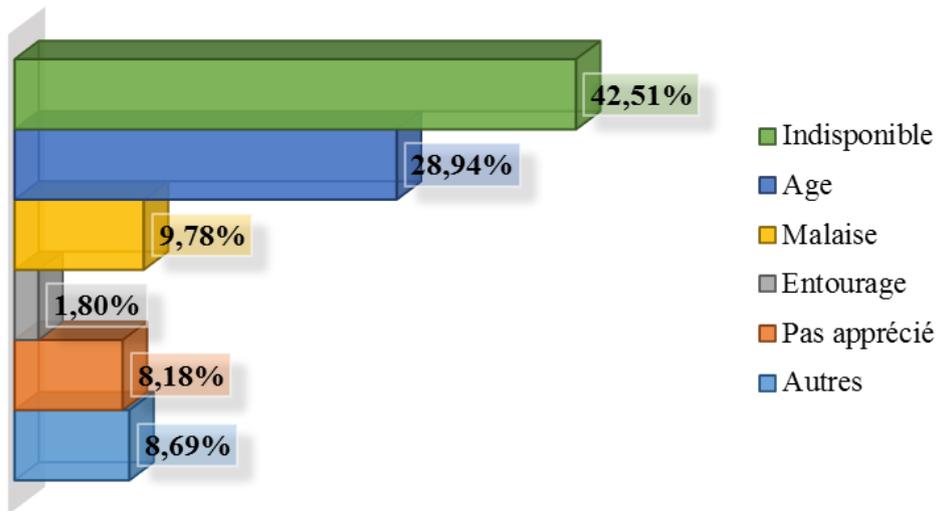
Parmi les personnes ayant déjà sustenté les insectes, uniquement 60,46 % en consomment toujours contre 38,54 %. La statistique du khi carré de Pearson montre que la zone (ville dans laquelle réside les enquêtés) influence les personnes qui consomment toujours les insectes (X-squared = 87.99, df = 3, p-value < 2.2e-16) (Figure 37).

## Résultats et Discussion

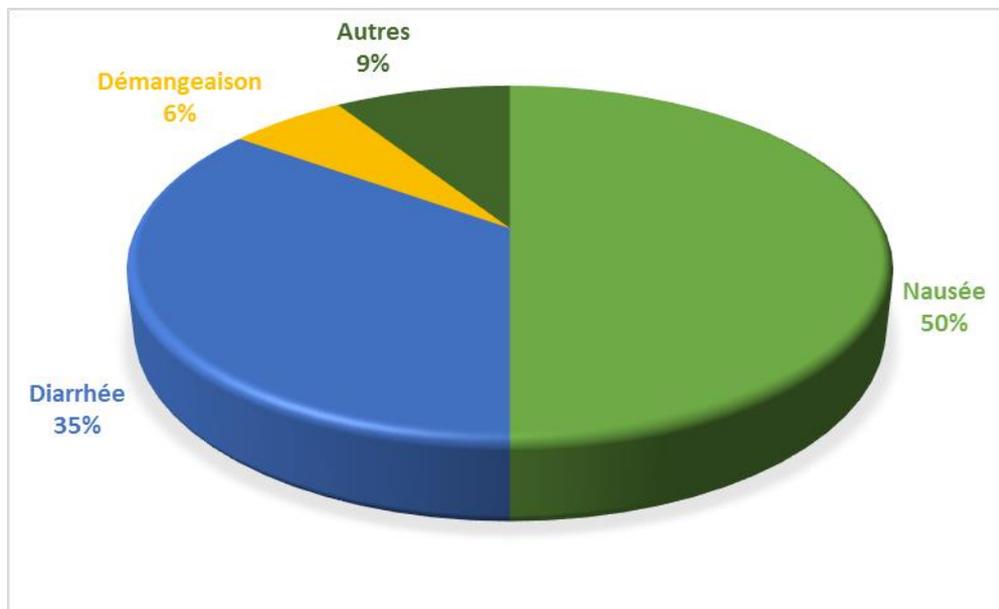


**Figure 37** : Représentation graphique des résultats des tests d'indépendance du khi-2 de la consommation des insectes en fonction de la ville.

Pour ceux qui n'en consomment plus, les principales raisons évoquées étaient entre autres l'indisponibilité des insectes (42,51 %), l'âge (28,94 %) et les malaises (9,78 %) après consommation (Figure 38). Les principaux malaises ressentis étaient les démangeaisons, la diarrhée et la nausée (Figure 39).



**Figure 38** : Motifs d'arrêt de consommation



**Figure 39** : Proportion des malaises rencontrés

### 3.1.1.4. Inventaire des espèces comestibles dans les villes enquêtées

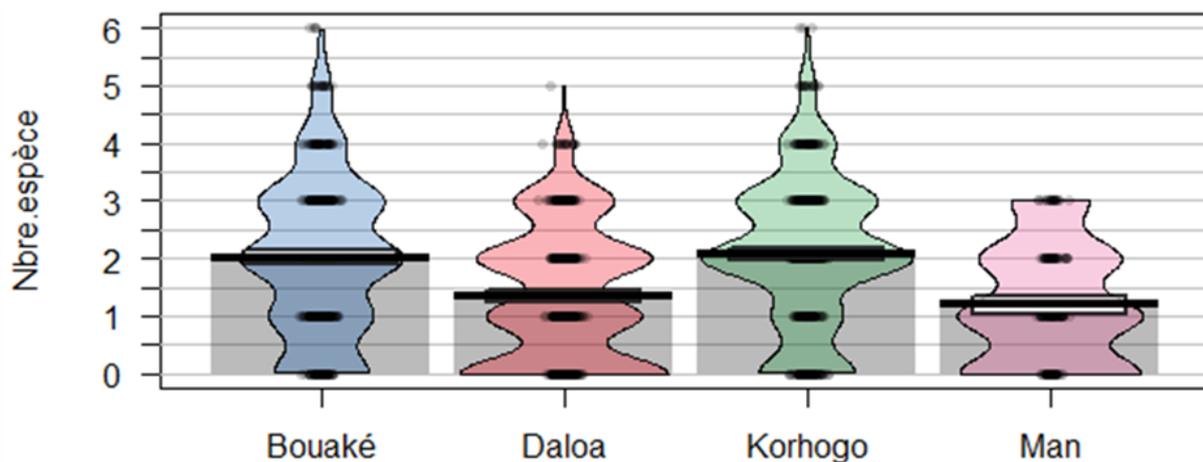
L'inventaire dressé après dépouillement des résultats de l'enquête révèle que 11 espèces d'insectes appartenant à 5 Ordres distincts et 8 familles sont consommés (Tableau XVII). Les ordres des Lépidoptères et des Coléoptères sont les plus représentés avec respectivement 5 et 3 espèces répertoriées. L'application du test khi-carré montre que le nombre d'espèces comestibles est significativement lié à la zone enquêtée ( $X\text{-squared} = 162.09$ ,  $df = 18$ ,  $p\text{-value} < 2.2e-16$ ). Ainsi, une panoplie d'espèces a été citée dans la ville de Korhogo et Bouaké (Figure 40). Au niveau des différents secteurs, la proportion des espèces citées est plus importante chez

## Résultats et Discussion

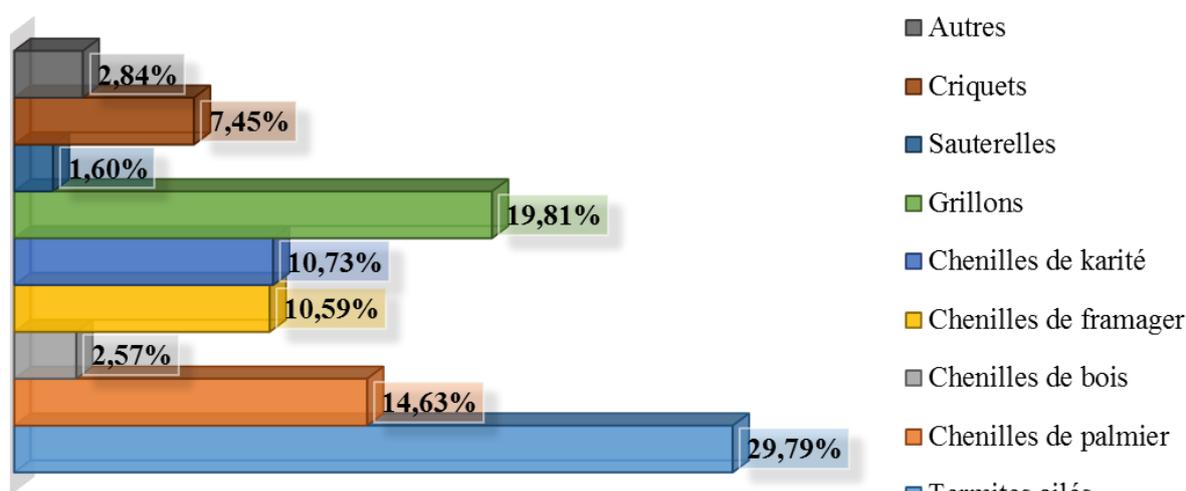
les voltaïques et chez la tranche d'âges de 19-35 ans. Les espèces majoritairement consommées (Figure 41) sont les termites ailés ou *Macrotermes subhyalinus* (29,79 %), les grillons ou *Acheta domesticus* (19,81 %) et les chenilles de palmier ou *Rhynchophorus phoenicis* (14,63 %). Ces espèces sont généralement consommées en grillade (40 %) accompagnées de semoule de manioc Attiéké (39,5 %). Par contre, 20,32 % des personnes enquêtées préfèrent les consommer sans accompagnement. Il est bien de noter que, tous les insectes consommés sont récoltés dans la nature et ne sont pas élevés pour la consommation.

**Tableau XVII** : Espèces d'insectes comestibles en Côte d'Ivoire

Ordres	Familles	Espèces	Noms communs	Stade de consommation
Lépidoptères	Saturniidae	<i>Imbrasia oyemensis</i>	Chenille du fromager	Larve
		<i>Cirina butyrospermi</i>	Chenille du karité	Larve
		<i>Nudaurelia dione</i>	-	Larve
	Cossidae	<i>Cossus cossus</i>	Chenille de bois altéré	Larve
Coléoptères	Curculionidae	<i>Rhynchophorus phoenicis</i>	Chenille de palmier	Larve et Adulte
		<i>Rhynchophorus ferrugineus</i>	Chenille de palmier	Larve et Adulte
	Dynastidae	<i>Oryctes owariensis</i>	Chenille du raphia	Larve
Isoptères	Macrotermitidae	<i>Macrotermes subhyalinus</i>	Termite ailé	Adulte
Orthoptères	Acrididae	<i>Zonocerus variégatus</i>	Criquet	Adulte
	Grillydae	<i>Acheta domesticus</i>	Grillon	Adulte
Hyménoptères	Apidae	<i>Apis mellifera</i>	Abeille	Larve



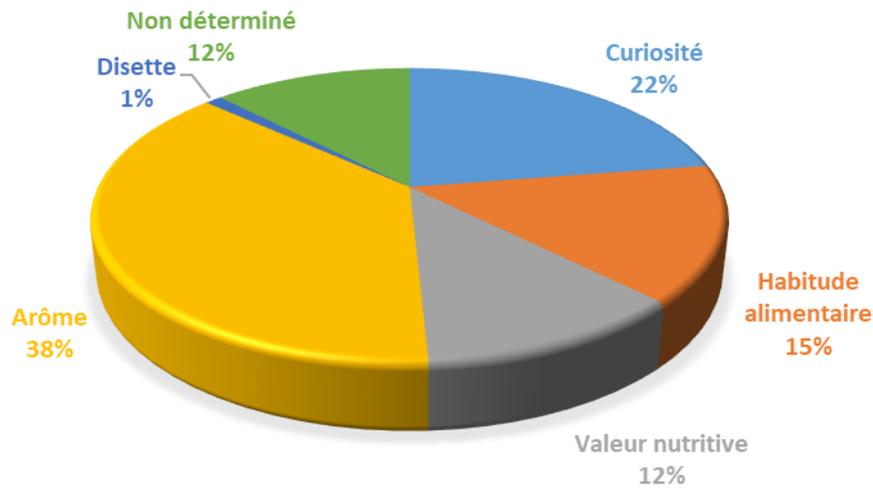
**Figure 40** : Nombre d'espèces consommées en fonction des zones enquêtées



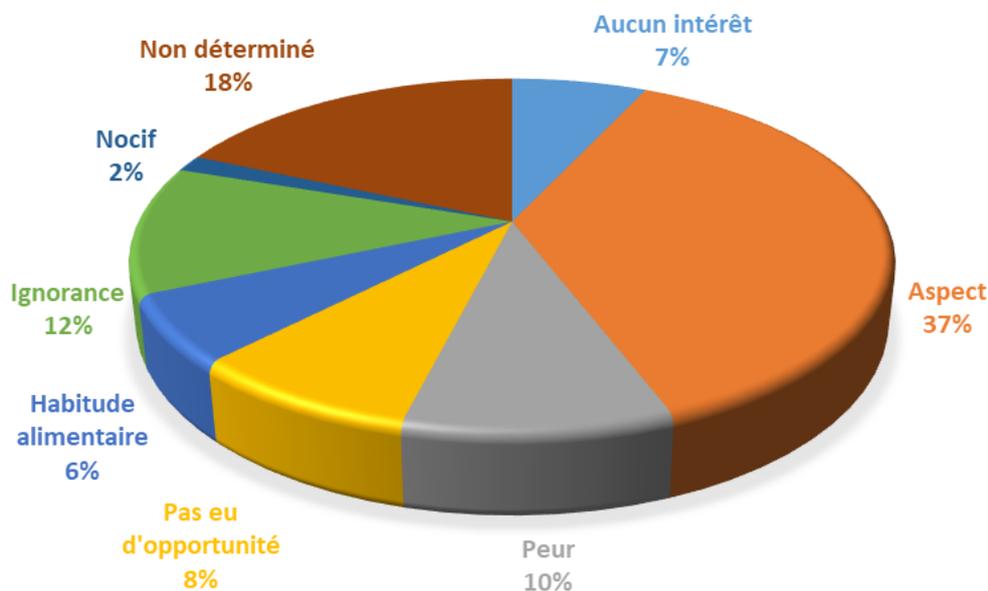
**Figure 41** : Taux de consommation des espèces d'insectes par les populations enquêtées

### 3.1.1.5. Facteurs motivant ou limitant la consommation des insectes.

L'enquête a révélé de multiples raisons motivant la consommation des insectes (Figure 42). La majorité des entomophages a été motivée par l'arôme (38 %) et la curiosité (22 %). Une proportion de 15 % a consommé par habitude alimentaire et 12 % a été motivé par la connaissance de la valeur nutritive (protéine, lipide et vitamine). Uniquement, 1 % a été contraint d'en consommer par le manque de nourriture (période de disette). En ce qui concerne les facteurs limitant la consommation (Figure 43), l'aspect des insectes était principalement énoncé par 37 % des non-entomophages. Aussi, 12 % ignoraient-ils la consommation des insectes pendant que 10 % ont évoqué la peur d'en consommer. L'habitude de ne pas en consommer (6 %) et le caractère nocif (présentant des substances dangereuses pour l'organisme humain) (2 %) représentaient des facteurs minoritaires limitant la consommation des insectes.



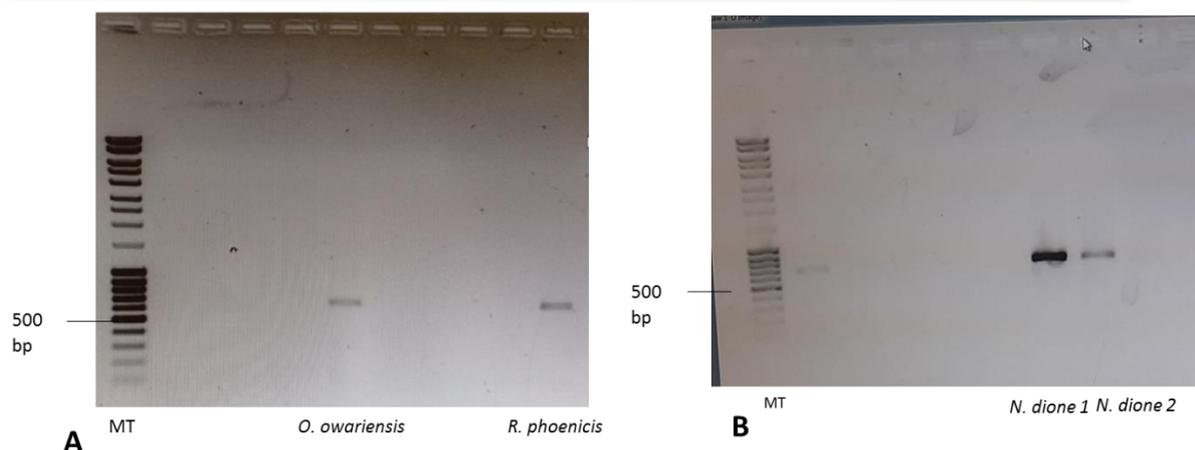
**Figure 42** : Source de motivation à la consommation des insectes



**Figure 43** : Facteurs limitants la consommation des insectes

### 3.1.2. Identification moléculaire des larves collectées

Une approche d'identification à partir des outils moléculaires a été initiée afin de confirmer ou infirmer l'identité de 3 larves. Ainsi, l'identification moléculaire de 3 larves a été réalisée en utilisant le gène mitochondrial codant pour le cytochrome oxydase de la sous unité 1 (COI). Les profils électrophorétiques des gènes de COI de *Oryctes owariensis* (Coléoptère), *Rhynchophorus phoenicis* (Coléoptère) et *Nudaurelia dione* (Lépidoptère) sont respectivement caractérisés par les allèles de tailles 621, 600, 658 paires de bases (Figure 44).



**Figure 44** : Gel d'électrophorèse des produits d'amplification de la PCR des gènes COI de *Oryctes owariensis*, *Rhynchophorus phoenicis* (A) et *Nudaurelia dione* (B).

### 3.1.3. Caractéristiques nutritives et fonctionnelles des différentes espèces collectées

#### 3.1.3.1. Macronutriments, valeurs énergétiques et vitamine C des espèces collectées

La composition en macronutriments et les valeurs énergétiques des espèces collectées ont été déterminées (Tableau XVIII). L'analyse des résultats a révélé des différences significatives d'une espèce à une autre. En effet, les différents insectes ont un pH acide avec des teneurs variant de  $5,41 \pm 0,01$  pour l'espèce *Imbrasia Oyemensis* à  $7,41 \pm 0,03$  pour l'espèce *Oryctes owariensis* qui a un pH légèrement alcalin. Cette variation est aussi observée au niveau de la teneur en matière sèche avec une teneur de  $94,03 \pm 2,71$  % significativement plus élevée pour *Macrotermes subhyalinus* contre  $74,85 \pm 11,96$  % pour *Imbrasia Oyemensis* et  $44,89 \pm 5,20$  % pour *Zonocerus variegatus*. Par ailleurs, la teneur en cendres de l'espèce *Oryctes owariensis* ( $10,98 \pm 1,37$  g/100 g MS) est de loin supérieure à celle des autres espèces avec un taux relativement très faible chez l'espèce *Z. variegatus* ( $0,96 \pm 0,01$  g/100 g MS).

En ce qui concerne la composition nutritive, la teneur en protéines s'est avérée statistiquement plus importante chez les espèces *I. oyemensis* ( $51,55 \pm 0,03$  g/100 g MS) et *O. owariensis* ( $47,31 \pm 7,07$  g/100 g MS) comparativement à celles de *C. butyrospermi* ( $44,49 \pm 4,72$  g/100 g MS), *M. subhyalinus* ( $32,75 \pm 2,38$  g/100 g MS), *R. phoenicis* ( $35,64 \pm 0,14$  g/100 g MS), *Z. variegatus* ( $34,59 \pm 0,51$  g/100 g MS). Quant à la teneur en lipides, elle fluctue de  $8,94 \pm 2,86$  g/100 g MS à  $46,06 \pm 8,32$  g/100 g MS avec une présence plus accentuée chez les espèces *M. subhyalinus* ( $46,06 \pm 8,32$  g/100 g MS), *I. oyemensis* ( $33,40 \pm 7,07$  g/100 g MS) et *R. phoenicis* ( $29,79 \pm 6,59$  g/100 g MS). De ce fait, leurs valeurs énergétiques sont significativement élevées, respectivement de  $619,86 \pm 2,08$  kcal/100 g MS ;  $533,11 \pm 1,53$  kcal/100 g MS et  $490,99 \pm 25,03$  kcal/100 g MS. Les différentes espèces analysées ont également montré une richesse en

## Résultats et Discussion

---

vitamine C et renferment des glucides. Ainsi la vitamine C est beaucoup plus abondante chez *R. phoenicis* ( $415,07 \pm 22,58$  Kcal/100 g MS). La teneur en glucides fluctue entre  $1,71 \pm 0,51$  g/100 g MS (*Z. variegatus*) et  $25,69 \pm 3,89$  g/100 g MS (*C. butyrospermi*).

## Résultats et Discussion

**Tableau XVIII** : Composition physico-chimique des différentes espèces d'insectes collectées

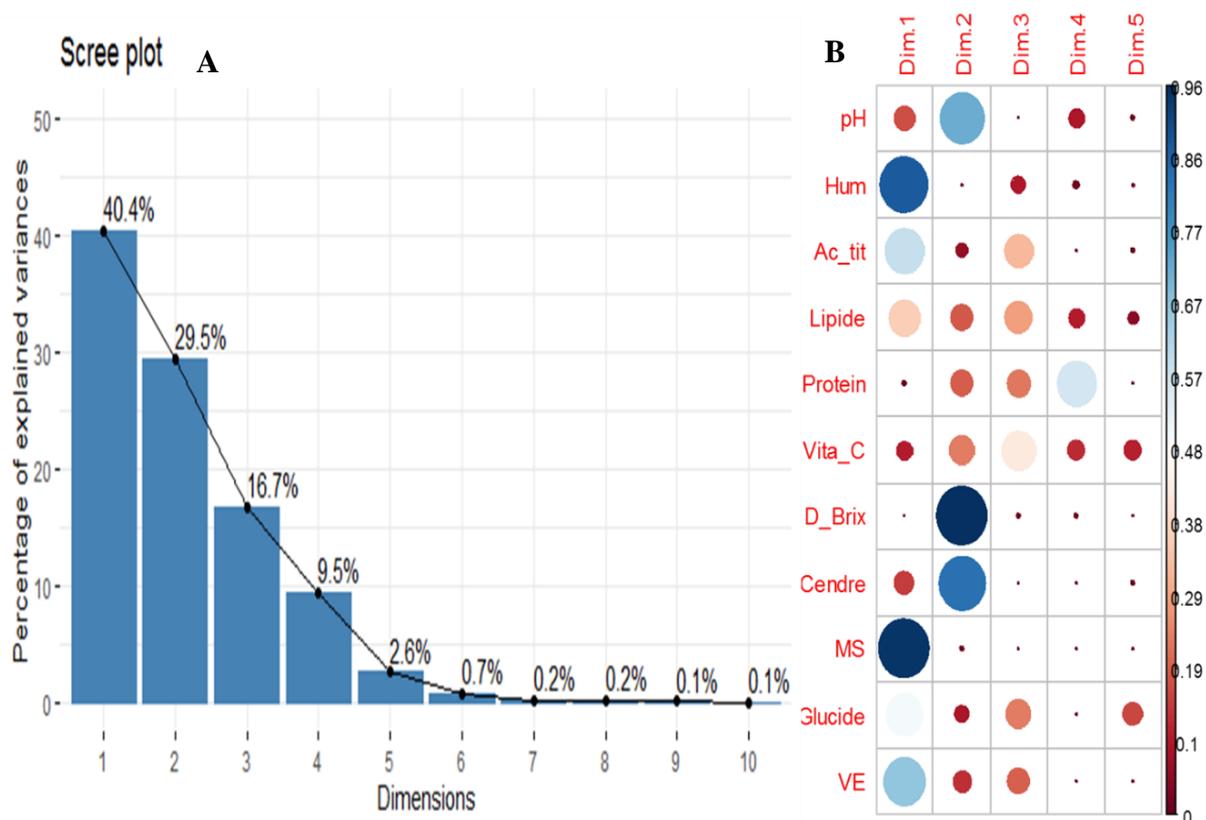
	<i>C. butyrospermi</i>	<i>I. oyemensis</i>	<i>M. subhyalinus</i>	<i>O. owariensis</i>	<i>R. phoenicis</i>	<i>Z. variegatus</i>
pH	6,18±0,01c	5,41± 0 ,01a	6,36± 0,01d	7,41 ± 0,03e	5,83±0,03b	5,80±0,01b
Acidité titrable (mEq/100g)	3,07±0,83a	43,60±3,47d	19,33±0,11c	10,80±1,42b	6,93±0,92ab	42,67±1,15d
Teneur en sucre soluble (°Brix)	5,90±0,10b	4,13±0,15a	4,33±0,21a	8,87±0,26c	3,97±0,06a	6,23±0,06b
Matière sèche (%)	92,86±0,55c	74,85±8,96b	94,03±2,71c	90,89±2,27c	86,97±2,04bc	44,89±5,20a
Humidité (%)	7,14±0,55b	25,18±0,80b	5,97±0,20a	9,11±2,27bc	13,02±2,04c	55,11±1,85d
Vitamine C (mg/100 g MS)	267,52±12,32b	136,67±3,72a	138,13±3,79a	114,84±10,02a	415,07±22,58c	126,00±6,81a
Cendres (g/100 g MS)	4,73±0,83b	1,26±0,59a	2,57±0,58ab	10,98±1,37c	1,46±0,93a	0,96±0,01a
Lipides (g/100 g MS)	17,94±0,18ab	33,40±7,07cd	46,06±8,32d	23,31±1,97bc	29,79±6,59bc	8,94±2,86a
Protéines (g/100 g MS)	44,49±4,72bc	51,55±0,03c	32,75±2,38a	47,31±7,07c	35,64±0,14ab	34,59±0,51ab
Glucides (g/100 g MS)	25,69±3,89c	6,41±0,03ab	19,11±2,38bc	9,32±3,60ab	20,08±3,94bc	1,71±0,51a
Valeur énergétique (kcal/100 g MS)	442,19±5,00b	533,11±1,53d	619,86±2,08e	436,20±19,17b	490,99±25,03c	216,46±1,00a

Les valeurs avec des lettres alphabétiques différentes sur la même ligne sont statistiquement différentes ( $p < 0,05$ ).

*C. butyrospermi* : *Cirina butyrospermi* ; *I. oyemensis* : *Imbrasia oyemensis* ; *M. subhyalinus* : *Macrotermes subhyalinus* ; *O. owariensis* : *Oryctes owariensis* ; *R. phoenicis* : *Rhynchophorus phoenicis* ; *Z. variegatus* : *Zonocerus variegatus*

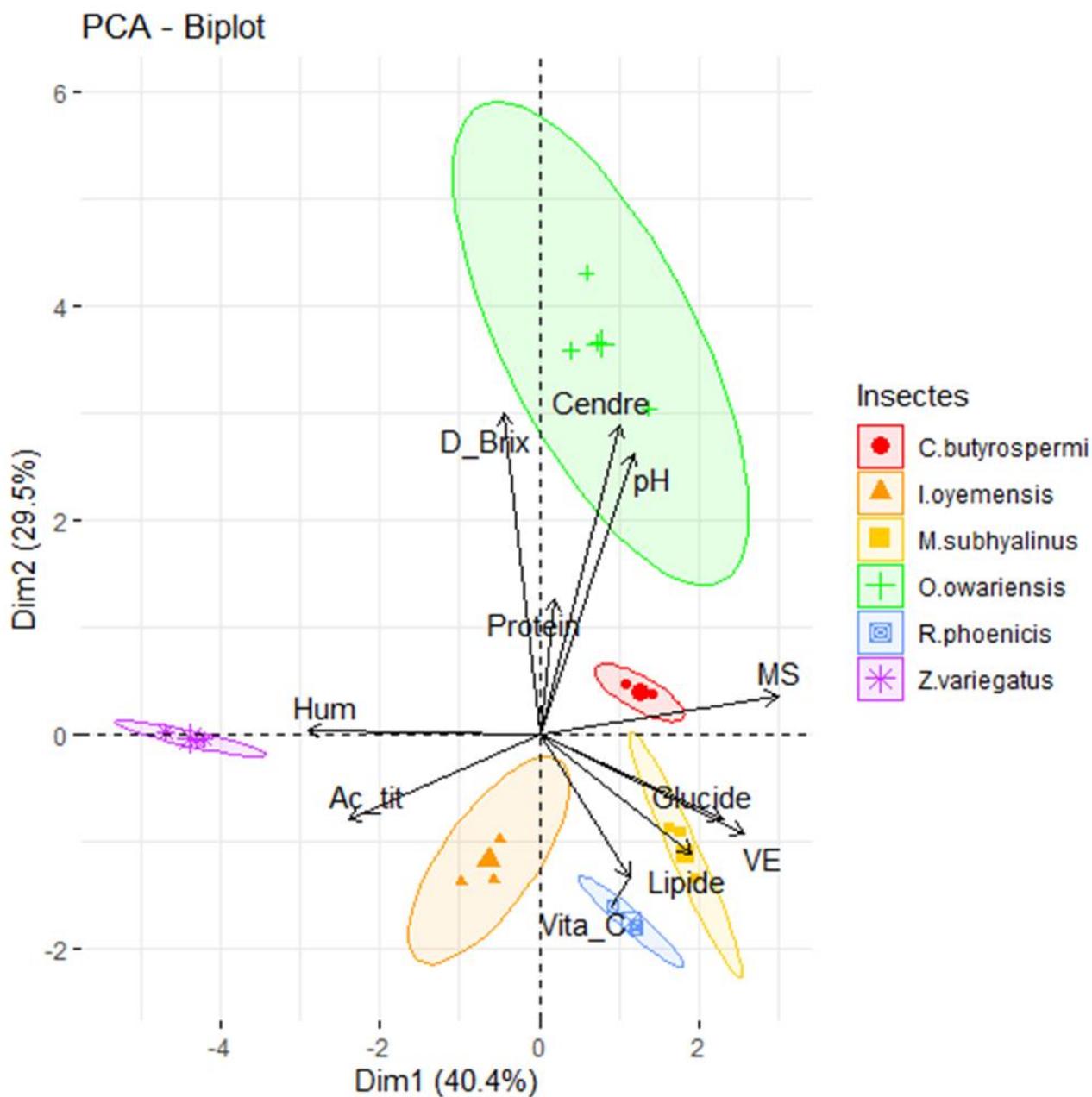
## Résultats et Discussion

L'observation du graphique « scree plot » fait constater que 3 composantes peuvent être extraites pour l'analyse en composantes principales. En réalité, 86,6 % des informations contenues au niveau des données physico-chimiques sont conservées par les 3 premières composantes (Figure 45A). Aussi, la visualisation du cosinus carré montre que les Dim 1 et Dim 2 sont les lignes les plus importantes pour expliquer la variabilité des jeux de données physico-chimiques des espèces analysées (Figure 45B).



**Figure 45** : Variances expliquées (A) et contribution des paramètres physico-chimiques (B) dans la représentation des dimensions

Ainsi, la représentation simultanée des espèces et des paramètres physico-chimiques a été faite dans les dimensions 1 et 2 (Figure 46). Ces dimensions expliquent 69,9 % de la variance totale. Cet ACP " Biplot " indique que les espèces sont séparées en trois grands groupes bien distincts avec les espèces *Z. variegatus* et *O. owariensis* se démarquant loin des autres espèces. Il ressort aussi, de l'analyse de l'ACP " Biplot " que *O. owariensis* est caractérisée par sa forte teneur en cendres, en protéines et par son pH élevé. Par ailleurs, *M. subhyalinus* est caractérisée par sa teneur en lipides et sa valeur énergétique élevées. L'espèce *R. phoenicis* quant à elle se distingue par sa teneur en vitamine C. En outre, l'humidité et la matière sèche élevées représentent les caractéristiques principales respectives de *Z. variegatus* et de *C. butyrospermi*.



**Figure 46** : ACP Biplot des paramètres physico-chimiques et des différentes espèces étudiées

### 3.1.3.2. Caractérisation physico-chimique et composition en acide gras de la matière grasse des espèces collectées

#### 3.1.3.2.1. Caractérisation physico-chimique de la matière grasse

La composition physico-chimique de la matière grasse des différentes espèces analysées présente des différences particulières (Tableau XIX). En effet, l'indice de peroxyde obtenu a varié entre  $0,99 \pm 0,13$  méq d'oxygène/kg de matière grasse (MG) à  $10,77 \pm 1,04$  méq d'oxygène/kg de MG pour l'espèce *I. oyemensis*. Par ailleurs, la teneur en acide est de loin très

## Résultats et Discussion

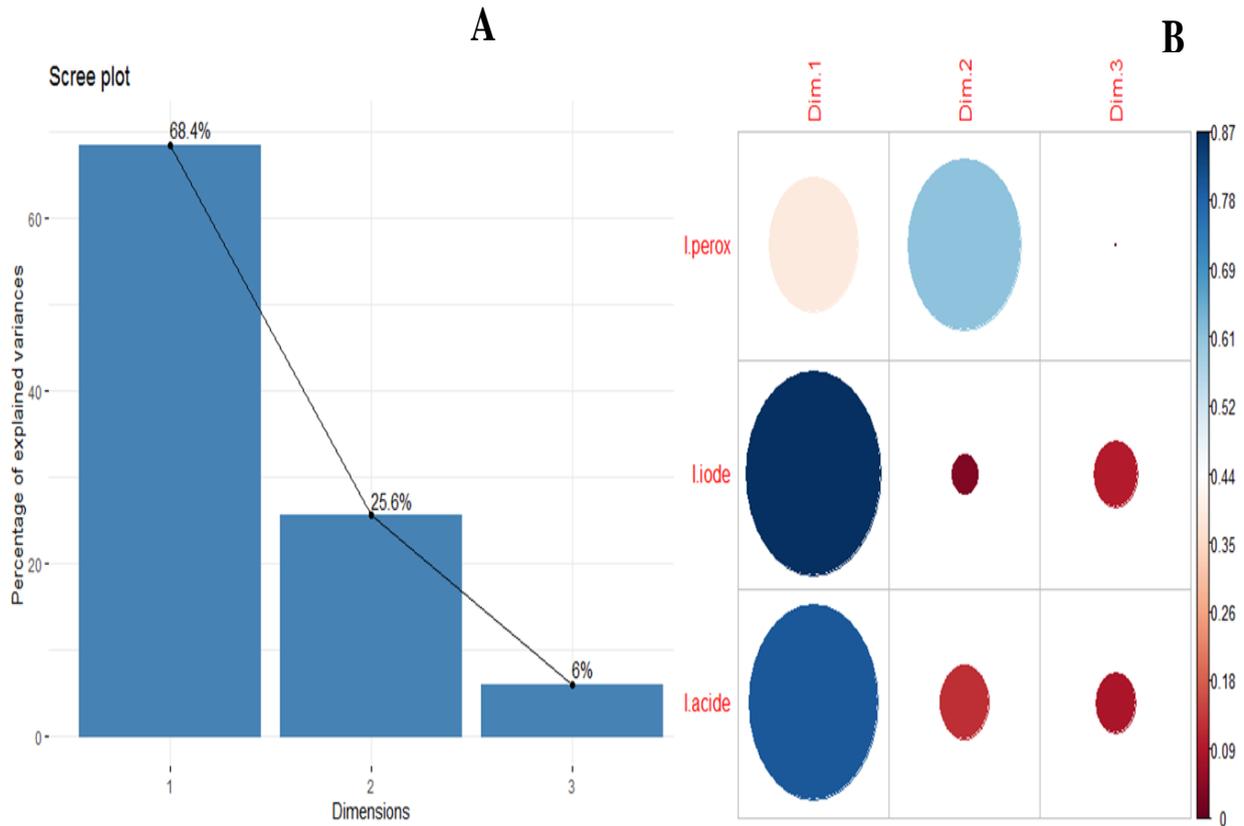
élevée pour *Z. variegatus* avec une teneur de  $67,60 \pm 3,155$  mg de KOH/g de MG. En outre, les valeurs d'indice d'iode obtenues pour les différentes espèces sont respectivement de  $55,76 \pm 2,28$  g d'iode/100 g MG pour *Imbrasia oyemensis* ;  $67,60 \pm 3,15$  g d'iode/100 g MG chez *Z. variegatus* ;  $85,97 \pm 5,04$  g d'iode/100 g MG pour *M. subhyalinus* ;  $102,12 \pm 1,37$  g d'iode/100 g MG pour *O. owariensis* ;  $112,28 \pm 3,26$  g d'iode/100 g MG pour *C. butyrospermi* et  $142,49 \pm 1,07$  g d'iode/100 g MG pour *R. phoenicis*. Ces différences sont aussi observées au niveau de l'analyse en composante principale réalisée à partir des dimensions 1 et 2. Les 2 premiers axes de l'analyse expriment 94 % de l'inertie totale (Figure 47). C'est un pourcentage très élevé, et le premier plan représente donc extrêmement bien la variabilité contenue dans l'ensemble du jeu de données. La dimension 1 oppose l'espèce *Imbrasia oyemensis* (à droite du graphe) caractérisée par des coordonnées fortement positives sur l'axe à l'espèce *Rhynchophorus phoenicis* (à gauche) qui a des coordonnées fortement négatives sur l'axe (Figure 48). L'espèce *I. oyemensis* a de fortes valeurs en indices de peroxyde et de faibles valeurs pour l'indice d'iode. Par contre, l'espèce *R. phoenicis* est caractérisée par un fort indice d'iode et un faible indice d'acide. Notons que *C. butyrospermi* est extrêmement corrélée à la dimension 1 (corrélation de 0,9) et pourrait résumer à elle seule cet axe. Les espèces *R. phoenicis*, *O. owariensis* et *C. butyrospermi* formaient un groupe autour d'une composante commune qui est l'indice d'iode (Figures 47 et 48).

**Tableau XIX** : Composition physico-chimique de la matière grasse des différentes espèces collectées

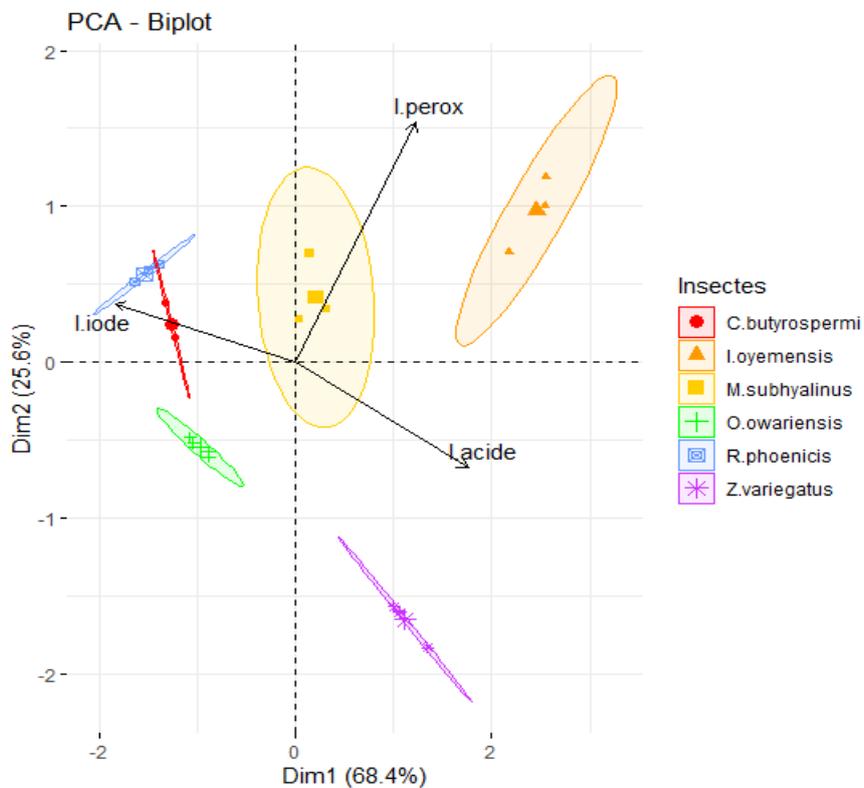
<i>Paramètres</i>	<i>C.</i> <i>butyrospermi</i>	<i>I.</i> <i>oyemensis</i>	<i>M.</i> <i>subhyalinus</i>	<i>O.</i> <i>owariensis</i>	<i>R.</i> <i>phoenicis</i>	<i>Z.</i> <i>variegatus</i>
<b>Indice de peroxyde</b> (méq d'oxygène/kg de MS)	$3,07 \pm 0,22$ <b>a</b>	$10,77 \pm 1,04$ <b>b</b>	$5,70 \pm 0,75$ <b>c</b>	$1,06 \pm 0,06$ <b>d</b>	$4,12 \pm 0,40$ <b>a</b>	$0,99 \pm 0,13$ <b>d</b>
<b>Indice d'acide</b> (KOH/g de MG)	$1,65 \pm 0,58$ <b>a</b>	$8,45 \pm 0,36$ <b>b</b>	$4,08 \pm 0,19$ <b>c</b>	$3,21 \pm 0,51$ <b>d</b>	$3,133 \pm 0,37$ <b>e</b>	$67,60 \pm 3,15$ <b>f</b>
<b>Indice d'iode</b> (g I <sub>2</sub> /100g de MG)	$112,28 \pm 3,2$ <b>6a</b>	$55,76 \pm 2,28$ <b>b</b>	$85,97 \pm 5,04$ <b>c</b>	$102,12 \pm 1,37$ <b>d</b>	$142,49 \pm 1,0$ <b>7e</b>	$67,60 \pm 3,15$ <b>f</b>

*Les valeurs avec des lettres alphabétiques différentes sur la même ligne sont statistiquement différentes (P < 0,05).*

*C. butyrospermi* : *Cirina butyrospermi* ; *I. oyemensis* : *Imbrasia oyemensis* ; *M. subhyalinus* : *Macrotermes subhyalinus* ; *O. owariensis* : *Oryctes owariensis* ; *R. phoenicis* : *Rhynchophorus phoenicis* ; *Z. variegatus* : *Zonocerus variegatus*



**Figure 47 :** Variances expliquées (A) et contribution des indices des matières grasses (B) dans la représentation des dimensions



**Figure 48 :** ACP Biplot des indices des matières grasses et des différentes espèces étudiées

### 3.1.3.2.2. Composition en acide gras de la matière grasse

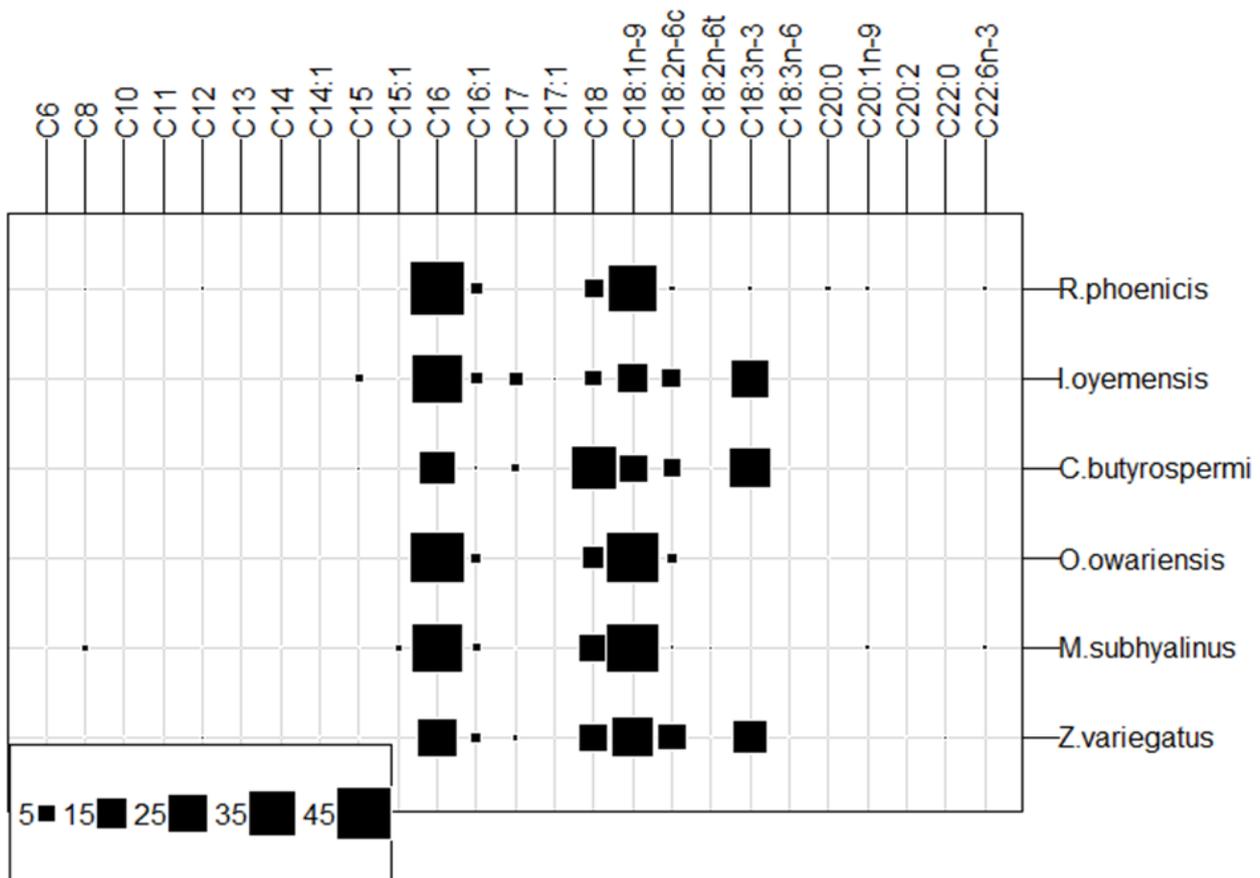
Les compositions en acides gras déterminent la qualité de la matière grasse de l'échantillon. Au total, 25 acides gras appartenant à trois catégories différentes, dont les saturés, mono-insaturés et les polyinsaturés ont été identifiés (Tableau XX). Sur les 25 acides identifiés, seuls les acides pentadécanoïque (C15 :0), palmitique (C16:0), palmitoléique (C16:1), stéarique (C18:0), oléique (C18:1n-9) et linoléique (C18:2n-6 cis) sont représentés chez tous les insectes comestibles analysés (Figure 49). De plus, l'ensemble de ces acides gras (19) est représenté chez l'espèce *R. phoenicis* excepté les acides myristique (C14:0), margarique (C17:0) ; linoélaïdique (18:2n-6 trans) et cis-11,14-éicosadiénoïque (C20:2). Contrairement, l'espèce *I. oyemensis* reste la moins diversifiée en acide gras. L'analyse statistique dénote que, la quantité de ces acides gras varie significativement d'une espèce à une autre. Ainsi, l'acide palmitique a varié de 19,13 g/100 g de MS à 48,84 g/100 g MG avec une teneur statistiquement plus élevée pour *R. phoenicis*. Dans le cas de l'acide oléique, la prédominance a été observée chez l'espèce *O. owariensis* (43,91±0,92 g/100g de MG) tandis que l'espèce *C. butyrospermi* a enregistré le plus faible taux estimé à 13,27±0,24 g/100 g MG d'acide oléique. En revanche, l'acide  $\alpha$ -linoléique chez *C. butyrospermi* (28,08±0,03 g/100 g MG) reste quantitativement plus important. De même, la teneur en acide stéarique de 31,45±0,58 g/100 g MG a été observée pour *C. butyrospermi*. Les autres espèces ont enregistré des teneurs de 13,40±1,43 g/100 g MG pour *Z. variegatus* ; 6,29±0,18 g/100 g MG pour *R. phoenicis* ; 8,08±0,38 g/100 g MG pour *O. owariensis* ; 12,98±0,41 pour *M. subhyalinus* et 7,43±0,55 g/100 g MG pour *I. oyemensis*. L'acide laurique (C12 :0) et  $\alpha$ -linoléique sont absents particulièrement chez *I. oyemensis* et *M. subhyalinus*. Il est bien de noter que l'espèce *M. subhyalinus* a été la seule espèce renfermant de l'acide myristique parmi les insectes analysés. Comme tendance générale, la proportion en acides gras saturés est plus représentative chez le *M. subhyalinus*, *R. phoenicis*, *I. oyemensis*, *O. owariensis* et *C. butyrospermi* à des teneurs respectives de 56,16±1,56 g/100 g de MG, 56,09±1,04 g/100 g MG ; 52,73±2,81g/100 g MG ; 52,42±1,62 g/100 g MG et 52,31±1,01 g/100 g de MG. Cependant, les acides gras insaturés (mono et poly) ont été plus présents chez *Z. variegatus* (59,23±5,31 g/100 g MG). Par ailleurs, les polyinsaturés ont été significativement plus abondants chez *C. butyrospermi* (34,32±0,29 g/100 g MG).

## Résultats & Discussion

**Tableau XX** : Composition en acide gras (g /100gMS) des insectes comestibles analysés

Acides gras	<i>C. butyrospermi</i>	<i>I. oyemensis</i>	<i>M. subhyalinus</i>	<i>O. owariensis</i>	<i>R. phoenicis</i>	<i>Z. variegatus</i>
Caproïque (C6:0)	---	---	0,25±0,00 <sup>a</sup>	0,06±0,01 <sup>b</sup>	0,09±0,06 <sup>b</sup>	0,04±0,00 <sup>b</sup>
Caprylique (C8:0)	---	---	0,62±0,05 <sup>a</sup>	0,06±0,03 <sup>b</sup>	0,3352±0,136 <sup>c</sup>	0,037±0,02 <sup>b</sup>
Caprique (C10:0)	---	---	---	0,03±0,02 <sup>a</sup>	0,0726±0,001 <sup>a</sup>	0,03±0,00 <sup>a</sup>
Undecylique (C11:0)	---	---	---	0,02±0,01 <sup>a</sup>	0,05±0,032 <sup>a</sup>	0,04±0,01 <sup>a</sup>
Laurique (C12:0)	0,04±0,01 <sup>a</sup>	---	0,14±0,00 <sup>b</sup>	0,04±0,01 <sup>a</sup>	0,0251±0,001 <sup>a</sup>	0,18±0,02 <sup>c</sup>
Tridécylique (C13:0)	---	---	---	---	---	---
Myristique (C14:0)	---	---	0,12±0,02	---	---	---
Myristoléique (C14:1)	---	---	---	0,19±0,00 <sup>a</sup>	0,046±0,001 <sup>b</sup>	0,021±0,002 <sup>b</sup>
Pentadecanoïque (C15)	0,22±0,03 <sup>a</sup>	1,13±0,11 <sup>b</sup>	0,19±0,00 <sup>a</sup>	0,09±0,02 <sup>c</sup>	0,19±0,08 <sup>a</sup>	0,109±0,034 <sup>a</sup>
cis-10-pentadécénoïque (C15:1)	---	0,37±0,01 <sup>a</sup>	1,11±0,15 <sup>b</sup>	---	0,23±0,00 <sup>a</sup>	---
Palmitique (C16:0)	19,13±0,35 <sup>a</sup>	40,79±1,55 <sup>b</sup>	41,57±1,05 <sup>b</sup>	43,84±1,13 <sup>b</sup>	48,40±0,52 <sup>c</sup>	24,99±2,09 <sup>a</sup>
Palmitoléique (C16:1)	0,32±0,07 <sup>a</sup>	2,82±0,12 <sup>b</sup>	1,33±0,13 <sup>c</sup>	2,58±0,44 <sup>b</sup>	2,36±0,24 <sup>b</sup>	1,56±0,27 <sup>c</sup>
Stéarique (C18:0)	31,45±0,58 <sup>a</sup>	7,43±0,55 <sup>b</sup>	12,98±0,41 <sup>c</sup>	8,08±0,38 <sup>b</sup>	6,29±0,18 <sup>b</sup>	13,40±1,43 <sup>c</sup>
Oléique (C18:1 n-9)	13,27±0,24 <sup>a</sup>	13,83±0,98 <sup>a</sup>	40,71±1,2 <sup>b</sup>	43,91±0,92 <sup>b</sup>	39,52±0,87 <sup>b</sup>	27,33±2,09 <sup>c</sup>
Linoléique (C18:2 n-6 cis)	5,88±0,18 <sup>a</sup>	6,23±0,31 <sup>a</sup>	0,55±0,02 <sup>b</sup>	1,97±0,12 <sup>c</sup>	1,40±1,15 <sup>c</sup>	11,89±0,74 <sup>d</sup>
Margarique (17:0)	1,47±0,06 <sup>a</sup>	3,38±0,59 <sup>b</sup>	0,28±0,03 <sup>c</sup>	---	---	0,60±0,11 <sup>d</sup>
cis-10-heptadécénoïque (C17:1)	---	0,49±0,00 <sup>a</sup>	---	---	0,016±0,00 <sup>b</sup>	---
Linoélaïdique (C18:2 n-6 trans)	0,05±0,00 <sup>a</sup>	---	0,45±0,01 <sup>b</sup>	0,03±0,00 <sup>a</sup>	---	0,13±0,02 <sup>c</sup>
$\alpha$ -linoléniq (C18:3 n-3)	28,08±0,03 <sup>a</sup>	24,47±1,32 <sup>a</sup>	---	0,07±0,00 <sup>b</sup>	1,21±0,01 <sup>c</sup>	18,10±2,17 <sup>d</sup>
$\gamma$ -linoléniq (C18:3n-6)	0,11±0,01 <sup>a</sup>	---	---	---	0,07±0,00 <sup>b</sup>	0,09±0,02 <sup>a</sup>
Arachidique (C20:0)	---	---	---	0,2±0,00 <sup>a</sup>	0,64±0,03 <sup>b</sup>	---
cis-11-éicosénoïque (C20:1 n-9)	---	---	1,03±0,01 <sup>a</sup>	---	0,46±0,01 <sup>b</sup>	---
Docosahexaénoïque (C22:6 n-3)	---	---	---	1,2±0,00 <sup>a</sup>	0,32±0,01 <sup>b</sup>	---
cis-11,14-eicosadiénoïque (C20:2)	0,20±0,00 <sup>a</sup>	---	---	---	---	0,1±0,01 <sup>b</sup>
Béatrique (C22:0)	---	---	---	---	---	---
<b>AGS</b>	52,31± 1,01 <sup>a</sup>	52,73±2,81 <sup>a</sup>	56,16±1,56 <sup>b</sup>	52,42±1,62 <sup>a</sup>	56,09±1,04 <sup>b</sup>	39,44±3,71 <sup>c</sup>
<b>AGMI</b>	13,59±0,24 <sup>a</sup>	17,51±1,63 <sup>b</sup>	44,19±1,48 <sup>c</sup>	46,69±1,36 <sup>d</sup>	42,64±1,13 <sup>c</sup>	28,91±2,36 <sup>c</sup>
<b>AGPI</b>	34,32±0,29 <sup>a</sup>	30,71±1,11 <sup>b</sup>	0,99±0,02 <sup>c</sup>	3,27±0,12 <sup>d</sup>	3,00±0,27 <sup>e</sup>	30,32±2,95 <sup>b</sup>
<b>AGPI/AGS</b>	0,65±1,20	0,58±0,39	0,01±0,01	0,06±0,07	0,05±0,25	0,76±0,79

Les valeurs avec des lettres alphabétiques différentes sur la même ligne sont statistiquement différentes ( $P < 0,05$ ). *C. butyrospermi* : *Cirina butyrospermi* ; *I. oyemensis* : *Imbrasia oyemensis* ; *M. subhyalinus* : *Macrotermes subhyalinus* ; *O. owariensis* : *Oryctes owariensis* ; *R. phoenicis* : *Rhynchophorus phoenicis* ; *Z. variegatus* : *Zonocerus variegatus*. --- = ND



**Figure 49 :** Abondance des acides gras (g/100 g de MG) dans la matière grasse des insectes comestibles

### 3.1.3.3. Teneur en minéraux des insectes comestibles analysés

La composition en minéraux des différentes espèces analysées est présentée par le Tableau XXI. L'analyse des résultats révèle que les minéraux identifiés (Ca, Mg, K, Na, Cu, Zn, Fe, Mn, Mo, Se) sont représentés chez toutes les espèces analysées avec des quantités variables d'une espèce à une autre. En effet, la teneur en calcium a varié de 1765,31 à 3559,21 mg/kg de MS. Celle du magnésium a varié entre 977,18 et 4879,89 mg/kg de MS. De plus, les teneurs en fer et en zinc ont présenté des valeurs de 95 à 432 mg/kg de MS et 56,3 à 209 mg/kg de MS respectivement. D'un autre côté, le potassium s'est avéré être le minéral le plus abondant chez toutes les espèces analysées avec des quantités allant de 7520,5 à 32527,24 mg/kg de MS. Cependant, les plus faiblement représentés sont le molybdène et le sélénium

## Résultats & Discussion

**Tableau XXI** : Composition en minéraux des insectes analysés (en mg/kg de MS)

Espèces	Ca	Mg	K	Na	Cu	Zn	Fe	Mn	Mo	Se
<i>M. subhyalinus</i>	2151,24	977,18	6658,20	1461,54	62	87	118	2867	0,36	0,54
<i>R. phoenicis</i>	1765,31	1930,24	10078,63	734,48	40	209	134	10	0,14	0,36
<i>Z. variegatus</i>	2780,18	1134,02	9995,61	689,97	69	125	432	15	0,2	0,19
<i>O. owariensis</i>	3559,21	4879,89	32527,24	1083,17	31	147	95	69	0,23	0,07
<i>I. oyemensis</i>	3457,5	1982,4	7520,5	4350,11	38,01	125,01	312,9	323,01	0,70	0,27
<i>C. butyrospermi</i>	2305,4	1580,8	9800,2	2652,4	12,3	56,3	157,2	151,32	0,51	0,31

*C. butyrospermi* : *Cirina butyrospermi* ; *I. oyemensis* : *Imbrasia oyemensis* ; *M. subhyalinus* : *Macrotermes subhyalinus* ; *O. owariensis* : *Oryctes owariensis* ; *R. phoenicis* : *Rhynchophorus phoenicis* ; *Z. variegatus* : *Zonocerus variegatus* ; Ca : Calcium ; Mg : Magnésium ; K : Potassium ; Na : Sodium ; Cu : Cuivre ; Zn : Zinc ; Fe : Fer ; Mn : Manganèse ; Mo : Molybdène ; Se : Sélénium.

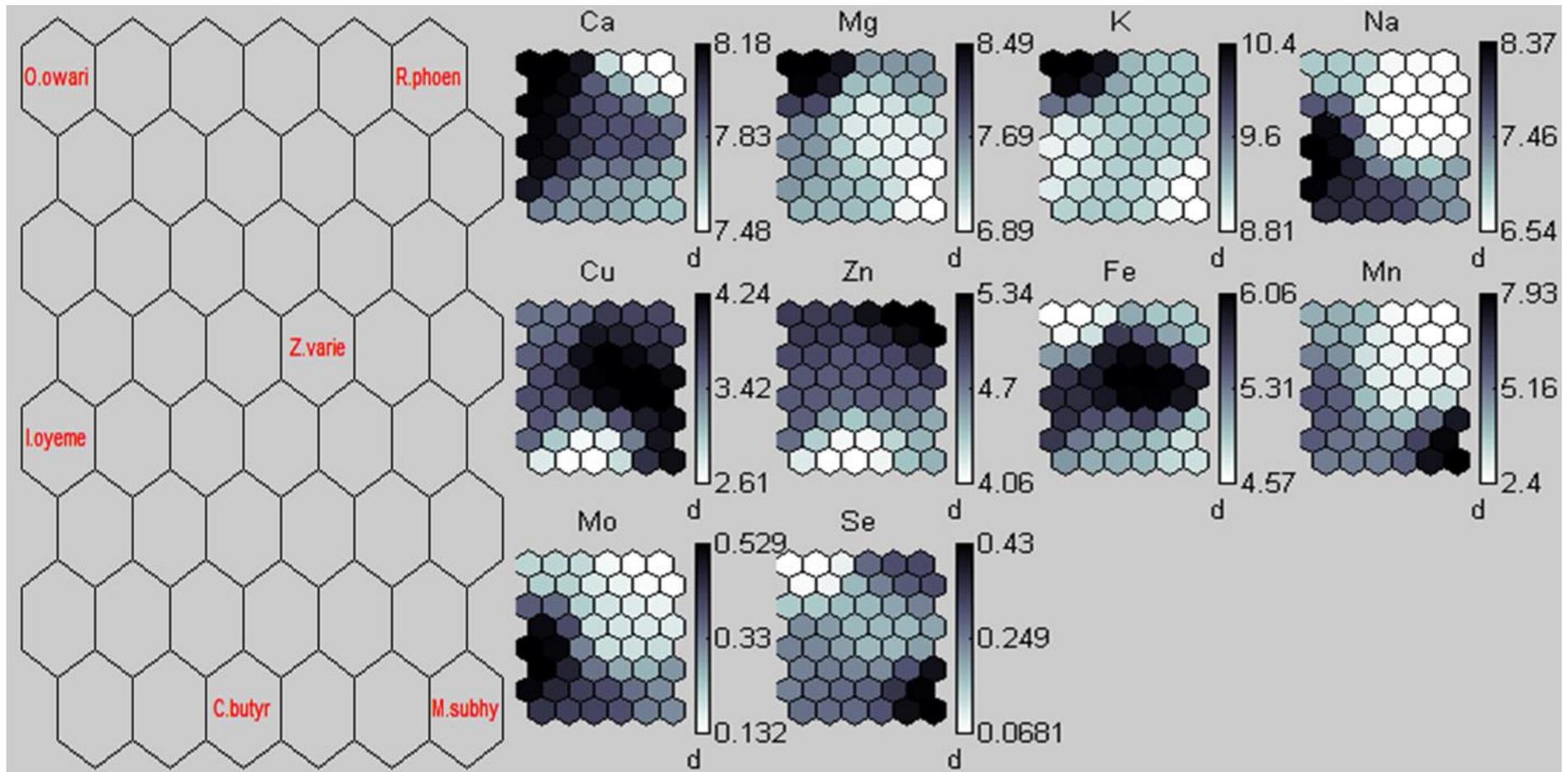
L'application de la méthode SOM des réseaux de neurones a permis de classifier les espèces selon leur abondance relative en minéraux avec une erreur de quantification de 0,012 et une erreur topographique nulle (Tableau XXII). L'observation des différents gradients (Figure 50) révèle que *Oryctes owariensis* est l'espèce la plus riche en magnésium (4879,89 mg/kg de MS), en potassium (32527,24 mg/kg de MS) et en calcium (3559,21mg/kg de MS). De plus, l'abondance en calcium est aussi observée chez *Imbrasia oyemensis*. En dehors du calcium, cette espèce est présentée comme étant plus riche en sodium (4350,11mg/kg de MS) et en molybdène (0,7035 mg/kg de MS). Le *Macrotermes subhyalinus* se démarque par sa richesse en cuivre (62 mg/kg de MS), en sélénium (0,54 mg/kg de MS) et en manganèse (2867 mg/kg de MS). Par ailleurs, le profil en minéraux de l'espèce *Zonocerus variegatus* a été marqué par des taux élevés en fer et en cuivre avec des teneurs respectives de 432 mg/kg de MS et 69 mg/kg de MS.

Il est également bien de noter, qu'il n'existe aucune corrélation significative entre les différents minéraux déterminés. En effet, les réseaux de neurones dépeint différents modes d'agencements des couleurs d'un minéral à un autre.

**Tableau XXII** : Paramètres de réalisation du réseau de neurones de la composition en minéraux des insectes analysés

Nombre de Neurones	Erreur Quantification	Erreur Topographique
8-6	0,012	0,000
8-7	0,007	0,167

## Résultats et Discussion



**Figure 50** : Abondance relative des minéraux des insectes comestibles analysés

C. butyr: *Cirina butyrospermi* ; I. oyeme : *Imbrasia oyemensis* ; M. subhy : *Macrotermes subhyalinus* ; O. owari : *Oryctes owariensis* ; R. phoen: *Rhynchophorus phoenicis* ; Z. varie : *Zonocerus variegatus* ; Ca : Calcium ; Mg : Magnésium ; K : Potassium ; Na : Sodium ; Cu : Cuivre ; Zn : Zinc ; Fe : Fer ; Mn : Manganèse ; Mo : Molybdène ; Se : Sélénium

### 3.1.3.4. Propriétés fonctionnelles des insectes comestibles collectés

Les données sur les propriétés fonctionnelles des différentes espèces d'insectes analysées sont consignées dans le tableau XXIII. Une capacité d'absorption en eau (CAE) plus élevée a été enregistrée chez les espèces *Imbrasia oyemensis* ( $170,87 \pm 14,71$  %); *Oryctes owariensis* ( $176,18 \pm 9,17$  %) et *Zonocerus variegatus* ( $177,66 \pm 25,91$  %). La valeur la plus faible a été notée avec *Rhynchophorus phoenicis* ( $6,67 \pm 1,65$  %). S'agissant de la capacité d'absorption en huile (CAH), aucune différence significative n'a été observée entre les insectes analysés en dehors de *Z. variegatus* ( $235,14 \pm 22,79$  %) et *O. owariensis* ( $210,73 \pm 1,02$  %). Par ailleurs, une variation du pouvoir moussant (PM) a été révélée entre les espèces avec des teneurs de  $2,56 \pm 0,46$  % pour *Cirina butyrospermi*,  $6,93 \pm 0,62$  % pour *I. oyemensis*,  $9,51 \pm 0,70$  % pour *Macrotermes subhyalinus*,  $16,55 \pm 3,58$  % pour *O. owariensis*,  $12,77 \pm 0,01$  % pour *R. phoenicis* et  $27,76 \pm 4,95$  % pour *Z. variegatus*. Les valeurs de la stabilité de la mousse (SM) des espèces *O. owariensis* et *R. phoenicis* sont de loin plus élevées avec des teneurs respectives de  $60,11 \pm 3,72$  % et  $76,68 \pm 0,18$  %. Puis, l'activité émulsifiante (AE) a fluctué entre  $21 \pm 0,95$  % pour *O. owariensis* et  $66,04 \pm 4,20$  % pour *I. oyemensis*. Aussi, aucune différence statistiquement significative n'a été observée entre l'AE des différentes espèces d'insectes. En outre, la stabilité de l'émulsion (SE) est plus élevée chez *C. butyrospermi* ( $102,29 \pm 0,78$  %) et *I. oyemensis* ( $103,32 \pm 0,61$  %) au contraire de *Z. variegatus* qui a enregistré la plus faible valeur ( $12,57 \pm 1,7$  %) (Tableau XXIII).

L'analyse des pourcentages de variances expliquées (Figure 51A) montre que les 3 composantes expliquent 86,3 % de la variation totale des données. Également, la visualisation des paramètres fonctionnels par le cosinus carré révèle une meilleure représentation dans les dimensions 1 et 2 (Figure 51B). En effet, la dimension 1 présente des cosinus carrés plus élevés pour la CAH (0,9), le PM (0,9) et la SE (0,72). En revanche, la SM a une meilleure représentation à la dimension 2 avec un cosinus carré de 0,72. Ainsi, l'analyse en composantes principales réalisée avec les 2 premières dimensions (74,9 %) a permis de regrouper les insectes comestibles en 2 groupes en fonction des propriétés fonctionnelles (Figure 52). Le premier groupe formé de *M. subhyalinus*, *I. oyemensis*, *R. phoenicis* et *C. butyrospermi* est caractérisé par les SE et SM. Le second groupe formé par *Z. variegatus* et *O. owariensis* est quant à lui caractérisé par CAH et PM. De façon spécifique, l'ACP montre que *C. butyrospermi* se distingue principalement par la SE.

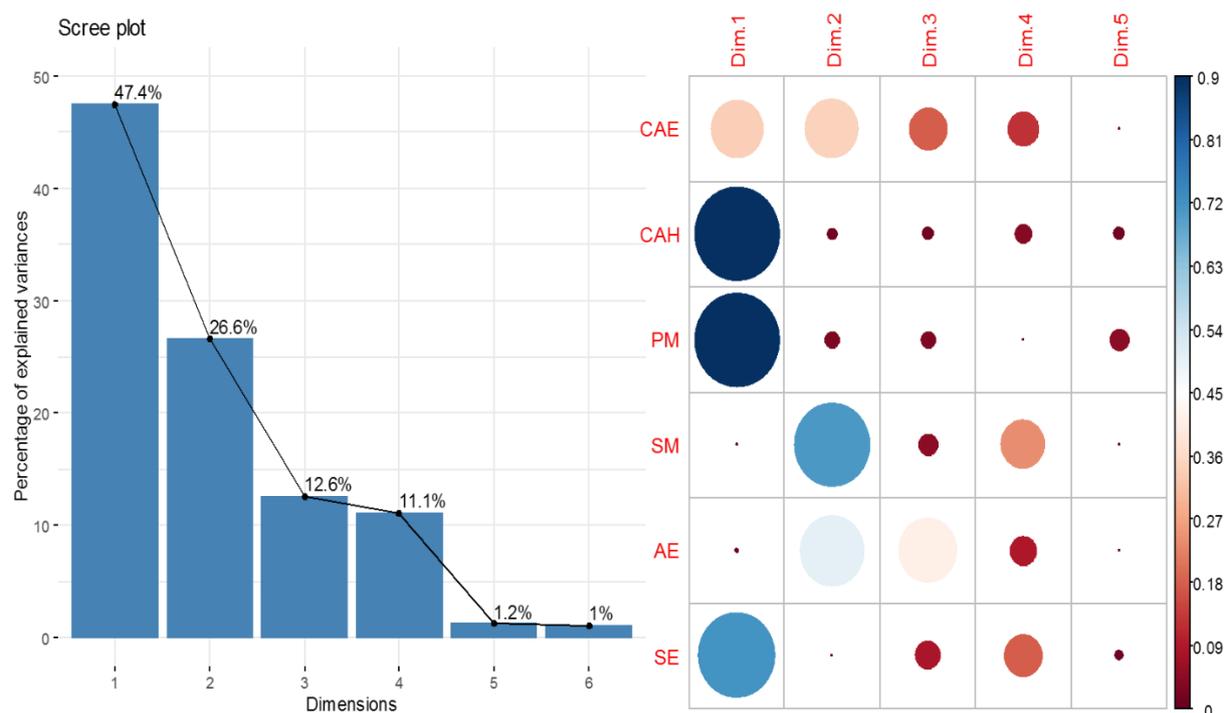
## Résultats et Discussion

**Tableau XXIII** : Propriétés fonctionnelles des insectes analysés

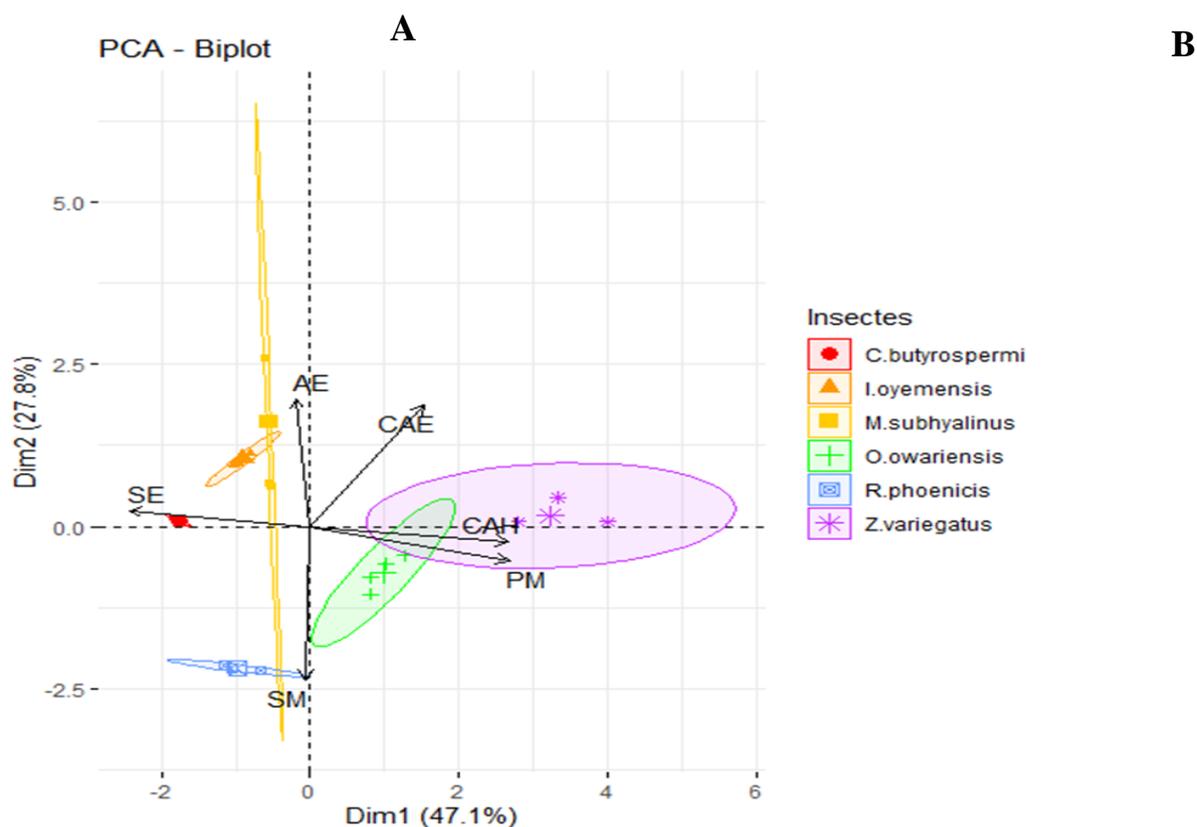
	<i>C. butyrospermi</i>	<i>I. oyemensis</i>	<i>M. subhyalinus</i>	<i>O. owariensis</i>	<i>R. phoenicis</i>	<i>Z. variegatus</i>
<b>CAE (%)</b>	71,16±0,93 <b>b</b>	170,87±14,7 <b>1c</b>	155,39±6,8c	176,18±9,17c	6,67±1,65a	177,66±25,91c
<b>CAH (%)</b>	121,36±2,95 <b>a</b>	128,46±3,63 <b>a</b>	135,79±4,78 <b>a</b>	210,73±1,02b	129,74±20, 63a	235,14±22,79b
<b>PM (%)</b>	2,56±0,46a	6,93±0,62ab	9,51±0,70ab	16,55±3,58c	12,77±0,01 <b>bc</b>	27,76±4,95d
<b>SM (%)</b>	2,13±0,19a	2,02±0,16a	8,46±1,53a	60,11± 3,72b	76,68±0,18 <b>b</b>	31,47±1,47a
<b>AE (%)</b>	25,02±3,71a	66,04±4,20a	39,63±3,58a	21±0,95a	21,50±1,92 <b>a</b>	49,28±4,58a
<b>SE (%)</b>	102,29±0,78 <b>d</b>	103,32±0,61 <b>d</b>	89,47±4,14b <b>c</b>	91,48±6,81c	81,12±3,89 <b>b</b>	12,57±1,7a

Les valeurs avec des lettres alphabétiques différentes sur la même ligne sont statistiquement différentes ( $P < 0,05$ )

*C. butyrospermi* : *Cirina butyrospermi* ; *I. oyemensis* : *Imbrasia oyemensis* ; *M. subhyalinus* : *Macrotermes subhyalinus* ; *O. owariensis* : *Oryctes owariensis* ; *R. phoenicis* : *Rhynchophorus phoenicis* ; *Z. variegatus* : *Zonocerus variegatus* ; **CAE** : Capacité d'absorption en eau ; **CAH** : Capacité d'absorption en huile ; **PM** : Pouvoir moussant ; **SM** : Stabilité de la mousse ; **AE** : Activité émulsifiante ; **SE** : Stabilité de l'émulsion



**Figure 51**: Variances expliquées (A) et contribution des propriétés fonctionnelles (B) dans la représentation des dimensions

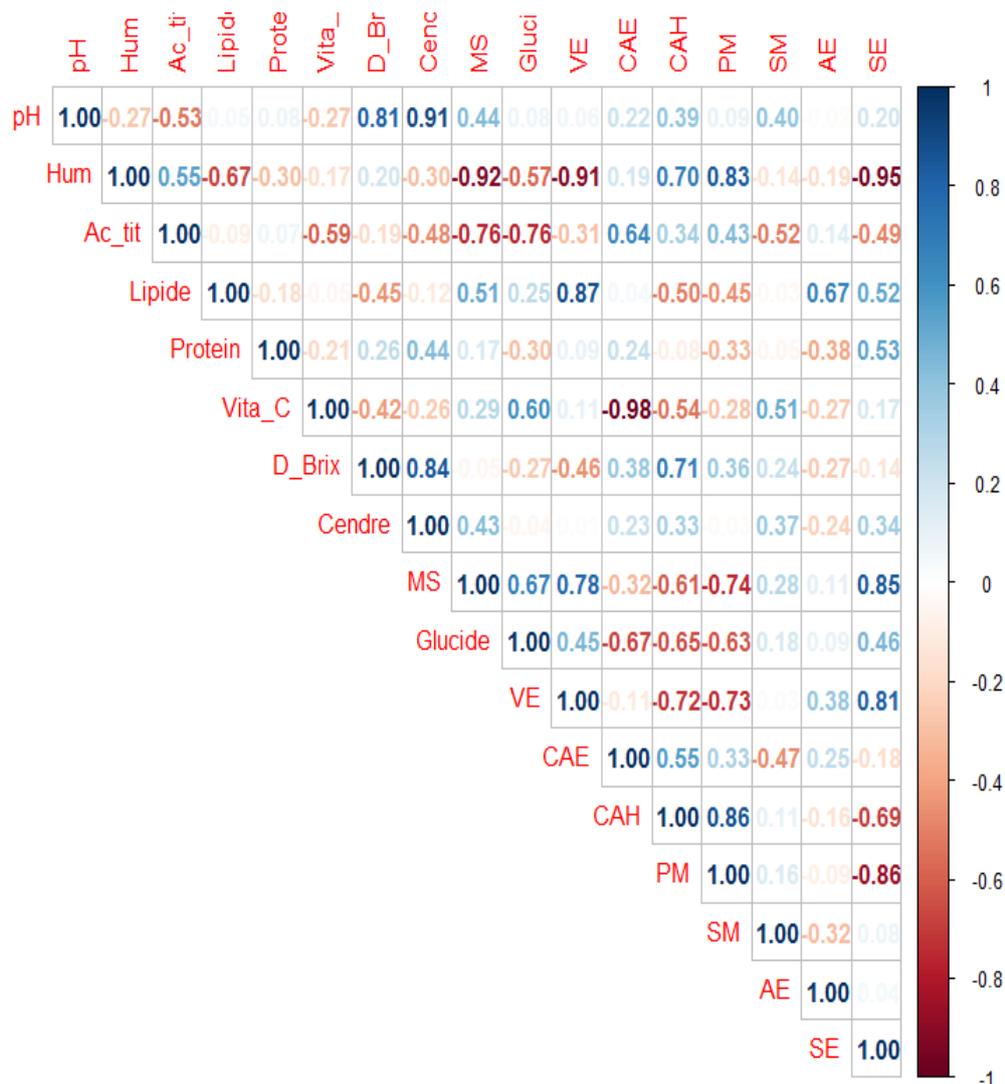


**Figure 52** : ACP Biplot des propriétés fonctionnelles et des insectes comestibles analysés

### 3.1.3.5. Corrélations entre les variables physico-chimiques et fonctionnelles caractérisant les insectes comestibles analysés

La figure 53 présente la matrice de corrélation entre les variables physico-chimiques et fonctionnelles des différentes espèces analysées. De nombreuses relations significativement positives existent entre les paramètres. C'est le cas de la teneur en lipides et de la valeur énergétique (0,87) d'une part et avec l'AE (0,67) d'autre part. Il en est de même entre la matière sèche et les paramètres comme la teneur en glucides (0,67), la VE (0,78) et la SE (0,85). De plus, le degré Brix est corrélé positivement avec la teneur en cendres (0,84) et la CAH (0,71). Concernant le pH, il est corrélé positivement avec le degré Brix (0,81) et la teneur en cendre (0,91). Aussi, une corrélation significative a été révélée entre la CAH et le PM avec un coefficient de corrélation de 0,86. Par ailleurs, de fortes corrélations négatives ont été aussi observées entre les paramètres des insectes comestibles déterminés. De telles corrélations existent entre la teneur en humidité et les paramètres comme la MS (-0,92), la VE (-0,91) et la SE (-0,95). Il en est de même, entre la vitamine C et la CAE (-0,98) d'une part, entre la PM et SE (-0,86) d'autre part.

## Résultats et Discussion



**Figure 53** : Matrice de corrélation des paramètres physico-chimiques et fonctionnels des insectes analysés.

Les valeurs en marron foncé montrent une forte corrélation négative et en bleu foncé une forte corrélation positive. Les faibles corrélations sont représentées par des colorations peu visibles.

Hum : humidité ; Ac\_ti : acidité titrable ; D\_Brix : degré brix ; Vita\_ : vitamine C ; MS : Matière sèche ; VE : valeur énergétique ; Gluci : Glucide ; Prote : protéine ; CAE : capacité d'absorption en eau ; CAH : Capacité d'absorption en huile ; PM : pouvoir moussant ; SM : stabilité de l'émulsion ; AE : activité émulsifiante ; SE : stabilité de l'émulsion

### 3.1.4. Risques liés à la consommation des insectes

#### 3.1.4.1. Facteurs antinutritionnels de *M. subhyalinus*, *R. phoenicis*, *O. owariensis*, *N. dione* et *Z. variegatus*

Les dosages de certains composés antinutritionnels ont été effectués (Tableau XXIV). L'ANOVA à un facteur a révélé des différences significatives entre les espèces portant sur les facteurs antinutritionnels quantifiés à un seuil de significativité  $p < 0,05$ . La teneur en phytate obtenue a varié de  $94,14 \pm 10,77$  à  $2059,96 \pm 5,12$  mg/100 g de MS pour *Nudaurelia dione*. Cette fluctuation des teneurs est aussi observée au niveau du taux de tanins avec  $8,01 \pm 0,44$  mg/100 g chez *M. subhyalinus*,  $12,01 \pm 1,39$  mg/100 g chez *R. phoenicis*,  $35,15 \pm 2,16$  mg/100 g chez *O. owariensis*,  $42,93 \pm 1,02$  mg/100 g chez *Z. variegatus* et  $54,43 \pm 4,53$  mg/100 g pour *N. dione*. En ce qui concerne les oxalates, l'espèce *M. subhyalinus* a enregistré une quantité significativement faible estimée à  $6,21 \pm 1,09$  mg/100 g. Cependant, aucune différence statistique en oxalate n'a été observée chez les espèces *R. phoenicis* ( $16,21 \pm 2,06$  mg/100 g), *O. owariensis* ( $16,51 \pm 1,58$  mg/100 g), *Z. variegatus* ( $16,6 \pm 1,45$  mg/100g) et *N. dione* ( $14,71 \pm 1,13$  mg/100 g). La réalisation du HeatMap clustering (Figure 54) a permis de regrouper les insectes comestibles en fonction de leur composition générale en composés antinutritionnels. L'analyse suggère que *M. subhyalinus* est très pauvre en composés antinutritionnels comparativement aux autres espèces (value  $\approx 0.00$ ). Les oxalates sont très représentés chez le *R. phoenicis*, *O. owariensis* et *Z. variegatus* avec des valeurs correspondantes qui tendent vers 1. Cette observation est aussi faite chez *N. dione* de par sa composition en tanin et en phytate. De façon générale, les espèces *O. owariensis* et *Z. variegatus* sont regroupées dans la même classe (en fonction de l'ensemble de leur composition en éléments anti nutritionnels). Ce groupe (*O. owariensis* et *Z. variegatus*) est plus proche du *R. phoenicis* dans une autre classe obtenue. Ce résultat a aussi montré que l'espèce *N. dione* ne forme aucun agrégat avec les autres espèces analysées.

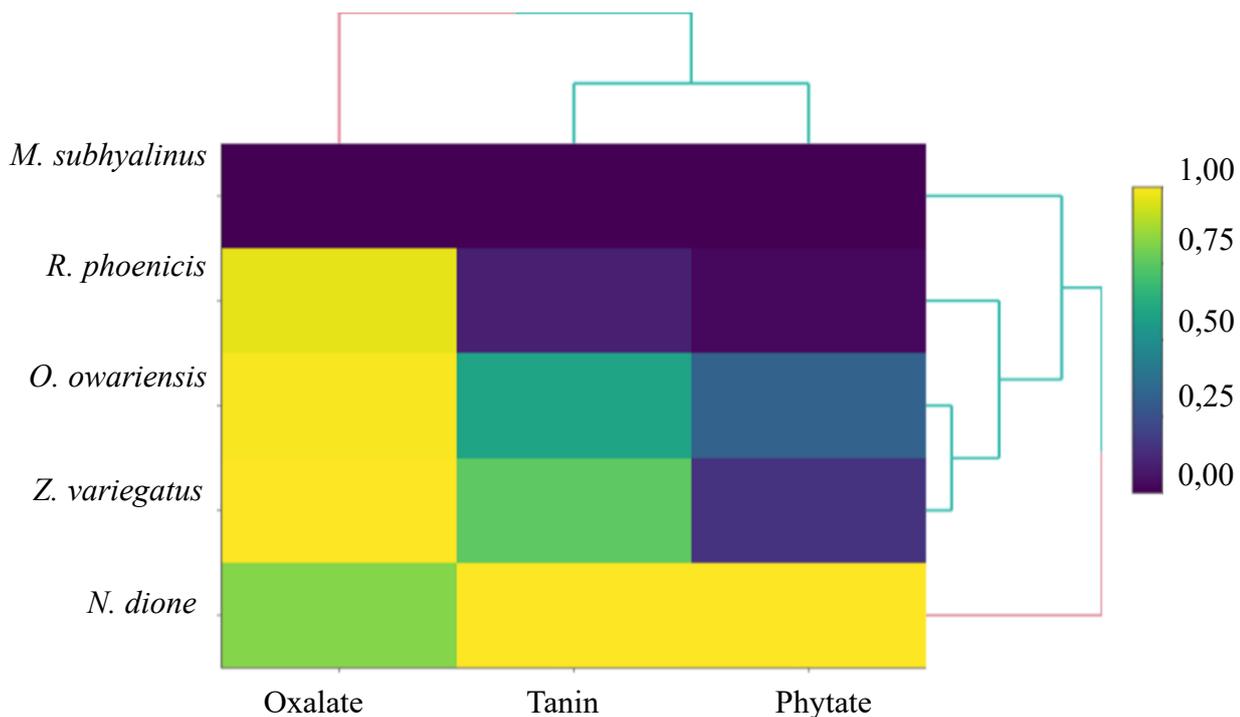
**Tableau XXIV:** Composition en facteurs antinutritionnels des insectes comestibles (en mg/100 g MS)

	<i>R. phoenicis</i>	<i>O. owariensis</i>	<i>Z. variegatus</i>	<i>M. subhyalinus</i>	<i>N. dione</i>
<b>Phytate*</b>	$131,88 \pm 10,29$ <b>a</b>	$714,59 \pm 44,87$ <b>b</b>	$382,21 \pm 7,24$ <b>c</b>	$94,14 \pm 10,77$ <b>d</b>	$2059,96 \pm 5,12$ <b>e</b>
<b>Oxalate*</b>	$16,21 \pm 2,06$ <b>a</b>	$16,51 \pm 1,58$ <b>a</b>	$16,6 \pm 1,45$ <b>a</b>	$6,21 \pm 1,09$ <b>b</b>	$14,71 \pm 1,13$ <b>a</b>
<b>Tanin*</b>	$12,01 \pm 1,39$ <b>a</b>	$35,15 \pm 2,16$ <b>b</b>	$42,93 \pm 1,02$ <b>c</b>	$8,01 \pm 0,44$ <b>d</b>	$54,43 \pm 4,53$ <b>e</b>

Les valeurs avec des lettres alphabétiques différentes sur la même ligne sont statistiquement différentes ( $P < 0,05$ ). *M. subhyalinus* : *Macrotermes subhyalinus* ; *O. owariensis* : *Oryctes owariensis* ; *R. phoenicis* : *Rhynchophorus phoenicis* ; *Z. variegatus* : *Zonocerus variegatus* ; *N. dione* : *Nudaurelia dione*.

\*les teneurs sont exprimées en mg/100 g MS.

## Résultats et Discussion



**Figure 54** : Heatmap Cluster des paramètres antinutritionnels de *Macrotermes subhyalinus*, *Rhynchophorus phoenicis*, *Oryctes owariensis*, *Nudaurelia dione* et *Zonocerus variegatus*.

*M. subhyalinus* : *Macrotermes subhyalinus* ; *O. owariensis* : *Oryctes owariensis* ; *R. phoenicis* : *Rhynchophorus phoenicis* ; *Z. variegatus* : *Zonocerus variegatus* ; *N. dione* : *Nudaurelia dione*.

### 3.1.4.2. Biodisponibilité des minéraux

La biodisponibilité des minéraux à partir des teneurs en oxalate et phytate a été déterminée (Tableau XXV). A l'analyse, le rapport de concentration oxalate/minéraux a présenté de faibles valeurs pour l'ensemble des espèces analysées. En effet, les différentes gammes de valeur obtenues ont varié de 0,02 à 0,09 pour l'oxalate/Ca, de 0,03 à 0,15 pour l'oxalate/Mg, de 0,01 à 0,02 pour l'oxalate/K et de 0,38 à 1,74 pour l'oxalate/Fe. Par ailleurs, des valeurs plus importantes ont été enregistrées au niveau du rapport de concentration phytate/minéraux allant jusqu'à 92,79 pour le phytate/Fe chez l'espèce *Nudaurelia dione*. Aussi, avec cette espèce, les ratios les plus élevés ont été enregistrés pour le phytate/Ca (2,38), le phytate/Mg (8,29) et le phytate/K (0,88). En ce qui concerne les rapports phytate/minéraux, ils sont supérieurs au niveau critique (valeur de référence) de 0,5 (Ca), 0,24 (Mg et K) et 0,4 (Fe). Toutefois, des ratios inférieurs aux valeurs critiques ont été notés pour le phytate/Ca (0,44) et phytate/K (0,14) chez l'espèce *M. subhyalinus*. Quant aux espèces *R. phoenicis* et *O. owariensis*, le rapport phytate/K présente respectivement des valeurs de 0,13 et 0,22.

## Résultats et Discussion

**Tableau XXV** : Biodisponibilité des minéraux en fonction de l'oxalate et du phytate

Espèces	<i>N. dione</i>	<i>M. subhyalinus</i>	<i>R. phoenicis</i>	<i>Z. variegatus</i>	<i>O. owariensis</i>	Valeur* critique
<b>Oxalate/Ca</b>	0,02	0,03	0,09	0,06	0,05	<b>2,5</b>
<b>Oxalate/Mg</b>	0,06	0,06	0,08	0,15	0,03	<b>2,5</b>
<b>Oxalate/K</b>	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	<b>2,5</b>
<b>Oxalate/Fe</b>	0,66	0,53	1,21	0,38	1,74	<b>2,5</b>
<b>Phytate/Ca</b>	2,38	0,44	0,75	1,37	2,01	<b>0,5</b>
<b>Phytate/Mg</b>	8,29	0,96	0,68	3,37	1,46	<b>0,24</b>
<b>Phytate/K</b>	0,88	0,14	0,13	0,38	0,22	<b>0,24</b>
<b>Phytate/Fe</b>	92,79	7,98	9,84	8,85	75,22	<b>0,4</b>

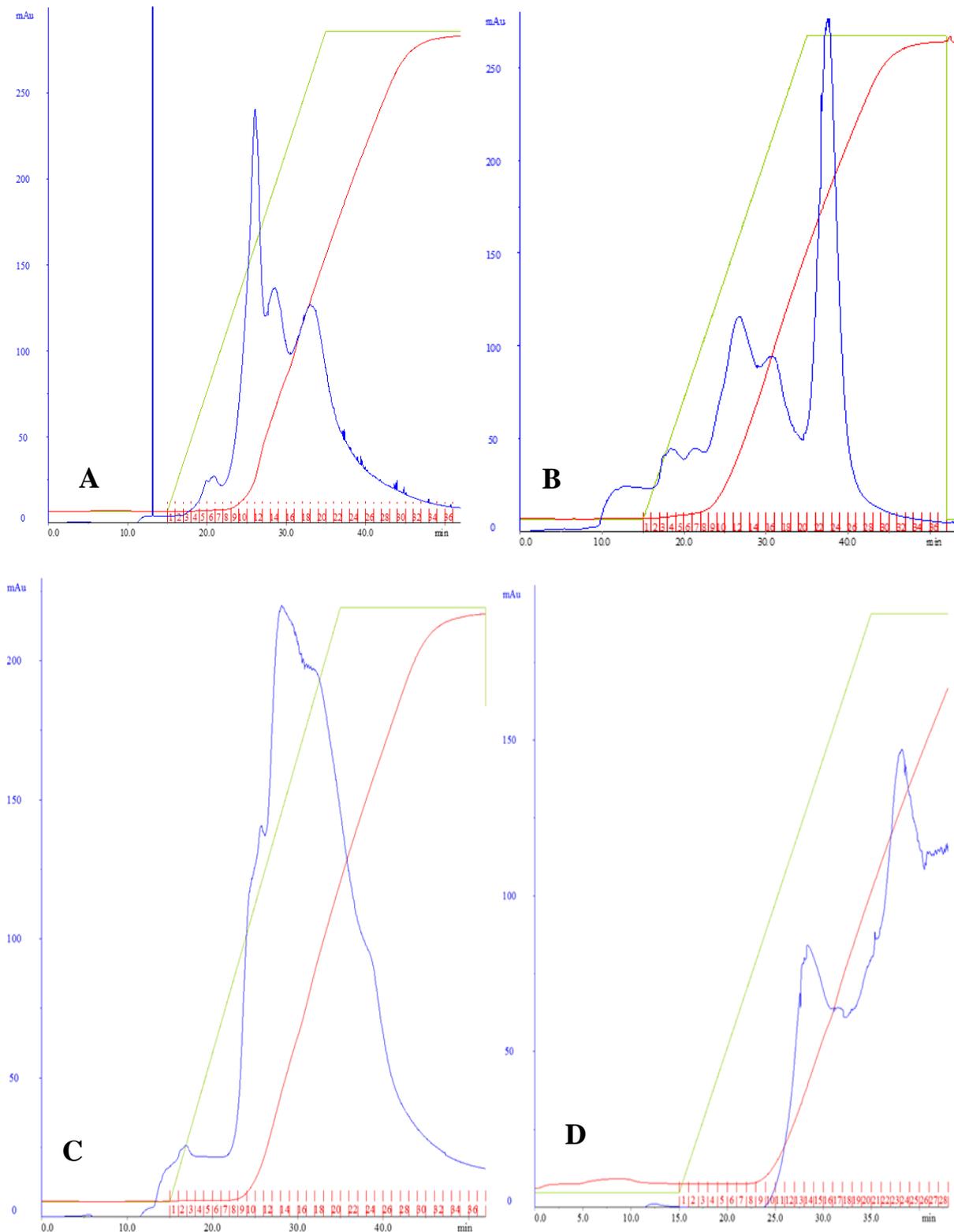
\*Source : Reddy et sathe (2002) ; Umar (2005), Frontela et al. (2008), Mitchikpe et al. (2008) et Obah & Amusan (2009). *M. subhyalinus* : *Macrotermes subhyalinus* ; *O. owariensis* : *Oryctes owariensis* ; *R. phoenicis* : *Rhynchophorus phoenicis* ; *Z. variegatus* : *Zonocerus variegatus* ; *N. dione* : *Nudaurelia dione*.

### 3.1.4.3. Potentiel allergénique de *Macrotermes subhyalinus*, *Rhynchophorus phoenicis*, *Oryctes owariensis*, *Nudaurelia dione* et *Zonocerus variegatus*

#### 3.1.4.3.1. Identification d'arginine kinase

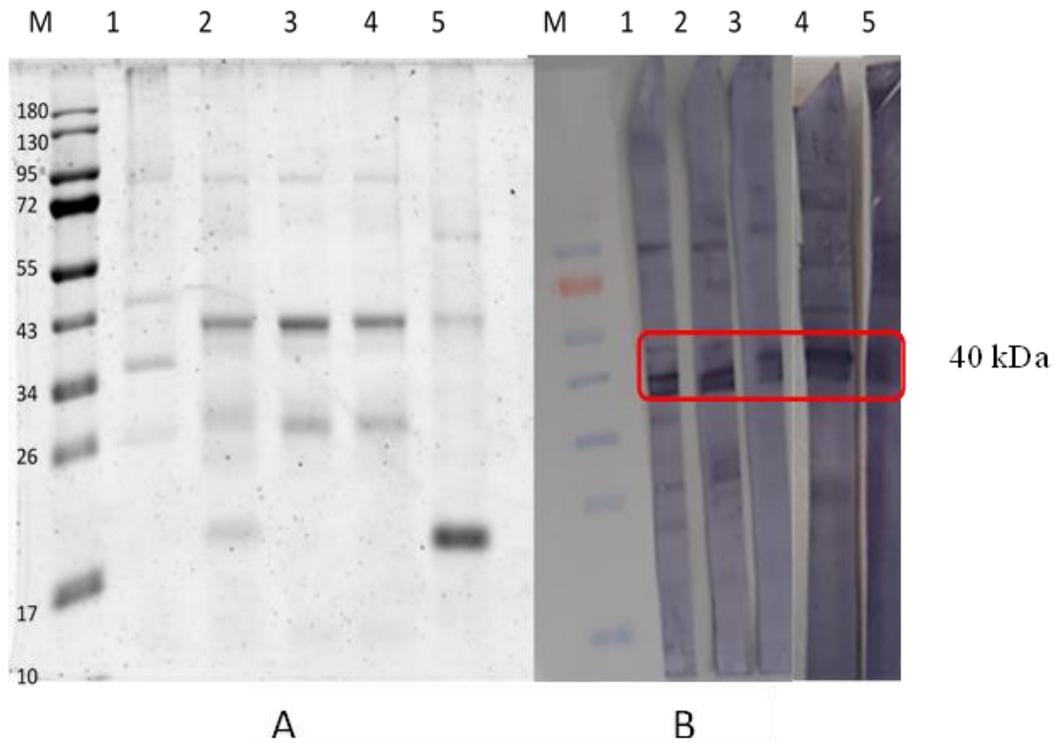
Les profils d'élution de l'arginine kinase des différentes espèces analysées sur colonne de chromatographie d'échanges d'ion Q-Sepharose à partir d'extrait de protéine purifiée au sulfate d'ammonium (70 % à 90 %) sont représentés sur la figure 55. Des pics obtenus variaient d'un échantillon à un autre sur une échelle d'absorbance de 0 à 300 mAu. Deux principaux pics ont été obtenus pour *R. phoenicis* (F8 à 14 et F15 à 24), chez *N. dione* (F8 à 19 et F19 à 26) et pour *O. owariensis* (F10 à 15 et F17 à 25). Pour *Zonocerus variegatus* où un seul pic d'élution (F8 à 28) a été observé (Figure 55C). Par ailleurs, l'électrophorèse en condition dénaturante (SDS-PAGE) des fractions protéiques de même que les extraits protéiques totaux ont permis d'identifier la diversité protéique des espèces analysées (Figure 56A.). En effet, les bandes protéiques dont les masses échelonnant entre 10 et 180 KDa ont été séparées et colorées au bleu de coomassie. Aussi, la plupart des fractions ont présenté moins de bande que les extraits bruts. Nonobstant, les bandes d'environ 40 KDa ont été conservées dans toutes les fractions protéiques. Analysées au western blot à l'aide de sérums de patients allergiques à certains insectes (*Acheta domesticus* ; *Tenebrio molitor*), plusieurs de ces fractions se sont avérées IgE-réactives (Figures 56 et 57). Une diversité de bandes a été observée pour les échantillons protéiques totaux. En ce qui concerne les purifications liées à l'arginine kinase, les réponses positives ont été observées autour de 40 KDa. Aussi, il est bien de noter que l'intensité des réponses a oscillé en fonction du sérum et de la source protéique utilisés.

## Résultats et Discussion

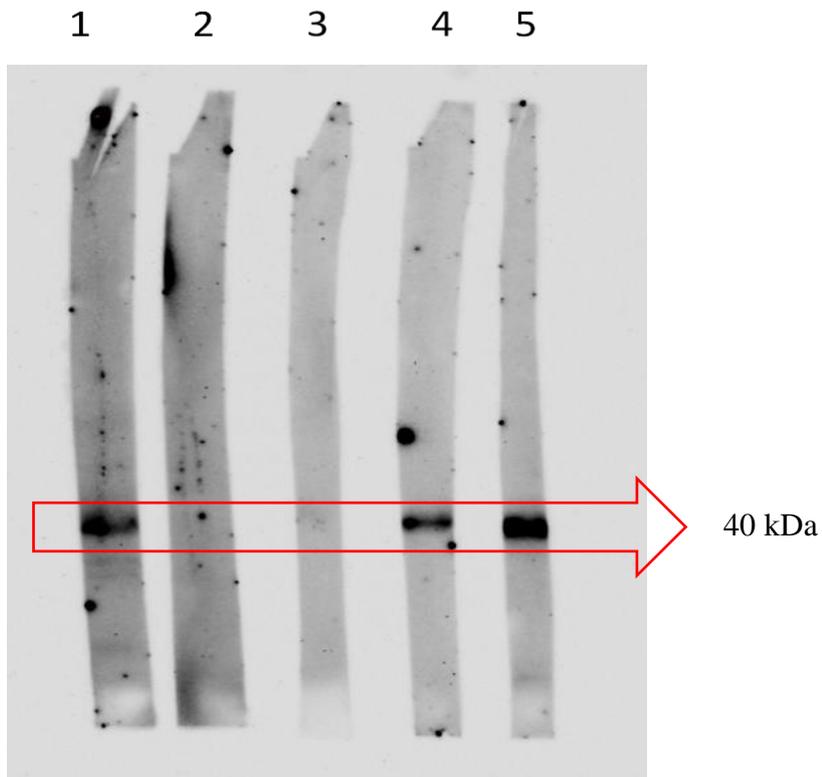


**Figure 55** : Profils d'éluion d'arginine kinase (purifiée avec 70 à 90 % de sulfate d'ammonium) de *Rhynchophorus phoenicis* (A), *Nudaurelia dione* (B), *Zonocerus variegatus* (C) et *Oryctes owariensis* (D) sur colonne de chromatographie échangeuse d'ions Q-Sepharose

## Résultats et Discussion



**Figure 56** : SDSPAGE (A) et Immunoblots des extrait brut (B). 1 : extrait purifié au sulfate d'ammonium (70-90 % ;2)) et fraction partielle d'arginine kinase de *Oryctes owariensis* (3 ; 4 ; 5)



**Figure 57** : Immunoblots de l'extrait brut 1 et des fractions (8 ; 9 ; 10 ; 11) purifiées d'arginine kinase du *Rhynchophorus phoenicis*.

## Résultats et Discussion

---

Les résultats de la spectrométrie de masse des découpes de bande d'environ 40 KDa ont mis en relief l'identité des allergènes (Tableau XXVI). Il s'agissait entre autres de l'arginine kinase, la tropomyonine et de l'actine. L'arginine kinase recherchée, a été identifiée en grande quantité chez *Oryctes owariensis* (fractions brutes et purifiées). Ces séquences d'arginine kinase ont cadré avec celles de différentes espèces dans la base de NCBI à savoir *Bombyx mori* (22761 MW ; gi|112983926), des Coléoptères *Phyllotreta striolata* (40276MW ; gi:167077504) et *Xyleborinus perminutissimus* (40276MW ; gi:332145603) avec des Pi-Values respectives de 5,87 ; 5,86 et 7,19. Au niveau du *R. phoenicis*, ses protéines se sont appariées à celles du Lépidoptère *Myrmex floridanus* (gi|228014750) et du Coléoptère *Hypanartia dione* (gi:338845622). Contrairement à l'actine qui a été identifiée chez toutes les espèces analysées (environ 40 KDa), la tropomyosine obtenue dans cette étude a été repérée uniquement chez *Z. variegatus*.

## Résultats et Discussion

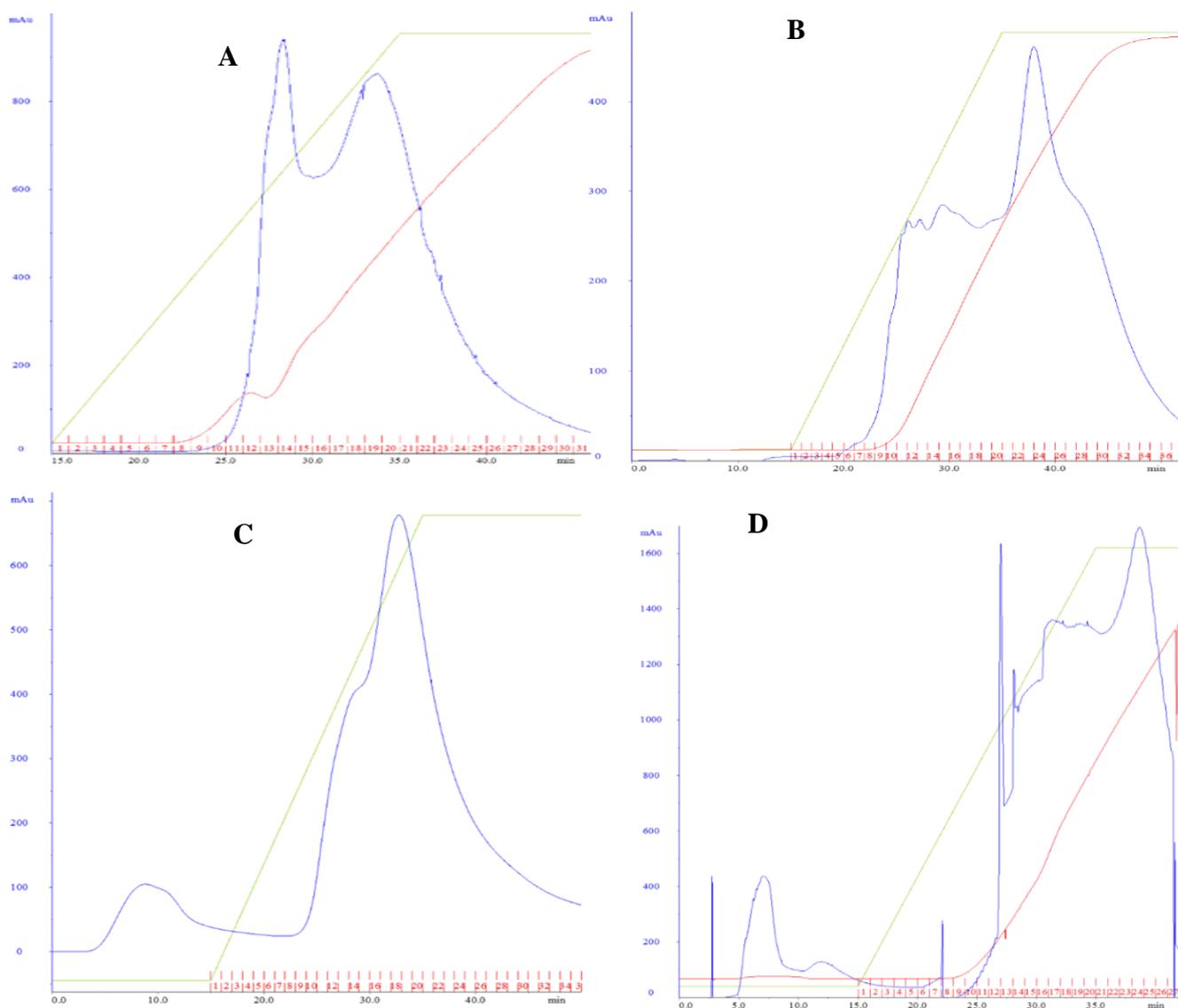
**Tableau XXVI** : Protéines identifiées à partir de bandes SDS-PAGE liées à la purification d'arginine kinase des espèces analysées

Espèces	Tailles sélectionnées PM (kDA)	Protéines identifiées	Organismes	Numéro d'accès	Protéines MW	pI value:	Score de la mascotte	Number of mass values matche d:	Masse erreur ppm
<i>Nudaurelia dione</i>	40	actin-4	<i>Aedes aegypti</i>	gi 157111829	42178	5,29	100	14	18
	40	actin-4	<i>Bombyx mori</i>	gi 525328689	42058	5,16	175	21	58
	40	Actin			91841		85	19	
<i>Oryctes owariensis</i>	40	arginine kinase	<i>Bombyx mori</i>	gi 112983926	22761	5,87	140	17	33
	40	Arginine kinase partial	<i>Melitaea cinxia</i>	gi 161088226	22761	6,73	115	13	39
	40	Arginine kinase	<i>Timelaea albescens</i>	gi 269116711	22858	8,49	104	12	41
	40	Arginine kinase partial	<i>Xyleborus aplanatideclivis</i>	gi 332145532	25261	7,19	167	19	51
	40	Arginine kinase partial	<i>Dynastes granti</i>	gi 189164002	27713	7,25	206	23	14
	40	Arginine kinase partial	<i>Xyleborus aplanatideclivis</i>	gi 332145532	25261	7,19	176	19	33
	40	Arginine kinase	<i>Phyllotreta striolata</i>	gi 167077504	40276	5,86	184	22	25
	40	Arginine kinase	<i>Phyllotreta striolata</i>	gi 167077504	40276	5,86	176	20	47
	40	Arginine kinase partial	<i>Xyleborus aplanatideclivis</i>	gi 332145532	25261	7,19	173	23	23
	40	Arginine kinase	<i>Aedes aegypti</i>	gi 157120956	40191	5,97	171	20	42
	40	arginine kinase	<i>Xyleborinus perminutissimus</i>	gi 332145603	40276	7,19	171	25	36
	40	Actine	<i>Apis cerana</i>	gi 373203827	42157	5,3	181	19	44
	<i>Rhynchophorus phoenicis</i>	40	Arginine kinase	<i>Oxyops vitiosa</i>	gi 228014758	18954	8,46	101	60
40		Arginine kinase	<i>Myrmex floridanus</i>	gi 228014750	18956	8,46	81	11	26
40		Arginine kinase	<i>Hypanartia dione</i>	gi 338845622	118658	8,43	94	30	24
40		Arginine kinase	<i>Ctonoxylon flavescens</i>	gi 400271832	30544	6,03	85	24	42
40		actin-4	<i>Bombyx mori</i>	gi 525328641	42180	5,3	117	30	17
<i>Zonocerus variegatus</i>	40	Actine	<i>Bombyx mori</i>	gi 187281831	42130	5,29	137	19	26
	40	Actine	<i>Zootermopsis nevadensis</i>	gi 646698959	42172	5,29	127	13	26
	40	Actine	<i>Zootermopsis nevadensis</i>	gi 646698959	42158	5,29	158	19	19
	40	Tropomyosine	<i>Euscelidius variegatus</i>	gi 479258931	227837	4,8	124	41	53

\* Number of mass values matched : Nombre de valeurs de masse mises en correspondance

### 3.1.4.3.2. Identification de l'alpha-amylase

La chromatographie d'échanges d'ion sur colonne de Q-Sepharose des extraits d'insectes purifiés au sulfate d'ammonium (30-70 %) a enregistré différents pics d'alpha-amylase (Figure 58). Les pics d'élution ont été observés à partir d'un gradient de concentration de 0,5 M NaCl. La hauteur des pics fluctue d'un échantillon à l'autre avec un maximal observé à 900 mAu pour *Z. variegatus* (Figure 58A), 500 mAu pour *O. owariensis* (Figure 58B), 670 mAu pour *R. phoenicis* (Figure 58C) et 1700 mAu pour *N. dione* (Figure 58D). De plus, les courbes de fractionnement débutent à partir de la 10<sup>e</sup> fraction excepté, *O. owariensis* dont la courbe débute à partir de la 6<sup>e</sup> fraction.



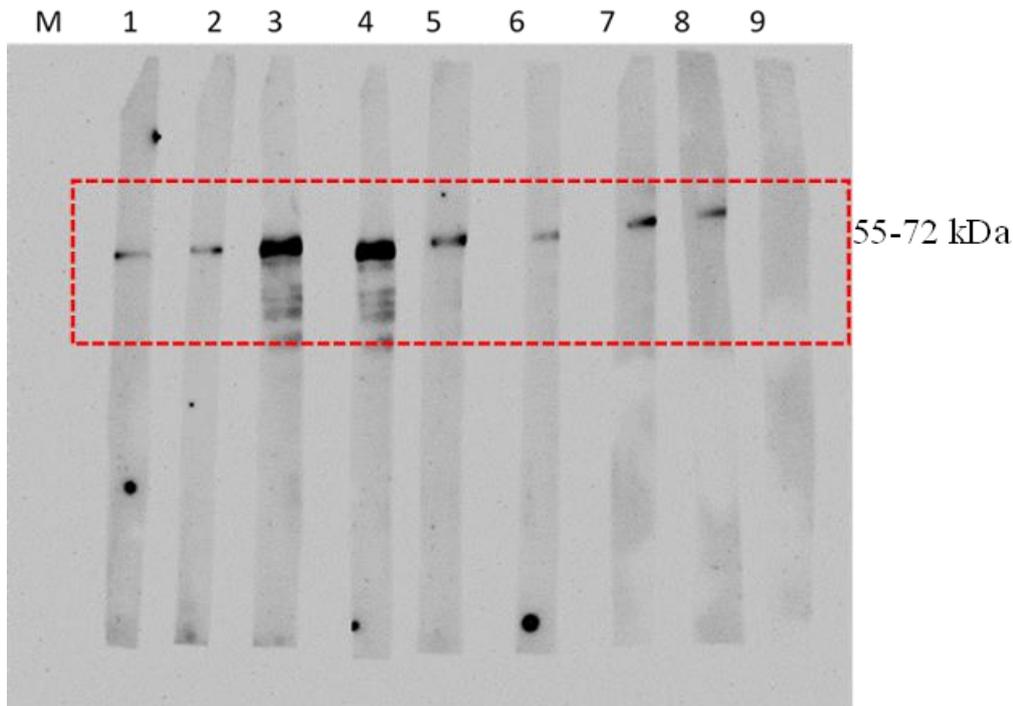
**Figure 58** : Profils d'élution d'arginine kinase (purifiée avec 70 % à 90 % de sulfate d'ammonium) de *Zonocerus variegatus* (A), *O.owariensis* (B) , *R.phoenicis* (C) et *Nudaurelia dione* (D) sur colonne de chromatographie échangeuse d'ions Q Sepharose.

## Résultats et Discussion

Le résultat du test de lugol effectué sur les fractions protéiques collectées confirme la présence de l'alpha-amylase chez les espèces analysées (Figure 59). Les immunoempreintes des fractions protéiques présentant une activité amylasique des différents insectes analysés ont révélé une réactivité positive aux IgE avec une bande entre 55 et 72 kDa chez tous les insectes examinés (Figure 60).



**Figure 59** : Réponse positive au test de lugol



**Figure 60** : Immunoblots des fractions purifiées d'alpha amylase de *Rhyncophorus phoenicis*

### 3.1.5. Profils nutritionnels des farines de maïs et de mil germées enrichies aux insectes comestibles : *Rhynchophorus phoenicis* et *Oryctes owariensis*

#### 3.1.5.1. Potentiels nutritionnels des farines formulées

La composition physico-chimique des farines élaborées a été déterminée et consignée dans le tableau XXVII. L'incorporation de la poudre des espèces *R. phoenicis* et *O. owariensis* impacte significativement l'ensemble des paramètres des céréales étudiées. En effet, l'ajout des insectes comestibles a engendré une augmentation du pH des produits élaborés excepté, celui du maïs enrichi au *R. phoenicis* où l'effet inverse a été observé. Toutefois, les farines produites avaient toutes un pH acide avec des teneurs inscrites entre  $4,84 \pm 0,01$  (pour la MaRh20) et  $6,58 \pm 0,02$  (pour la MaOr22,5). Les farines de maïs adjointe de poudres des deux espèces ont vu leur teneur en humidité diminuer à des proportions d'ajouts inférieurs à 25 %. Ces farines ont présenté les plus faibles taux d'humidité. Celui du mil à quant à lui enregistré une augmentation avec le taux d'incorporation des différentes espèces ajoutées.

Contrairement aux farines de mil supplémentées du *R. phoenicis*, ces espèces ont favorisé une augmentation de la teneur en cendres des farines. Effectivement, la teneur en cendre est passé de 1,40 % chez la farine de maïs germé à  $2 \pm 0,86$  % chez la MaRh20 et à  $3,55 \pm 1,14$  % chez la MaOr20. Pour les farines de mil, le taux de cendres est passé de  $1,63 \pm 0,42$  % (farine de mil germé) à  $6,01 \pm 2,9$  % (MiOr25). En outre, l'incorporation de poudre de *R. phoenicis* à la farine de mil germé a fait passer le taux de cendres de  $1,63 \pm 0,42$  % à  $0,97 \pm 0,01$  au niveau de la MiRh25.

Tout comme le taux de cendres, la teneur en vitamine C s'est vue accroître avec le taux d'incorporation des insectes comestibles à des teneurs significativement plus importantes pour les farines MaRh20 ( $385,73 \pm 2,54$  mg/100 g MS), MaRh22,5 ( $396 \pm 4,4$  mg/100 g MS) et MaRh25 ( $391,6 \pm 4,4$  mg/100 g MS). Par contre, la farine de *O. owariensis* a favorisé une diminution de valeur de la vitamine C des farines de maïs qui est passée de  $283,07 \pm 17,78$  mg/100 g MS à  $113,74 \pm 4,45$  mg/100 g MS pour MaOr22,5. Cette diminution est aussi observée au niveau de la teneur en glucides avec l'augmentation du taux d'incorporation. En effet, la teneur passe d'un taux de  $76,74 \pm 1,44$  g/100 g MS pour le maïs germé à  $65,85 \pm 2,03$  g/100 g MS pour MaRh20,  $62,67 \pm 2,18$  g/100 g MS pour MaRh22,5 et  $55,79 \pm 2,74$  g/100 g MS pour MaRh25. Aussi, les MaOr20, MaOr22,5 et MaOr25 avaient des teneurs respectives de  $69,54 \pm 1,05$  ;  $60,24 \pm 5,74$  et  $42,68 \pm 10,68$  g/100 g MS. Ces observations sont aussi valables pour les glucides des farines de mil enrichies aux *R. phoenicis* et à *O. owariensis*.

## Résultats et Discussion

**Tableau XXVII** : Caractéristiques physico-chimiques des farines de Mil et Maïs enrichies aux larves *Rhynchophorus phoenicis* et *Oryctes owariensis*

Farines	pH	Humidité (%)	Acidité titrable (még/100g)	Lipides (g/100g de MS)	Protéines (g/100g de MS)	Vitamine C (mg/100g de MS)	Degré Brix (°B)	Cendre (%)	Matière sèche (%)	Glucide (%)	VE (kcal/100g de MS)
<b>Rh</b>	5,83±0,03a	13,03±2,0a	6,93±0,92a	29,79±6,59a	35,64±0,14a	415,07 ±22,57a	3,97±0,06 a	1,46±0,93a	86,97±2,04a	20,078±8,9a	490,99±25,026a
<b>Or</b>	7,41±0,03b	9,11±2,27b	10,8 ±1,42b	23,31±1,9b	47,31±7,0b	114,84±10,0b	8,87±0,26b	10,98±1,3b	90,89±2,27b	9,32±2,16b	436,19±19,16 b
<b>Mi</b>	5,51±0,02c	8,56±0,48c	8,4 ±0,33c	4,73±3,79c	12,12±1,03c	122,1±9,32b	7,87±0,32c	1,63±0,42a	91,44±0,48b	72,97±2,7c	382,87±19,62c
<b>Ma</b>	4,923±0,03d	8,9±0,99c	3,73 ±0,42d	4,30±0,63c	8,65±0,19d	283,07±17,7c	5,1±0,00d	1,40±0,20a	91,09±0,99b	76,74±1,4c	380,23±3,60c
<b>MaRh20</b>	4,84±0,01e	7,31±0,6d	5,73±0,30a	15,17±1,33d	9,67 ±0,14d	385,73± 2,54d	6±0,00e	2 ±0,86c	92,69±0,59c	65,85±2,03d	438,59±5,0b
<b>MaRh22,5</b>	4,88±0,03e	6±2,64d	10±0,20b	21,24±0,77 e	10,78±0,19c	396±4,4d	6,5±0,00f	1,33±0,28a	94±2,64d	62,67±2,18d	466,67±12,06d
<b>MaRh25</b>	4,85±0,03e	8±2,64c	10 ±0,012b	19,2±0,36e	13,13±0,095	391,6 ±4,4 d	5,73±0,11e	1,83±0,28c	92±2,64c	55,79±2,74e	466,89±9,32d
<b>MiRh20</b>	5,73 ±0,02i	8,83±1,06c	10,33 ±0,58b	12,13±1,71d	13,27±0,34c	278,85±17,79c	7,79±0,01c	0,99±0,01f	91,02±1,53b	64,78±2,6d	421,4±6,91b
<b>MiRh22,5</b>	5,69±0,01i	9,89±0,89b	8,33 ±0,58c	20,21±0,51e	15,35±0,99g	309,68± 2,54f	6,13±0,03e	0,97±0,02f	91,96±1,18b	53,57±1,73e	457,59±2,94d
<b>MiRh25</b>	5,61 ±0,01j	11,1±1,05a	12 ±0,02e	21,36±2,34e	18,86±1,30e	346,36±2,54g	7,2±0,015g	0,97±0,01 f	91,63±0,80b	47,71±2,56f	458,50±7,70d
<b>MaOr20</b>	6,43± 0,05f	5,32 ±2,43 d	10,4 ± 0,46b	7,93 ± 1,22f	13,65±0,34c	119,02±3,32b	3,8±0,23a	3,55±1,14d	94,68±2,43d	69,54±1,05d	404,19±14,37c
<b>MaOr22,5</b>	6,58±0,02g	6,38±1,84 d	11,1 ±1,05e	13,93±4,74d	17,69±3,17e	113,74±4,45b	3,95±0,06a	1,75±0,03a	93,62±1,84c	60,24±5,74e	437,09±28,24b
<b>MaOr25</b>	6,45±0,0f	9,69±3,13b	10 ±1,63b	17,48 ±2,19 e	26,73± 5,86f	122,54±6,32b	6,44±0,01f	3,41±0,32 d	90,31±3,13b	42,68±10,68f	435,03±7,11b
<b>MiOr20</b>	6,33±0,04h	8,86±1,51c	15,3 ±0,88f	8,58±1,94f	15,93 ± 2,63	125,4±4,4b	7,15±0,58 g	2,79 ±1,33 d	91,14±1,51b	63,85±0,83d	396,30±27,82c
<b>MiOr22,5</b>	6,53±0,01g	10,45±2,60a	16,2 ±0,23f	9,74 ±0,56f	14,54±1,73c	140,36±0,50e	4,05±0,06a	2,86±1,48d	89,55±2,60a	62,41±2,72d	395,47±9,54c
<b>MiOr25</b>	6,4 ±0,08f	8,94±0,62c	12,6 ±0,76e	14,97±5,05d	21,47±0,58f	148,28±1,68e	6,95±0,06g	6,01±2,9e	91,06±0,62b	48,58±6,78 f	415,16±16,06b

Les valeurs avec des lettres alphabétiques différentes sur la même colonne sont statistiquement différentes ( $P < 0,05$ )

Rh : *Rhynchophorus phoenicis* ; Or : *Oryctes owariensis* ; Mi : Mil ; Ma : Maïs ; MaRh20 : Farine composée de maïs (80 %) et *Rhynchophorus phoenicis* (20 %) ; MaRh22,5 : Farine composée de maïs (77,5 %) et *Rhynchophorus phoenicis* (22,5 %) ; MaRh25 : Farine composée de maïs (75 %) et *Rhynchophorus phoenicis* (25 %) ; MiRh20 : Farine composée de mil (80%) et *Rhynchophorus phoenicis* (20 %) ; MiRh22,5 : Farine composée de mil (77,5 %) et *Rhynchophorus phoenicis* (22,5 %) ; MiRh25 : Farine composée de mil (75 %) et *Rhynchophorus phoenicis* (25 %) ; MaOr20 : Farine composée de maïs (80 %) et *Oryctes owariensis* (20 %) ; MaOr22,5 : Farine composée de maïs (77,5 %) et *Oryctes owariensis* (22,5 %) ; MaOr25 : Farine composée de maïs (75 %) et *Oryctes owariensis* (25 %) ; MiOr20 : Farine composée de mil (80 %) et *Oryctes owariensis* (20 %) ; MiOr22,5 : Farine composée de mil (77,5 %) et *Oryctes owariensis* (22,5 %) ; MiOr25 : Farine composée de mil (75 %) et *Oryctes owariensis* (25 %).

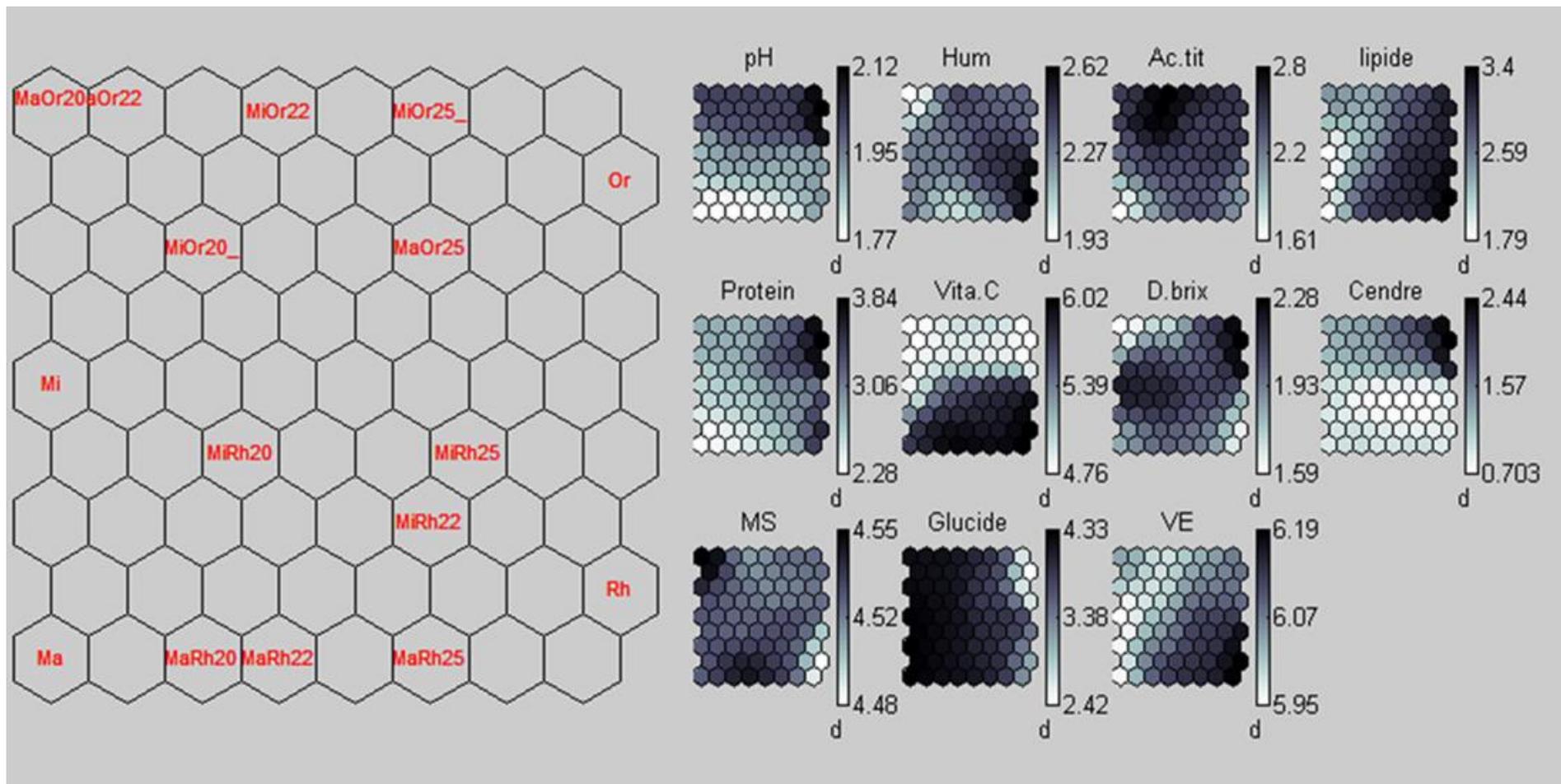
## Résultats et Discussion

Autrement, les protéines, les lipides et la valeur énergétique ont enregistré une augmentation significative. Les valeurs en matières grasses plus élevées sont présentées par les farines MaRh22,5 (21,24±0,77 g/100 g MS), MaRh25 (19,2±0,36 g/100 g MS), MiRh22,5 (20,21±0,51 g/100 g MS) et MiRh25 (21,36 ±2,34 g/100g MS). Il en va de même des valeurs énergétiques. A ce propos, les valeurs les plus élevées ont été enregistrées au niveau des farines MaRh22,5 (466,67±12,06 kcal/100g MS), MaRh25 (466,89±9,32 kcal/100 g MS), MiRh22,5 (457,59±2,94 kcal/100g MS) et MiRh25 (458,50±7,70 kcal /100g MS). Du côté des protéines, un accroissement de la teneur a été observé chez l'ensemble des farines formulées en comparaison à la proportion des matrices (Maïs, Mil) de base. Toutefois, les teneurs statistiquement plus élevées sont présentées par la MaOr25 (26,73± 5,86 g/100g MS) et la MiOr25 (21,47±0,58 g/100g MS).

L'application de la méthode SOM des réseaux de neurones a permis de classifier les farines formulées selon leur abondance relative. Le modèle de réseau présentant les plus petites erreurs de quantification (0,143) et topographique (0,00) a été choisi. Aussi, la couche d'entrée était constituée des vecteurs substituant les individus (16 farines) dont chacun contient 11 composantes représentant les paramètres physico-chimiques des farines élaborées. En revanche, celle de sortie disposait de 72 neurones dont 9 lignes et 8 colonnes (Tableau XXVIII). La visualisation des résultats (Figure 61) permet d'appréhender une graduation de couleur allant du blanc clair au bleu foncé. Les valeurs les plus élevées sont représentées par les cellules bleu foncé. Et, ces résultats dépeignent différents modes (agencement) de couleur en fonction des paramètres déterminés excepté, celle du lipide et de la valeur énergétique (VE) qui restent statistiquement semblables (corrélation positive). Les farines brutes de mil et maïs germés sont caractérisées par leur faible teneur en lipides, en protéines, en cendres et en VE. Par contre, elles sont très riches en glucides. Par ailleurs, les farines enrichies au *R. phoenicis* se distinguent des autres farines élaborées par leur abondance lipidique ainsi qu'en valeur énergétique. Celles additionnées de *O. owariensis* sont quant à elles caractérisées par leur forte teneur en protéines et en cendres.

**Tableau XXVIII** : Paramètres de réalisation du réseau de neurones des caractéristiques physico-chimiques au niveau des farines

Nombre de Neurones	Erreur Quantification	Erreur Topographique
9-7	0,201	0,000
9-8	0,143	0,000



**Figure 61** : Abondance relative des paramètres physico-chimiques des farines produites sur une carte de Kohonen

### 3.1.5.2. Propriétés fonctionnelles des farines formulées

Les résultats de la détermination des propriétés fonctionnelles des farines formulées sont consignés dans le tableau XXIX. Les insectes ont influencé différemment les propriétés des céréales analysées. En effet, *O. owariensis* a favorisé une augmentation de la capacité d'absorption en huile (CAH) du maïs. La CAH est passée de 109,38±9,26 % (farine de maïs) à 170,96±19,37 % (MaOr25), 135,89±2,77 % (MaOr22,5) et 136,24±8,43 % (MaOr20). Toutefois, une baisse significative de la CAH est observée au niveau de son ajout à la farine de mil quel que soit le taux d'incorporation pour atteindre une valeur de 144,74±42,71 % dans la MiOr20. Cette diminution manifeste est aussi observée en supplémentant la céréale par *R. phoenicis*. Les valeurs de CAH enregistrées dans ces farines ont été respectivement de 75,33±3,05 % pour la MiRh20, 86±2 % pour la MiRh22,5 et 82,67±2,31 % pour la MiRh25. Pour les farines additionnées de *O. owariensis*, la capacité d'absorption en eau (CAE) obtenue est passée de 78,21±6,43 % (MiOr22,5) à 115,32 ±37,10 % dans la MaOr25.

En addition, *R. phoenicis* a favorisé la hausse de l'activité émulsifiante (AE) dans les farines de maïs MaRh20 (29,44±3,84 %) et de MaRh25 (28,11±1,93 %), tandis que, sa présence a diminué relativement celles des farines de mil MiRh20 (27,38±1,03 %), MiRh22,5 (28,07±0,00 %) et MiRh20 (28,65±1,01 %). Bien entendu, ces fluctuations ne sont pas significatives et sont non fonction du taux d'incorporation du broyat de *R. phoenicis*. Par ailleurs, *O. owariensis* tout comme *R. phoenicis* ont engendré les mêmes effets au niveau de l'AE des farines composées de maïs à 75 %. Les valeurs sont passées de 24,81±1,74 % (Ma) à 26,99±0,75 % pour la MaOr25 et 28,11±1,93 % pour la MaRh25.

De façon générale, l'incorporation des insectes a favorisé l'augmentation de la capacité à stabiliser les émulsions des farines formulées. Les effets les plus statiquement perceptibles sont produits par *R. phoenicis* dans la farine de mil formulée notamment la MiRh20 (91,39±3,36 %), MiRh22,5(83,33±3,60 %) et MiRh25 (89,58±3,61 %).

## Résultats et Discussion

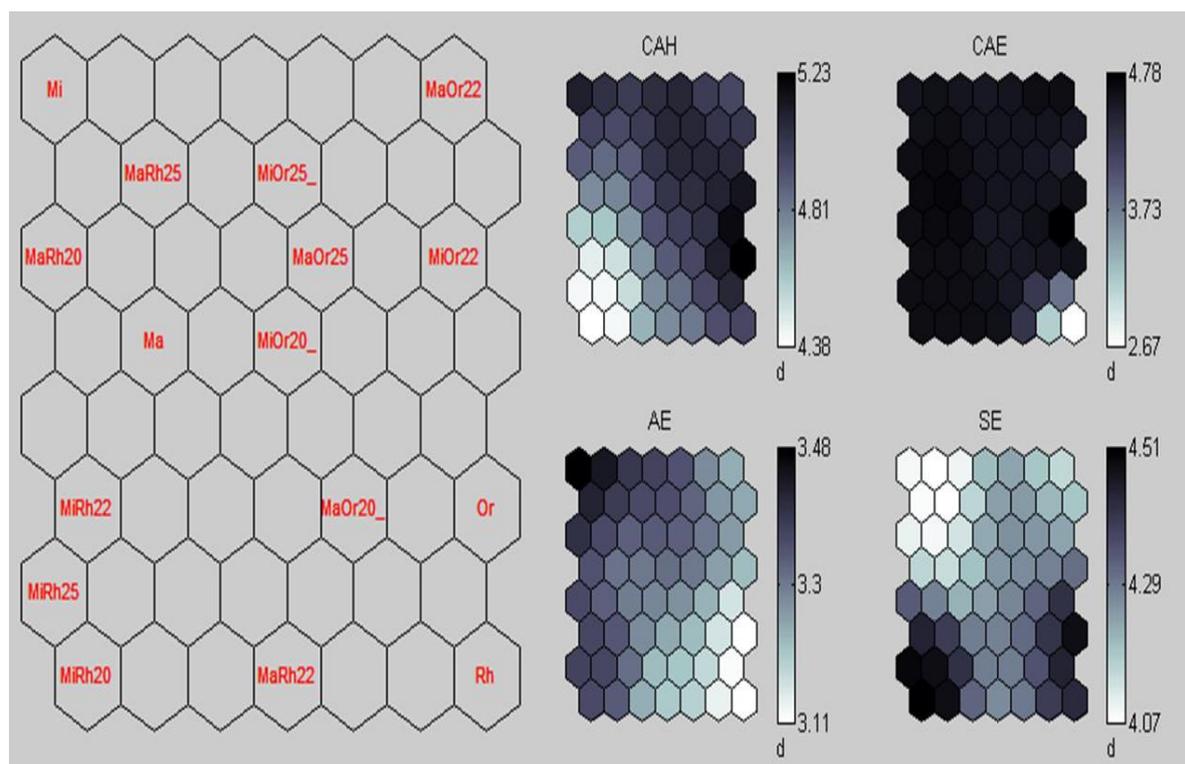
**Tableau XXIX** : Propriétés fonctionnelles des farines de mil et maïs enrichies aux larves de *Rhynchophorus Phoenicis* et *Oryctes owariensis*

Farines	CAH	CAE	AE	SE
<b>Ma</b>	109,38±9,26 <b>ac</b>	116,76±0,46 <b>c</b>	24,81±1,74 <b>ab</b>	59,91±7,82 <b>ac</b>
<b>Mi</b>	180,84±19,16 <b>de</b>	92,29±7,25 <b>bc</b>	33,07±3,57 <b>c</b>	59,63±4,11 <b>2ab</b>
<b>Or</b>	210,73±1,02 <b>e</b>	176,18±9,17 <b>d</b>	21,002±0,95 <b>a</b>	91,48±6,81 <b>c</b>
<b>Rh</b>	129,74 ±20,63 <b>acb</b>	6,67±1,64 <b>a</b>	21,51±1,92 <b>ab</b>	81,12±3,89 <b>ac</b>
<b>MaOr20</b>	136,24±8,43 <b>acd</b>	91,41±18,45 <b>bc</b>	24,23±2,05 <b>ab</b>	72,69±8,46 <b>ac</b>
<b>MaOr22,5</b>	135,89±2,77 <b>acd</b>	109,45±7,95 <b>bc</b>	24,19±4,34 <b>ab</b>	60,67±25,53 <b>ab</b>
<b>MaOr25</b>	170,96±19,37 <b>ce</b>	115,32 ±37,10 <b>c</b>	26,99±0,75 <b>ac</b>	72,19±9,70 <b>ac</b>
<b>MiOr20</b>	144,74±42,71 <b>bcd</b>	82,09±14,26 <b>bc</b>	26,21±2,91 <b>ac</b>	68,85±14,95 <b>ac</b>
<b>MiOr22,5</b>	160,69±22,10 <b>ce</b>	78,21±6,43 <b>b</b>	25±5,22 <b>ab</b>	68,29±19,84 <b>ac</b>
<b>MiOr25</b>	161,53±10,87 <b>ce</b>	85,11±13,36 <b>bc</b>	28,58±2,66 <b>bc</b>	68,96±12,12 <b>ac</b>
<b>MaRh20</b>	128,15±70,93 <b>ce</b>	102,31±2,50 <b>bc</b>	29,44±3,84 <b>bc</b>	60±10,00 <b>ac</b>
<b>MaRh22,5</b>	112,67±11,37 <b>ac</b>	100,76±2,50 <b>bc</b>	23,49±1,40 <b>ab</b>	69,74±0,44 <b>ac</b>
<b>MaRh25</b>	136,96±16,90 <b>acd</b>	100,32±1,50 <b>bc</b>	28,11±1,93 <b>ac</b>	54,93±3,39 <b>a</b>
<b>MiRh20</b>	75,33±3,05 <b>5a</b>	107,33±8,50 <b>bc</b>	27,38±1,03 <b>ac</b>	91,39±3,36 <b>bc</b>
<b>MiRh22,5</b>	86±2,00 <b>ab</b>	99±2,00 <b>bc</b>	28,07±0,00 <b>ac</b>	83,33±3,60 <b>ac</b>
<b>MiRh25</b>	82,67±2,31 <b>ab</b>	96,33±0,57 <b>bc</b>	28,65±1,01 <b>bc</b>	89,58±3,61 <b>bc</b>

Les valeurs avec des lettres alphabétiques différentes dans la même colonne sont statistiquement différentes ( $p < 0,05$ )

Rh : *Rhynchophorus phoenicis* ; Or : *Oryctes owariensis* ; Mi : Mil ; Ma : Maïs ; MaRh20 : Farine composée de maïs (80 %) et *Rhynchophorus phoenicis* (20 %) ; MaRh22,5 : Farine composée de maïs (77,5 %) et *Rhynchophorus phoenicis* (22,5 %) ; MaRh25 : Farine composée de maïs (75 %) et *Rhynchophorus phoenicis* (25 %) ; MiRh20 : Farine composée de mil (80%) et *Rhynchophorus phoenicis* (20 %) ; MiRh22,5 : Farine composée de mil (77,5 %) et *Rhynchophorus phoenicis* (22,5 %) ; MiRh25 : Farine composée de mil (75 %) et *Rhynchophorus phoenicis* (25 %) ; MaOr20 : Farine composée de maïs (80 %) et *Oryctes owariensis* (20 %) ; MaOr22,5 : Farine composée de maïs (77,5 %) et *Oryctes owariensis* (22,5 %) ; MaOr25 : Farine composée de maïs (75 %) et *Oryctes owariensis* (25 %) ; MiOr20 : Farine composée de mil (80 %) et *Oryctes owariensis* (20 %) ; MiOr22,5 : Farine composée de mil (77,5 %) et *Oryctes owariensis* (22,5 %) ; MiOr25 : Farine composée de mil (75 %) et *Oryctes owariensis* (25 %).

La classification de la qualité fonctionnelle des farines produites par le réseau de 56 neurones (Figure 62) a été réalisée avec des erreurs de quantification de 0,094 et topographique de 0,00. Les modes de disposition des cellules colorées sont tous différents pour la CAH, la CAE, l'AE et la SE. A l'analyse, les farines MiRh20, MiRh22,5, MiRh25 forment une classe caractérisée par leur AE, leur CAE, la forte SE ainsi que leur faible CAH. La farine du *R. phoenicis* (Rh) diffère des autres par sa relative très faible capacité d'imbibition d'eau. Aussi, les farines formulées telles que MiOr25, MiOr20, MaOr25 et MaRh25 se rejoignent par leur CAH et CAE.



**Figure 62** : Classification des farines produites selon les propriétés fonctionnelles

### 3.1.5.3. Qualité microbiologique des farines formulées

Le tableau XXX présente la qualité microbiologique des différentes farines de maïs enrichies aux insectes. Une charge fongique de  $3,46 \cdot 10^3$  UFC/g a été détectée seulement dans la farine MaRh25. De plus, les coliformes totaux ont été dénombrés uniquement dans les farines Or, MaOr22,5, MaOr25 et MiOr25 avec des charges respectives de  $3,5 \cdot 10^1$  UFC/g,  $2,53 \cdot 10^1$  UFC/g,  $1,95 \cdot 10^2$  UFC/g et  $2,23 \cdot 10^1$  UFC/g. Cependant, les charges fongiques et des coliformes totaux détectées sont inférieures aux critères microbiologiques applicables aux farines infantiles (Codex Stan 74-1981). Aussi, les entérobactéries et les salmonelles n'ont pas été détectés dans la présente étude. La qualité microbiologique des farines formulées est satisfaisante au regard des germes dénombrés.

## Résultats et Discussion

**Tableau XXX** : Qualité microbiologique des farines enrichies aux insectes comestibles

Farines	Moisissures et Levures	Coliformes totaux	Entérobactéries	Salmonella
Ma	<1	<1	<1	Absence
Mi	<1	<1	<1	Absence
Rh	<1	<1	<1	Absence
Or	<1	3,5.10 <sup>1</sup>	<1	Absence
MaRh20	<1	<1	<1	Absence
MaRh22,5	<1	<1	<1	Absence
MaRh25	3,465.10 <sup>3</sup>	<1	<1	Absence
MaOr20	<1	<1	<1	Absence
MaOr22,5	<1	2,53.10 <sup>1</sup>	<1	Absence
MaOr25	<1	1,955.10 <sup>2</sup>	<1	Absence
MiRh20	<1	<1	<1	Absence
MiRh22,5	<1	<1	<1	Absence
MiRh25	<1	<1	<1	Absence
MiOr20	<1	<1	<1	Absence
MiOr22,5	<1	<1	<1	Absence
MiOr25	<1	2,231.10 <sup>1</sup>	<1	Absence
<b>Critère Microbiologique</b>	<10 <sup>5</sup>	< 10 <sup>3</sup>	<10 <sup>3</sup>	Absence

Rh : *Rhynchophorus phoenicis* ; Or : *Oryctes owariensis* ; Mi : Mil ; Ma : Maïs ; MaRh20 : Farine composée de maïs (80 %) et *Rhynchophorus phoenicis* (20 %) ; MaRh22,5 : Farine composée de maïs (77,5 %) et *Rhynchophorus phoenicis* (22,5 %) ; MaRh25 : Farine composée de maïs (75 %) et *Rhynchophorus phoenicis* (25 %) ; MiRh20 : Farine composée de mil (80%) et *Rhynchophorus phoenicis* (20 %) ; MiRh22,5 : Farine composée de mil (77,5 %) et *Rhynchophorus phoenicis* (22,5 %) ; MiRh25 : Farine composée de mil (75 %) et *Rhynchophorus phoenicis* (25 %) ; MaOr20 : Farine composée de maïs (80 %) et *Oryctes owariensis* (20 %) ; MaOr22,5 : Farine composée de maïs (77,5 %) et *Oryctes owariensis* (22,5 %) ; MaOr25 : Farine composée de maïs (75 %) et *Oryctes owariensis* (25 %) ; MiOr20 : Farine composée de mil (80 %) et *Oryctes owariensis* (20 %) ; MiOr22,5 : Farine composée de mil (77,5 %) et *Oryctes owariensis* (22,5 %) ; MiOr25 : Farine composée de mil (75 %) et *Oryctes owariensis* (25 %).

### 3.1.5.4. Acceptabilité des produits (biscuits) élaborés à partir des farines composées formulées

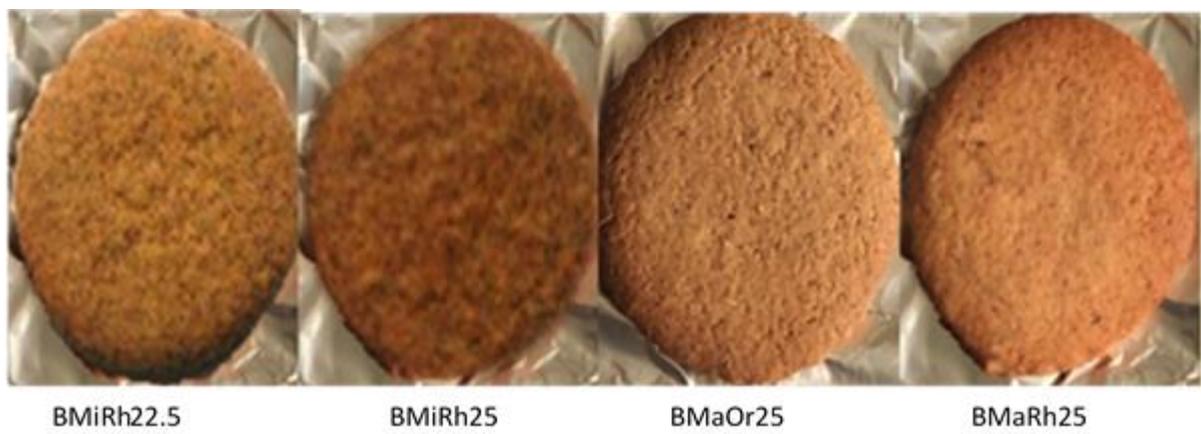
L'acceptabilité sensorielle de quatre biscuits produits à partir de farines (mil et maïs) enrichies aux insectes comestibles (*Rhynchophorus phoenicis* et *Oryctes owariensis*) a été évaluée (Figure 63).

Les biscuits BMaRh25 (Score =7,64), BMaOr25(Score = 6,43) et BMiRh22,5 (Score = 6,27) sont jugés agréables par les panelistes contrairement au BMiRh25 (Score = 4,6). En outre, la préférence du panel s'est portée sur le BMaRh25 (Figure 64). En effet, le BMaRh25 a obtenu les scores les plus élevés dans la plupart des attributs analysés tels que l'apparence (7,03), la

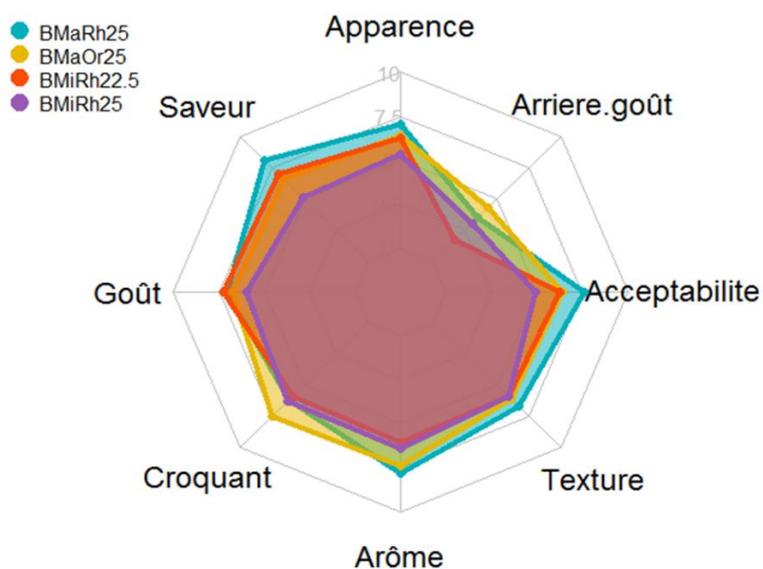
## Résultats et Discussion

saveur (8,11), l'arôme (7,8) et la texture (6,72). Pour ce qui est du croquant et du goût, ces attributs sont respectivement plus accentués chez le BMaOr25 (7,45) et chez le BMiRh22,5 (7,25).

Le biscuit à base de mil supplémenté de 25 % de *R. phoenicis* (BMiRh25) a été classé très bas en termes d'apparence (trop foncée), de saveur et de goût. En effet, Ils ont été jugés moins gustatifs que le biscuit de mil enrichi de 22,5 % de *R. phoenicis*. L'augmentation du taux d'incorporation de *R. phoenicis* a réduit l'acceptabilité globale du produit. Par ailleurs, une augmentation de l'arôme et de l'arrière-goût a été observée. S'agissant de l'arrière-goût, il est très peu perceptible chez tous les biscuits évalués.



**Figure 63** : Biscuits produits à base de farines (mil et maïs) enrichies aux insectes



**Figure 64** : Représentation des résultats de test hédonique des biscuits produits à base de farines (mil et maïs) enrichies aux insectes

### 3.2. Discussion

#### 3.2.1. Evaluation de l'entomophagie et impact sociodémographique

L'entomophagie est une pratique existante en Côte d'Ivoire et représentée variablement dans tous les groupes ethniques. En effet, 60,46 % des populations enquêtées sont entomophages. Ce taux est proche de celui d'Ehounou *et al.* (2018) qui a obtenu un taux de 65,4 % d'entomophages sur l'ensemble de la population enquêtée en Côte d'Ivoire. Aussi, Balinga *et al.* (2004) ont enregistré 65,8 % d'entomophages au Cameroun. Des proportions plus élevées ont été enregistrées au Congo (85 %). En plus, il a été estimé que l'entomophagie est pratiquée dans au moins 113 pays dans le monde (Jongema, 2017). C'est donc à juste titre que les Nations Unies ont recommandé cette pratique comme solution potentielle à la pénurie de denrées alimentaires dans le monde (van Huis *et al.*, 2013).

Selon Sobal & Bisogni (2009), le système alimentaire de chaque groupe ethnique est établi sur la base de certains facteurs sociaux, économiques et environnementaux. Ceci pourrait expliquer la variation des taux de consommation d'un peuple à l'autre ou la variabilité des taux de consommation dans les zones enquêtées. Aussi, pour Cicatiello *et al.* (2016), les facteurs socio-démographiques jouent-ils un rôle important dans le choix de la pratique de l'entomophagie. Toutefois, la présente étude révèle que le sexe et le niveau d'étude ne présentent aucune influence significative sur la connaissance et la pratique de l'entomophagie. Ces résultats sont contraires à ceux d'Anakware *et al.* (2017) et Ehounou *et al.* (2018). Pour ces auteurs, les femmes, les enfants et les sans-emplois sont plus favorables à la consommation des insectes. Néanmoins, d'autres auteurs (Nonaka & Toyama, 2005 ; Looy & Wood, 2006 ; van Huis *et al.*, 2013) s'accordent sur le fait que l'éducation jouerait un rôle dans l'augmentation de l'attitude positive envers les insectes comestibles. Au total, 11 espèces appartenant à cinq ordres ont été identifiées comme comestibles en Côte d'Ivoire. Ces résultats diffèrent de ceux d'Ehounou *et al.* (2018) par l'identification de l'espèce *Nudaurelia dione* mentionnée pour la première fois en Côte d'Ivoire comme insecte comestible. Cet insecte comestible a déjà été rapporté en Angola, en Afrique du sud et au Congo. Anakware *et al.* (2016) et Payne *et al.* (2016) ont quant à eux identifié 10 espèces pour le Ghana et la République Démocratique du Congo (RDC). Le Nigeria a enregistré un nombre plus élevé avec 17 espèces comestibles (Banjo *et al.*, 2006). Mais encore, Latham (2001) a également signalé un nombre plus élevé d'espèces de chenilles comestibles dans la forêt de Katanga (38 espèces). Par ailleurs, *Macrotermes subhyalinus* reste de loin l'espèce la plus consommée dans cette étude. Kelemu *et al.* (2015) ont aussi argué que les termites sont les plus consommées en Afrique australe. Pour Malaise *et*

## Résultats et Discussion

---

*al.* (2003), les termites sont les plus connus après les chenilles. Par contre, au Burkina Faso, l'insecte le plus consommé est la chenille du karité (*Cirina butyrospermi*), qui est considérée comme un ravageur des plantations d'arbres cultivés pour la production de beurre de karité (Anvo *et al.*, 2016). La consommation des termites pourrait être justifiée par leur qualité organoleptique mais également par leur disponibilité sur les marchés (Niaba, 2014 ; Ehounou *et al.*, 2018). En effet, les chenilles de *Cirina butyrospermi*, *Imbrasia oyemensis* et les termites ailés de *Macrotermes subhyalinus* sont les plus commercialisés sur les marchés ivoiriens. Ces résultats abondent dans le même sens que ceux de Taméssé *et al.* (2015) qui ont montré que les larves des Lépidoptères (34,36 %) et d'Isoptères (42,94 %) sont les insectes les plus commercialisés sur les marchés Camerounais. Bien qu'étant absentes sur le marché, les larves du genre *Rhynchophorus* sont incontestablement les plus prisées par les consommateurs (72 %).

Les insectes comestibles sont soumis à des traitements culinaires divers et variés. Ils sont généralement séchés afin de faciliter leur conservation. Dans certains pays africains, les enfants sont nourris avec de la farine à base de chenilles séchées pour lutter contre la malnutrition (FAO, 2004a). Dans la présente étude, les personnes interviewées les consommaient en majorité grillés accompagnés de semoule de manioc ou pas. Ce résultat est aussi mis en relief par Ekpo & Oningbinde (2007) au Nigeria. Selon ces auteurs, les insectes sont cuits étant grillés dans leur propre graisse et consommés avec des bâtons de manioc. Hongbété & Kindossi. (2017) ont allégué que les insectes comestibles au Bénin étaient séchés au soleil, frits, fumés ou grillés. Selon, van Huis (2003) en Afrique subsaharienne, *R. phoenicis* est souvent grillé ou frit sur des charbons. La cuisson améliore l'appétence des insectes et la disponibilité des éléments nutritifs. Néanmoins, la littérature a rapporté des consommations d'insectes à l'état cru. Ce mode de consommation est perçu comme thérapeutique par les populations indigènes (Hanboonsong, 2008). Netshifhefhe *et al.* (2018) ont constaté que la majorité des personnes interrogée dans le Limpopo (Afrique du Sud) consommaient des termites comestibles pour améliorer leur santé. Certaines ont tendance à associer la consommation des insectes à diverses pratiques médicinales au-delà de la nutrition (Raheem *et al.*, 2019). En illustration, Chen *et al.* (2009) dénotent que les chenilles ont des propriétés immunostimulantes et anticancéreuses. Dans la médecine traditionnelle Chinoise, *Antheraea pernyi* mâle est prescrit comme aphrodisiaque (Chen *et al.*, 2009). De même, Toms *et al.* (2003) ont également recommandé la consommation des insectes aux personnes séropositives pour le renforcement de leur système immunitaire. Aussi, les femmes enceintes et allaitantes ainsi que les anémiques sont encouragées à consommer des

chenilles pour améliorer leurs taux de protéines (Siame *et al.*, 1996 ; Illgner & Nel, 2000).

### 3.2.2. Facteurs incitant ou limitant la consommation des insectes

L'arôme est représenté dans la présente étude comme étant la principale source de motivation pour la consommation des insectes en Côte d'Ivoire. Abondant dans le même sens, diverses études dans d'autres pays en développement ont rapporté que l'arôme est le motif majeur de consommation d'insectes (Ayieko & Oriaro, 2008 ; Obopile & Seeletso, 2013). En dehors de l'arôme, la curiosité (22 %) et la connaissance de la valeur nutritive (15 %) sont aussi énumérées comme sources de motivation à la consommation. Ces facteurs ont été rapportés par Ehounou *et al.* (2018) en raison de 49,39 % pour le goût, 12,20 % pour la teneur en protéines et 17,43 % par curiosité. En revanche, Obopile & Seeletso (2013) ont découvert, dans leur étude au Botswana, que la valeur nutritive est indiquée par seulement 5 % des répondants comme facteur motivant. Il est donc pertinent de noter que ces facteurs varient d'un peuple à l'autre et par conséquent sont fonction des habitudes alimentaires.

La pratique de l'entomophagie fait face à plusieurs contraintes dont les principales évoquées dans cette étude sont la non-disponibilité et l'inaccessibilité aux insectes. En effet, les espèces consommées sont collectées dans leur habitat naturel dans des zones difficilement accessibles. Aussi leur disponibilité est-elle saisonnière. La surexploitation et la déforestation par l'homme restent également un sérieux défi pour la pratique actuelle et future de l'entomophagie (Morris, 2004 ; Schabel, 2006 ; Hoare, 2007). Par conséquent, un approvisionnement accru de ces espèces par l'élevage aura le potentiel de résoudre les problèmes de sécurité alimentaire à la fois en augmentant, le taux de consommation et les revenus des personnes impliquées dans la collecte et la commercialisation des insectes (N'Gasse, 2004 ; Ndoye & Tieguhong, 2004 ; Ehounou *et al.*, 2018). En dehors de la non-disponibilité, les insectes sont aussi perçus dans cette étude comme étant sales et impropres à la consommation. Pour d'autres personnes la consommation d'insectes ne fait pas partie de leur habitude alimentaire (van Huis, 2013). Balzan *et al.* (2016) a rapporté qu'en Italie, les personnes interrogées associaient les repas d'insectes à la saleté et à la contamination des aliments. Par ailleurs, en accord avec notre étude, Netshifhefhe *et al.* (2018) indique que 80,7 % des personnes interrogées dans le Limpopo (Afrique du sud) ont fait remarquer que certaines religions sont contre la consommation d'insectes, en particulier les églises traditionnelles. Egalement en Ethiopie, les croyances religieuses interdisent la consommation d'insectes (Ghosh *et al.*, 2020). Toutefois, Tan *et al.* (2015) ont conclu que c'était « l'expérience individuelle plutôt que culturelle » qui déterminait

les attitudes à l'égard de la consommation d'insectes et que « les jugements étaient fondés sur des souvenirs d'alimentation passée ».

### 3.2.3. Potentiel nutritionnel des différents insectes analysés

#### 3.2.3.1. Macronutriments des insectes comestibles

Les caractéristiques physico-chimiques des insectes comestibles ont été déterminées. Ainsi, l'analyse a permis de mettre en évidence le potentiel nutritionnel des espèces comestibles analysées. Les teneurs en humidité relativement faibles ( $5,97 \pm 0,20$  à  $25,18 \pm 0,80$  %) ont été obtenues chez toutes les espèces comestibles excepté, chez *Zonocerus variegatus* (55,09 %). De même, de faibles teneurs en humidité ont aussi été rapportées dans certaines études (Banjo *et al.*, 2006 ; Rumpold & Schlüter, 2013b ; Assielou *et al.*, 2016) pour les espèces *Rhynchophorus phoenicis* (2,7 %) et *Oryctes owariensis* (8,4 %). En revanche, des teneurs plus élevées en humidité (plus de 60 %) ont été enregistrées pour les espèces *Gonimbrasia alopia*, *Anaphe panda* et *Pseudonthera Discrepans* (Siulapwa *et al.*, 2014 ; Hlongwane *et al.*, 2020). Aussi, Hlongwane *et al.* (2020), avaient-ils obtenu des teneurs d'humidité variant entre 3 et 86 % avec les Lépidoptères. Toutefois, une faible teneur en humidité est souhaitable de sorte à faciliter la conservation et éviter le risque de détérioration microbienne des insectes comestibles sur une relative longue période (Siulapwa *et al.*, 2014 ; Manditsera *et al.*, 2018). Ainsi, les insectes comestibles analysés pourraient être conservés plus longtemps.

Les glucides représentent en dehors des lipides la principale source d'énergie qui alimente le muscle et les organes. Les teneurs en glucides déterminées chez les insectes comestibles variaient de 1,71 à 25,69 g/100g de MS. Aussi, des teneurs similaires ont été rapportées par Jonathan *et al.* (2012) pour *Rhynchophorus phoenicis* (20,2 g/100g de MS). Des teneurs plus élevées ont été enregistrées pour les espèces *Imbrasia oyemensis* ( $11,1 \pm 1$  g/100g de MS), *Zonocerus variegatus* (29,40 g/100g de MS), *Oryctes Owariensis* ( $14,33 \pm 0,23$  g/100g de MS), *Oryctes monoceros* (51,6 g/100g de MS), *Loba leopardina* (40,2 g/100g de MS), *Gryllotalpa africana* (47,2 g/100g de MS) (Edijala *et al.*, 2009 ; Ademolu *et al.*, 2010 ; Foua Bi *et al.*, 2015 ; Musundire *et al.*, 2016). Par conséquent, ces insectes comestibles peuvent être utilisés comme source de glucides. Ils contiennent des quantités relativement élevées de polysaccharides. Ces derniers jouent un rôle important dans le renforcement du système immunitaire du corps humain (Chen *et al.*, 2012a). De plus, les glucides permettent de réduire la consommation de protéines et d'aider à la désintoxication (Siulapwa *et al.*, 2014 ; Ahmad *et al.*, 2013). De même, Bukkens (1997) et Van Huis *et al.* (2013) ont révélé que les glucides chez les insectes existent

## Résultats et Discussion

---

principalement sous deux formes : la chitine et le glycogène. Le premier est un polymère de N-acétyl-D-glucosamine qui est le composant principal de l'exosquelette. Tandis que, le second est une source d'énergie stockée dans les cellules et les tissus musculaires (Schlüter *et al.*, 2017). En retour, la teneur en glucides des insectes comestibles ne permet pas de satisfaire les besoins en glucides d'un adulte humain estimée entre 400 et 500 g sous forme d'amidon (Siulapwa *et al.*, 2014 ; Banjo *et al.*, 2006). Également, les insectes comestibles ont révélé des niveaux de glucides aussi bas que 0,06 % (Rumpold & Schlüter, 2013b). Selon Finke & Oomincx (2014), les taux élevés obtenus chez certains insectes sont peut-être dus à la nourriture restant dans le tractus gastro-intestinal.

Les insectes comestibles sont de véritables sources de protéine avec des teneurs variant d'une espèce à une autre ( $32,75 \pm 2,38$  à  $51,55 \pm 0,03$  g/100 g MS). Ce résultat est en parfaite corrélation avec celui de la FAO (2013) qui a décliné une forte teneur protéique chez les insectes comestibles. Cependant, Akposan *et al.* (2009), Niaba (2014) et Koffi *et al.* (2017) ont rapporté des teneurs plus élevées respectivement pour *Imbrasia oyemensis* (57,77 g/100 g de MS), *Macrotermes subyalinus* (38,2 g/100 g de MS) et *Rhynchophorus phoenicis* (37,93 g/100 g de MS). Hlongwane *et al.* (2020) ont quant à eux enregistré une gamme de protéines variant entre 12 et 79 g/100 g MS pour les insectes comestibles en Afrique. Chen *et al.* (2008b) ont aussi avancé des teneurs en protéines de l'ordre de 13 à 77 g/100g de MS de 100 espèces d'insectes comestibles. Dans cette même veine, Ramos-Elorduy (1991), analysant la teneur en protéines des espèces d'insectes de plusieurs ordres différents au Mexique, dénote une gamme en protéines de 34-72 g/100g de MS pour l'ordre des Lépidoptères, 52-77 g/100g de MS pour l'ordre des Orthoptères et 20-69 g/100g de MS pour l'ordre des Coléoptères. En général, la teneur en protéines des insectes est comparable à celle des viandes conventionnelles (bœuf et porc), qui varie généralement de 40 à 75 g/100 g MS (FAO, 2013 ; van Huis *et al.*, 2013 ; Ghosh *et al.*, 2017). Ces différents résultats obtenus reflètent la variabilité du potentiel nutritionnel des espèces d'une localité à une autre (Schlüter *et al.*, 2017). En effet, la composition nutritionnelle des insectes varie en fonction de son milieu de vie et de son stade d'évolution. Aussi, ses protéines sont-elles affectées par le mode de préparation. Effectivement, les chenilles mopanes dont les teneurs en protéines varient déjà à l'état cru (entre 48 et 61 g/100gMS) (Glew *et al.*, 1999) conservent plus de protéines lorsqu'elles sont séchées. Le rôle essentiel d'une protéine alimentaire est de satisfaire les besoins du corps en azote et en acide aminés essentiels (OMS, 1985). La teneur élevée en protéines des insectes comestibles pourrait aider à lutter contre les carences en protéines en Afrique. En effet, la carence en protéines est un contributeur majeur à la malnutrition humaine. En Afrique, cette carence est la forme la plus courante de malnutrition,

## Résultats et Discussion

---

qui doit être traitée (FAO, 2014). Par conséquent, l'incorporation d'insectes comestibles dans l'alimentation quotidienne pourrait aider à réduire les taux de malnutrition et les carences nutritionnelles.

Bien que les insectes soient principalement considérés comme une source de protéines, de nombreuses espèces sont riches en matières grasses et qui pourraient être utilisées directement ou indirectement pour améliorer la texture, la saveur et la digestibilité des aliments. En effet, le taux de matières grasses des insectes de cette étude se situait entre 8,94 et 46,06 g/100g de MS. La matière grasse obtenue chez *Macrotermes subhyalinus* (46.06±8.31 g/100 g MS) corrobore celle de 46,3 g/100 g enregistrée par Niaba (2014) pour la même espèce. Par contre, Akpossan *et al.* (2009) ont obtenu une teneur plus faible pour *Imbrasia oyemensis* (23,79 g/100 g de MS). Ces résultats diffèrent également de celui de *Z. variegatus* (17,65±3,24 à 22,93 3±37g/100g de MS) rapporté par Aiyesanmi & Adedire (2015). Rumpold & Schlüter, (2013b) ont enregistré pour les ordres des Orthoptères, les Lépidoptères (chenilles), les blattes, les Isoptères (termites), les Hémiptères et les Coléoptères des teneurs moyennes en matières grasses respectives de 13,41 %, 27,66 %, 29,90 %, 32,74 %, 30,26 % et 33,40 %. Cette matière grasse est essentielle pour le bon fonctionnement structurel et biologique des cellules. Elle contribue au transport des vitamines liposolubles essentielles sur le plan nutritionnel (Omotoso, 2006). Selon Ghosh *et al.*, (2017), la qualité de cette matière grasse dépend de la composition en acide gras. Il ressort que, la composition en acide gras varie d'une espèce à une autre. De façon générale, les insectes analysés avaient un taux d'acide gras saturé (AGS) (52,31±1,01 à 56,16±1,56 g/100g MG) supérieur à celui des acides gras insaturés (AGI) (45,18±1,50 à 50,06±1,36 g/100g MG) hormis *Zonocerus variegatus* qui évoluait dans le sens inverse. Des profils d'acides gras similaires ont été dressés par certains auteurs (Akpossan *et al.*, 2009 ; Yapo *et al.*, 2017 et Atowa *et al.*, 2020) pour les espèces *Imbrasia oyemensis*, *Cirina butyrospermi* et *Zonocerus variegatus*. Par ailleurs, un taux élevé de AGS dans l'alimentation n'est pas souhaitable en raison du lien entre les acides gras saturés et le trouble artérioscléreux (Ghosh *et al.*, 2017). En fait, les AGS sont des facteurs alimentaires ayant un impact néfaste plus accru sur le cholestérol LDL (lipoprotéines de basse densité). Leur consommation en forte proportion peut augmenter le risque de maladie cardio-vasculaire et favoriser la formation de thromboses (FAO/OMS, 1993 ; Ghosh *et al.*, 2017). Parmi ces acides, l'acide myristique hausse le plus le taux de cholestérol (Mensink, 1993) alors que, l'acide stéarique décroît ce taux de 21 % (Bonanome & Grundy, 1988). Il a été également démontré que, les acides gras monoinsaturés (AGMI) et acides gras polyinsaturés (AGPI) de la famille n-6 diminuent les concentrations plasmatiques de cholestérol (Chakravorty, 2014 ; Ghosh *et al.*, 2017). Les AGPI multiplient les effets bénéfiques tout en

## Résultats et Discussion

---

réduisant le risque de maladie coronarienne (CHD), modulant principalement le métabolisme des VLDL et rationnant les triglycérides plasmatiques (TG) (Nordø *et al.*, 2001 ; Demaison & Moreau, 2002). L'acide alpha-linolénique (plus important chez les Lépidoptères) joue un rôle important dans la nutrition humaine dans la mesure où il réduit considérablement la survenue et les effets des troubles cardiovasculaires, hypertensifs, inflammatoires, auto-immuns, de la dépression et de certaines fonctions neurologiques (Christensen *et al.*, 2005 ; Ferrucci *et al.*, 2006). L'acide oléique (C18:1n-9) a fait des espèces *Macrotermes subhyalinus* (40,71±1,12 g/100 g de MG), *Oryctes owariensis* (43,91±0,92 g/100 g de MG) et *Rhynchophorus phoenicis* (39,52±0,87 g/100 g de MG) des candidats idéals dans la formulation d'aliment pour personnes souffrant d'hypercholestérolémie ou d'un rapport de déséquilibre de cholestérol. Eu égard à ce qui précède, l'acide oléique est capable de réduire le taux de cholestérol sanguin et de le ramener dans les normes acceptables (Bourre *et al.*, 2000 ; Connor, 2000 ; Dommels *et al.*, 2002 ; Corbett, 2003). Aussi, cet acide permettra-t-il de répondre au besoin en Oméga-9 estimé à 25 g/jour pour les femmes et 30 g/jour pour les hommes. Le bénéfice nutritionnel de l'acide oléique est aussi toisé dans l'étude de Niaba (2014) qui a quant à lui obtenu une teneur plus élevée d'acide oléique avec *Macrotermes subhyalinus* (45,01 g/100 g de MG). Cependant, des teneurs plus faibles ont été observées par Akpoussan *et al.* (2009) pour *Imbrassia oyemensis* (5,06±0,01 g/100 g de MS) par Yapo *et al.* (2017) pour *Cirina butyrospermi* (0,72±0,22 g/100g de MS). Les insectes comestibles peuvent être utilisés pour fournir des acides gras essentiels, requis par le corps humain. De plus, la graisse joue un rôle important en fournissant de l'énergie. Effectivement, ces différentes espèces étudiées présentent des valeurs énergétiques élevées allant de 216,46±2,16 à 619,53±2,08 kcal/100 g de MS. Ces valeurs avoisinent la fourchette de 298 à 762 kcal/100g de MS rapportée par Rumpold & Schlüter (2013b) pour 78 espèces analysées au Mexique. Par ailleurs, Amon *et al.* (2009) et Niaba (2014) ont obtenu une teneur plus faible respectivement pour *I. oyemensis* (470 kcal/100 g de MS) et *M. subhyalinus* (581,5 kcal/100 g de MS). Contrairement à cette étude, Atowa *et al.* (2020) ont enregistré une valeur énergétique plus élevée pour l'espèce *Z. variegatus* (480,27±5,81 kcal/100 g de MS). En outre, certains insectes comestibles se sont avérés plus énergétiques que la viande de bœuf (150 kcal/100 g de MS) et le poisson (100 kcal/100 g de MS) (Lavalette, 2013). Il en va de même pour le riz (345 kcal/100 g de MS), le blé (345 kcal/100 g de MS), les céréales complètes (335 kcal/100 g de MS) et l'œuf (173 kcal/100 g de MS) souligné par Srilakshmi (2012). Cette énergie peut être utilisée pour les besoins journaliers de l'organisme humain et c'est à juste titre que la FAO (2014) encourage leur consommation par l'homme et leur incorporation au sein des farines alimentaires afin de lutter contre les déficits nutritionnels.

### 3.2.3.2. Caractéristiques physico-chimiques de la matière grasse

La qualité de la matière grasse des insectes comestibles a aussi été démontrée à travers son indice de peroxyde. En effet, la valeur d'indice de peroxyde trouvée ( $1,06 \pm 0,06$  à  $10,77 \pm 1,04$  méq  $O_2/kg$ ) à majorité est inférieure à 10 méq  $O_2/kg$  ce qui caractérise la plupart des huiles conventionnelles décrites par le Codex Alimentarius (1992). L'indice élevé obtenu pour l'espèce *I. oyemensis* se justifie éventuellement par l'oxydation de celle-ci (Asiedu, 1991 ; Akpossan *et al.*, 2009 ; Niaba, 2014 ; Boko *et al.*, 2020). Cette oxydation est probablement due aux conditions de récolte, de conservation, de fumage et de vente des chenilles qui sont exposées sur les étals sans protection aucune ou enfermées dans des sacs (Akpossan *et al.*, 2009). Cet indice avoisine ceux trouvés chez *Imbrasia oyemensis* par Akpossan *et al.* (2009) et Foua Bi *et al.* (2015) qui sont respectivement de  $10,07 \pm 0,11$  et  $10,87 \pm 0,4$  méq  $O_2 / Kg$ . L'indice d'iode vient renseigner sur le degré d'insaturation de la matière grasse. En effet, plus l'indice d'iode d'un corps gras est élevé, plus sa teneur en acides gras insaturés est élevée. Elle est utilisée pour quantifier le nombre de doubles liaisons présentes dans l'huile qui reflète la sensibilité de l'huile à l'oxydation (Alais & Linden, 1997 ; Ekpo *et al.*, 2009). Cette valeur élevée en indice d'iode obtenu pour ces insectes peut être due à l'important taux d'acides gras insaturés de la matière grasse. En outre, ces taux sont supérieurs à certains répertoriés (Akpossan *et al.*, 2009 ; Niaba, 2014 ; Foua Bi *et al.*, 2015 ; Assielou *et al.*, 2015) pour les espèces *Imbrasia oyemensis* ( $51,07 \pm 0,68$  g de  $I_2/100g$  de MG), *Oryctes owariensis* ( $105,25 \pm 0,15$  g de  $I_2/100g$  de MG) et *Macrotermes subhyalinus* (103 g de  $I_2/100g$  de MG). Le faible indice d'acide met en relief la résistance au rancissement et une durée de conservation plus élevée (Akpossan *et al.*, 2009). De même, un indice d'acide de 0,00 à 4,00 mg de KOH/g d'huile est recommandé pour que l'huile trouvée soit congruent dans la cuisine (Oderinde *et al.*, 2020). Ceci rend la matière grasse des larves de *Cirina butyrospermi* ( $1,65 \pm 0,58$  mg de KOH/g de MG) ; *Oryctes owariensis* ( $3,21 \pm 0,51$  mg de KOH/g de MG) et *Rhynchophorus phoenicis* ( $3,13 \pm 0,37$  mg de KOH/g de MG) convenables à la cuisson. Selon des études (FAO, 2004a ; Riziki, 2011), ces potentialités permettent de penser que ces graisses pourraient être intégrées dans des formulations cosmétiques, pharmaceutiques et agroalimentaires.

### 3.2.3.3. Micronutriments des insectes comestibles

Les vitamines sont décrites comme des composés organiques nécessaires au métabolisme du corps humain. En effet, elles jouent un rôle essentiel dans le processus biologique ainsi que dans l'amélioration du fonctionnement du système immunitaire. Comme certains aliments, les

## Résultats et Discussion

---

insectes analysés dans cette étude, se sont avérés être de véritables sources de vitamine C avec une teneur plus élevée chez *Rhynchophorus phoenicis* estimée à 400 mg/100g de MS. Ces résultats ne corroborent pas les intervalles de teneurs en vitamine C répertoriés par certains auteurs (Banjo *et al.*, 2006 ; Epko *et al.*, 2010 ; Igwe *et al.*, 2011) pour les Isoptères (3,01 à 17,76 mg/100 g de MS), les Coléoptères (4,25 à 7,59 mg/100 g de MS), les Orthoptères (0,0 à 8,64 mg/100 g de MS) et les lépidoptère (1,95 à 4,52 mg/100 g de MS). De plus, les valeurs obtenues sont de loin supérieures à celles chiffrées par Ademolu *et al.* (2010) et Okunowo *et al.* (2017), pour *Zonocerus variegatus* (11,7 mg/100 g de MS) et pour *Rhynchophorus phoenicis* (11,14 mg/100 g de MS). Les insectes pourraient être de bons suppléments vitaminiques et ainsi aider le corps à la synthèse du collagène, une protéine essentielle à la formation du tissu conjonctif de la peau, des ligaments et des os. Alamu *et al.*, (2013) ont également ajouté que la vitamine C stabiliserait le flux des vaisseaux sanguins dans les artères et éliminerait des espèces réactives de l'oxygène. L'un des avantages les plus importants dérivant de la vitamine C est son rôle d'antioxydant, de piègeurs de radicaux libres d'oxygène. En dehors de la vitamine C, les insectes contiennent une variété de vitamines hydrosolubles ou lipophiles (Finke, 2004 ; Xiaoming *et al.*, 2010 ; Oonincx *et al.*, 2012). Les vitamines E, B1, A et B2 ont été retrouvées chez *Rhynchophorus phoenicis* à des teneurs respectives de 25,18 mg/100g de MS, 4,12 mg/100g de MS, 11,3 mg/100g de MS et 2,2 mg/100g de MS (Banjo *et al.*, 2006 ; Okunowo *et al.*, 2017). Banjo *et al.* (2006) ont identifié les vitamines A et B2 chez *Zonocerus variegatus*. Selon Finke (2002), plusieurs espèces de larves de lépidoptères et des espèces de termites contiennent des quantités importantes de vitamine A (rétinol). De même, Bukkens (1997) a rapporté que les teneurs en vitamines B1, B2 et B3 trouvées chez certains insectes comestibles sont plus élevées que celles présentes dans le poulet, le bœuf ou le saumon.

La teneur élevée en cendres ( $0,96 \pm 0,01$  à  $10,98 \pm 1,37$  %) observée traduit l'importante quantité des minéraux que renferment certaines espèces analysées. Effectivement, des minéraux dont le Ca, Mg, K, Na, Cu, Zn, Fe, Mn, Mo et Se ont été dosés à partir des cendres des insectes étudiés. Le potassium (6658,20 à 32527,24 mg/kg de MS), le calcium (2305,4 à 8669,33 mg/kg de MS), le magnésium (977,18 à 4879,89 mg/kg de MS) et le sodium (415,46 à 4350,11 mg/kg de MS) ont été attestés comme les micronutriments les plus abondants. La variation des teneurs en minéraux entre les espèces analysées pourrait s'expliquer par le fait de changement des aliments saisonniers et de l'alimentation des espèces (Kinyuru *et al.*, 2010 ; Atowa *et al.*, 2020). Par ailleurs, l'abondance en potassium est bénéfique pour le bon fonctionnement de l'organisme, selon IPI (2013). En effet, le potassium est le principal cation du liquide intracellulaire et

## Résultats et Discussion

---

participe à l'équilibre acido-basique, à la régulation de la pression osmotique, à la conduction de l'influx nerveux, à la contraction musculaire, ainsi qu'à la réduction des calculs rénaux. De plus, les teneurs élevées en calcium et en magnésium des insectes analysés pourront combler les appétences selon les valeurs référencées (besoins conseillés chez l'adulte à 10 mg/kg/j pour le calcium et 5 à 7 mg/kg/j pour le magnésium) par EFSA (2015). D'un point de vue médical, le calcium trouve son importance dans la lutte contre l'ostéoporose et plusieurs autres maladies chroniques telles que l'hypertension et le cancer du côlon (NAMS, 2001). Il aide à maintenir l'équilibre acide-base dans l'organisme et favorise le contrôle du métabolisme énergétique (FAO/OMS, 1993 ; Osasona & Olaofe, 2010). Son abondance chez *Oryctes owariensis* (3559,206 mg/kg de MS) fait de lui un aliment de choix. Tout comme le calcium, le magnésium agit sur différents organes des systèmes cardiovasculaires et neuromusculaires (Chen *et al.*, 2002). C'est un cofacteur qui participe à plus de 300 réactions enzymatiques ; ce qui en fait un élément essentiel pour la synthèse des glucides, des lipides, des acides nucléiques et des protéines.

Il est à noter également que, les micronutriments sont bénéfiques pour l'organisme, ils interviennent dans la fortification des os des adultes. Aussi, jouent-ils un rôle de bio-activateur et d'équilibre osmotique dans le métabolisme cellulaire. Ils favorisent aussi la croissance des enfants (Schapira, 1981). Pour Chalem (2003), le zinc fait partie intégrante de nombreuses enzymes et est important pour le corps humain. La carence en zinc est un problème majeur de santé publique, en particulier pour les enfants et les mères allaitantes. Ainsi, les espèces *Rhynchophorus phoenicis* (209 mg/kg de MS) et *Oryctes owariensis* (147 mg/kg MS) qui sont plus riches en zinc seraient adéquates pour réduire les retards de croissance et les lésions cutanées (FAO/OMS, 2001). Selon Insel *et al.* (2007) et Adepoju (2014), le zinc est un antioxydant efficace, qui participerait également au stockage et à la libération d'insuline, à la sécrétion d'enzymes digestives ou encore à la sécrétion d'acide par les cellules pariétales de l'estomac. Il possède des rôles de régulations au niveau de l'expression génique et de la signalisation intracellulaire (CCS, 2009 ; EFSA, 2014). Cette étude abonde dans le même sens que celui de Bukkens (2005) qui a obtenu 26,5 mg/100 g pour *Rhynchophorus phoenicis*. De façon générale, les insectes comestibles sont considérés comme de bonnes sources de zinc comparativement à la viande de bœuf (12,5 mg/100g de MS) (Bukkens, 2005). De même, la forte teneur en fer (95 à 432 mg/kg de MS) pour ces espèces particulièrement pour *Zonocerus variegatus* est utile au bon fonctionnement des cellules (surtout chez les personnes anémiques). En effet, le fer est un constituant indispensable pour les globules rouges (FAO, 2004b). Certains auteurs (Banjo *et al.*, 2006 ; Assielou *et al.*, 2015 ; Foua Bi *et al.*, 2015 ; Anvo *et al.*, 2016) ont

rapporté des quantités importantes en fer pour *Zonocerus variegatus* (910 mg/100 g), *Imbrasia oyemensis* (70,214 mg/100 g), *Cirina butyrospermis* (13 mg/100 g) et *Oryctes owariensis* (20,26 mg/100 g). Ces quantités permettent de couvrir les besoins recommandés par l'EFSA (2015) et la FAO (2004b) qui sont de 9 à 20 mg/kg/j. Concernant le cuivre, il joue un insigne rôle dans la respiration cellulaire, l'amidation des peptides, la biosynthèse des neurotransmetteurs, la formation de pigments et le tissu conjonctif. En dépit de cela, sa présence en excès est toxique pour la consommation (Vishal & Stephen, 2008 ; Ghosh *et al.*, 2017). En outre, la présence de sélénium dans les insectes comestibles est décrite comme étant un avantage supplémentaire du fait que cet élément est caractérisé par des propriétés protectrices anti-oxydantes empêchant la peroxydation lipidique (Insel *et al.*, 2007 ; Adepoju, 2014). En plus, la richesse en oligo-éléments des insectes pourrait accélérer la détoxification, inhiber l'activité cancérigène, et empêcher la croissance et la division des cellules cancéreuses (Rong *et al.*, 1987 ; Zhou *et al.*, 2014 ; Weiping *et al.*, 2017).

Les sources alimentaires conventionnelles (surtout les produits laitiers) riches en minéraux, sont souvent inaccessibles à une large population, en raison de leur coût. Dès lors, la consommation des insectes prédominant en oligoéléments tels que le zinc et le fer aiderait une bonne frange de la population particulièrement les nourrissons, les enfants, les adolescents et les femmes en âge de procréer ou enceintes des pays en voie de développement (FAO, 2014 ; van Huis, 2016).

### 3.2.3.4. Propriétés fonctionnelles des insectes comestibles

En dehors de la qualité nutritionnelle, le potentiel fonctionnel des farines d'insectes a été également déterminé. L'analyse a présenté une fluctuation d'une espèce à l'autre. Cette différence observée pourrait être un bon indicateur de leur application dans la confection d'aliments. En effet, la capacité d'absorption en eau (CAE) est une propriété importante dans les produits alimentaires qui nécessitent la liaison de l'eau pour améliorer l'épaississement ainsi que la viscosité de l'aliment (Seena & Sridhar, 2005). La CAE s'est avérée être significativement élevée pour les espèces *I. oyemensis* (170,87±14,71 %), *O. owariensis* (176,18±9,18 %) et *Z. variegatus* (177,66±25,91 %). Des CAE plus élevées ont été obtenues dans des revues (Omotoso 2006 ; Assielou *et al.*, 2015 ; Koffi *et al.*, 2017 ; Atowa *et al.*, 2020) pour les espèces *O. owariensis* (220,33±1,5 %), *Z. variegatus* (201,5 %), *R. phoenicis* (281,73±5,74 %). Par contre, Adeyeye *et al.* (2015) ont enregistré une CAE de 125,5 % pour le *Z. variegatus*. Néanmoins, ces CAE restent supérieures à celles rapportées pour les farines de légumineuses décortiquées (122,6 g/100 g), de niébé (128,5 g/100 g) et de pois chiche (136,2

## Résultats et Discussion

---

g/100 g) (Ghavidel & Prakash, 2006). Cette variation de CAE pourrait être due à la structure protéique et à la présence de différents glucides hydrophiles dans la farine des insectes (Aremu *et al.*, 2009 ; Zielinska *et al.*, 2015).

En outre, la capacité d'absorption de l'huile est importante dans les applications alimentaires dans le but d'améliorer l'appétence et la sensation en bouche, de même que la préservation de la saveur (El Nasri & El Tinay, 2007 ; Aremu *et al.*, 2009). Kinsella (1979) la définit comme étant un mécanisme de piégeage physique de l'huile. Des lors, la forte capacité d'absorption en huile obtenue pour *Z. variegatus* (235,14±22,79 %) et *Oryctes owariensis* (210,73±1,02 %) les rendent plus aptes à l'augmentation de la palatabilité des aliments formulés. Akubor & Eze (2012) ont montré que la CAH est utile dans la formulation d'aliments tels que les saucisses et les produits de boulangerie par sa capacité à augmenter le pouvoir levant de la levure chimique. Selon Onimawo & Akubor (2005), la CAH est une indication de la vitesse à laquelle les protéines se lient aux graisses dans les formulations alimentaires.

Le pouvoir moussant (PM) et la stabilité de la mousse (SM) s'inscrivaient dans des fourchettes respectives de 2,55 à 27,76 % et 2,02 à 76,68 %. Les valeurs les plus élevées du PM et de la SM parmi les insectes analysés ont été décelées respectivement chez *Z. variegatus* (27,75 %) et *R. phoenicis* (76,67 %). Adeyeye *et al.* (2015) ont rapporté un PM faible pour la même espèce. Aussi, l'espèce *I. oyemensis* n'a affiché aucun pouvoir moussant (Gravel & Doyen, 2020). Ceci le rend inadapté à la formulation des produits nécessitant la mousse. Cependant, la stabilité de la mousse du *Z. variegatus* (66,7 %) rapportée par ces auteurs reste de loin plus élevée. Le meilleur pouvoir moussant des espèces impliquerait une plus grande incorporation des bulles d'air dans le produit. Ces résultats indiquent également que les protéines et autres composants de l'espèce *Z. variegatus* ont la capacité d'adsorber rapidement à l'interface air-eau pendant le bullage et de subir un changement et un réarrangement conformationnel rapide à l'interface. En effet, certains auteurs (Graham & Phillips, 1976 ; Singh *et al.*, 2012 ; Mundi & Aluko, 2012) s'accordent sur le fait qu'une bonne aptitude au moussage serait liée à des molécules de protéines flexibles ; ce qui réduit la tension superficielle. D'autre part, la faible aptitude au moussage des insectes analysés peut être liée à des protéines globulaires hautement ordonnées, qui résisteraient à la dénaturation de la surface (Assielou *et al.*, 2015). Toutefois, cette formation et stabilité de la mousse serait fortement dépendante du type de protéine, du pH, des méthodes de traitement, de la viscosité et de la tension superficielle (Assielou *et al.*, 2015). Dans la technologie alimentaire, les mousses sont utilisées pour améliorer la texture, la consistance et l'apparence des aliments. L'utilisation des insectes serait un palliatif pour

répondre à l'exploitation alternative d'agent moussant (des œufs) pour la production alimentaire (Hall *et al.*, 2017).

L'activité émulsifiante reflète la capacité d'une protéine à aider à la formation d'une émulsion. Villaseñor *et al.* (2021) ont défini la capacité d'émulsion (CE) comme étant la quantité maximale de lipides pouvant être liée à une molécule amphiphile dans certaines conditions. Ceci pourrait expliquer la corrélation existante entre la teneur en lipide des insectes et l'activité émulsifiante (coefficient = 0,67) ainsi que la stabilité de l'émulsion (coefficient = 0,52). Par ailleurs, la stabilité de l'émulsion reflète normalement la capacité des protéines à conférer de la force à une émulsion pour la résistance au stress et aux changements et est donc liée à la consistance de la zone interfaciale sur une période de temps définie (Pearce & Kinsella, 1978). Pour l'activité émulsifiante, la valeur plus élevée a été notée pour les protéines de *Imbrasia oyemensis* (66,04±4,20 g/100 g de MS). Cette espèce a également révélé une plus forte stabilité d'émulsion (103,32±0,61 %). Certaines études (Omotoso, 2014 ; Gravel & Doyen, 2020) ont attesté des AE supérieures pour le ver à soie *Bombyx mori* (75 %), *Oryctes owariensis* (104,84 %) et *Imbrasia oyemensis* (80,85 %) mais avec une SE inférieure respectivement de 23 %, 1,23 % et 88,14 %. De même, *Zonocerus variegatus* rapporté par Adeyeye *et al.* (2015), a observé une AE et une SE plus faible estimées à 25,6 % et 46,7 %. Les résultats enregistrés dans cette étude s'accordent parfaitement à ceux de Zielińska *et al.* (2015) qui ont obtenus des stabilités d'émulsion plus importantes chez l'espèce ayant noté une valeur protéique plus élevée. De plus, pour ces mêmes auteurs, la stabilité d'émulsion élevée pourrait être associée à la présence d'une grande quantité d'acides aminés hydrophobes mais aussi à la présence importante de phospholipides (Belhaj *et al.*, 2010). Ainsi, la capacité des protéines de ces insectes à améliorer l'activité et la stabilité de l'émulsion, les rend utile dans la fabrication des gâteaux et desserts. De même, ces propriétés sont très importantes dans la fabrication de vinaigrette (Yu *et al.*, 2007).

### **3.2.4. Risques liés à la consommation des insectes comestibles**

#### **3.2.4.1. Facteurs antinutritionnels**

Les facteurs antinutritionnels tels que les phytates, les oxalates et les tanins déterminés dans cette étude sont décrits comme des composés limitants l'absorption des éléments nutritifs par l'organisme (Agbede & Aletor, 2005 ; FAO, 2016). En effet, les phytates forment des complexes avec les minéraux tels que le calcium, le fer, le magnésium, et le zinc. Ils influencent

## Résultats et Discussion

---

leur solubilité et leur biodisponibilité (Groff *et al.*, 1995 ; Epko *et al.*, 2010 ; Bhandari *et al.*, 2005 ; Ukwo *et al.*, 2021). Le phytate est aussi capable de complexer les glucides par l'entremise des ponts hydrogènes et d'affecter leur digestibilité. Cela entraîne une réduction de l'index glycémique (Kumar *et al.*, 2010). Les résultats de cette étude indiquent une variation du taux de phytate allant de  $94,14 \pm 10,77$  à  $2059,96 \pm 5,12$  mg/100 g de MS pour *Nudaurelia dione*. Des teneurs plus élevées en phytates ont été indiquées par Adeduntan (2005) pour le criquet (3159,02 mg/100 g de MS) et pour les termites (2482,08 mg/100 g de MS). Par contre, des valeurs plus faibles ont été référées dans la littérature (Ekpo *et al.*, 2010 ; Ajayi, 2012 ; Ukwo *et al.*, 2021) pour les espèces *Rhynchophorus phoenicis* ( $11,05 \pm 1,20$  mg/100 g de MS), *Zonocerus variegatus* (0,028 mg/100 g de MS), *Macrotermes subhyalinus* (15,6 mg/100 g de MS) *Macrotermes nigeriensis* ( $15,29 \pm 0,21$  mg/100 g de MS).

Les composants antinutritionnels tels que les oxalates et l'acide phytique présents dans les aliments sont connus pour avoir des effets néfastes sur la nutrition humaine en inhibant l'absorption des minéraux (Hurrell *et al.*, 1999 ; Gibson *et al.*, 2006). Ainsi, la détermination du ratio antinutritionnel/minéraux a permis de prédire la biodisponibilité des minéraux présents chez les insectes comestibles analysés. Les faibles ratios oxalate/minéraux (inférieurs à 2,5) sont bénéfiques. Selon Hassan *et al.* (2011), un rapport supérieur à 2,5 indique qu'un aliment contient un excès d'oxalate biodisponible, alors que les aliments ayant un rapport inférieur à cette valeur critique contiennent suffisamment de calcium ou de minéraux similaires pour minimiser la formation d'oxalate soluble responsable de calculs renaux (Gontzea & Sutzescu, 1968). En ce qui concerne le phytate, la consommation des insectes analysés aura tendance à limiter la biodisponibilité des minéraux tels que le fer, le calcium et le potassium pour l'organisme (Umar, 2005). Effectivement, ces échantillons se sont avérés être au-dessus du niveau critique connu pour altérer la biodisponibilité de ces minéraux. De plus, la capacité du phytate à former des complexes insolubles avec des cations divalents dans l'intestin humain aura pour conséquence d'augmenter la disponibilité d'oxalate soluble pour l'absorption et l'excrétion urinaire (Al-Wahsh *et al.*, 2005). Toutefois, la concentration en phytate des espèces *M. subhyalinus*, *R. phoenicis* et *O. owariensis* est insuffisante pour réduire le potassium disponible chez ces espèces. D'un point de vue général, l'espèce *M. subhyalinus* présente une meilleure biodisponibilité en minéraux tel que le calcium par rapport aux autres espèces analysées.

En ce qui concerne les tanins, les valeurs enregistrées dans cette étude sont entre  $8,01 \pm 0,44$  mg/100g de MS chez *Macrotermes subhyalinus* et  $54,43 \pm 4,53$  mg/100 g de MS chez *Nudaurelia dione*. La littérature (Epko *et al.*, 2010 ; Ifie & Emeruwa, 2011 ; Ajayi, 2012 ; Omotoso, 2014 ;

Ukwo *et al.*, 2021) fait mention d'une présence moins accentuée chez certaines espèces telles que *Rhynchophorus phoenicis* (5,24 mg/100 g de MS), *Zonocerus variegatus* (0,042 mg /100 g de MS), *Oryctes rhinoceros* (0,64±0,03 mg /100 g de MS). Mais, le taux rapporté par Offiah *et al.* (2019) pour *Oryctes rhinoceros* (299 mg/100 g de MS) reste de loin plus élevé. Le taux élevé en tanins pourrait être désavantageux sur le plan nutritionnel. En effet, les tanins présentent la capacité de décroître la disponibilité en protéines (provoquant des carences en protéines) par la compétition antagoniste et la coagulation de celles-ci (Ekpo *et al.*, 2010). De même, l'étude de Siddhuraju *et al.* (2002) a montré que les tanins peuvent également exercer des effets stériques (en raison de leur grande taille) et empêcher les enzymes d'accéder aux protéines. Aussi, ils possèdent également la capacité d'adsorption des minéraux comme le fer et le zinc. Sur le plan organoleptique, la teneur élevée en tanins dans les régimes alimentaires est attribuée à sa propriété astringente, qui est une conséquence de sa capacité à se lier aux protéines de la salive et des membranes muqueuses (Ifie & Emeruwa, 2011 ; Das & Mandal, 2013). Toutefois, Okon & Ekpo (2008) signalent que cette toxicité pourrait également être réduite par l'ébullition et la fermentation. Par ailleurs, les tanins peuvent être bénéfiques sur le plan thérapeutique (Groff *et al.*, 1995). Dans la même veine, Dae (2018) a mentionné que les tanins ont diverses activités pharmacologiques contre de nombreuses maladies chroniques tels que les maladies cardiovasculaires, les maladies inflammatoires, le cancer, l'obésité et le diabète en raison de leur forte activité antioxydante.

D'un point de vue général, l'espèce *Macrotermes subhyalinus* est plus apte à la consommation au regard de sa faible teneur en éléments antinutritionnels. Cependant, un traitement adéquat (ébullition et la fermentation) sur les autres espèces réduirait les effets néfastes associées aux facteurs antinutritionnels pour le consommateur.

### 3.2.4.2. Risque allergénique

Les réactions allergiques alimentaires sont définies comme des « réactions indésirables à un aliment ou à un composant alimentaire par ricochet inoffensives, qui impliquent une réponse anormale du système immunitaire du corps à des protéines spécifiques (allergènes) dans les aliments » (FAO / OMS, 2001). Le présent travail met en évidence les allergènes présents chez les insectes comestibles en Côte d'Ivoire. Ces allergènes sont entre autres l'arginine kinase, la tropomyosine, l'actine et l'alpha-amylase. L'arginine kinase a été authentifiée comme étant un allergène chez *Rhynchophorus phoenicis* et *Oryctes owariensis* avec un poids moléculaire de 40 kDa. Cela correspond bien aux résultats présentés par Barre *et al.* (2016) selon lesquels l'arginine kinase de 40 kDa a été détectée (à partir de sérums de patients allergéniques aux

## Résultats et Discussion

---

crustacés) comme étant un allergène du vers de farine et du grillon. L'arginine kinase est une phosphotransférase qui joue un rôle essentiel dans le métabolisme énergétique des invertébrés et joue également un rôle important dans le couplage de la production d'énergie pour la mobilisation musculaire, l'utilisation et la réponse immunitaire (Wang *et al.*, 2012). Cet allergène est très répandu chez les invertébrés, en particulier chez les crustacés et chez les insectes (Chen *et al.*, 2008a ; Shafique *et al.*, 2010), chez la *Blattella germanica* (Chuang *et al.*, 2010), la pyrale indienne *Plodia interpunctella* (Binder *et al.*, 2001), les larves du *B. mori* (Liu *et al.*, 2009), chez la crevette blanche du Pacifique (Garcia-Orozco *et al.*, 2007), la crevette à la banane (Khanaruksombat *et al.*, 2014) et le crabe bleu *Portunus pelagicus* (Huang *et al.*, 2010). Toutefois, selon l'OMS-IUIS, les arginines kinases de 13 espèces seulement ont été acceptées comme allergènes (6 comme allergènes aéroportés et 7 comme allergènes alimentaires), allant des acariens (Der f 20, Der p 20, Tyr p 20) aux cafards (Bla g 9, Per a 9) jusqu'aux coquillages (Lit v2 et Pen m 2) et aux mites (Plo i 1). Seul le Bom m 1 provenant d'insectes comestibles est officiellement accepté comme allergène alimentaire et inclus dans la base de données allergènes de l'IUIS. La tropomyosine est une protéine de nombreuses cellules, dont les cellules musculaires, liée au complexe actine-myosine (Barre *et al.*, 2014). Cette protéine est considérée comme une arginine kinase et elle est un allergène important des vertébrés tels que les arachnides, les insectes, les crustacés, les mollusques, et les nématodes (Daul *et al.*, 1994 ; Metz-Favre *et al.* 2009). Selon Barre *et al.* (2016), la tropomyosine regroupe de nombreux allergènes d'insectes comestibles (Bom m 7 du ver à soie, tropomyosine du ténébrion ou du grillon), d'acariens, de crustacés (Can p 1 du crabe *Cancer pagurus*, Cra c 1 de la petite crevette grise *Crangon crangon*), de mollusques (Cra g 1 de l'huître creuse *Crassostrea gigas*, Hal a 1 de l'abalone *Haliotis asinina*) et de nématodes (Ani s 3 de *Anisakis simplex*, Tri sp 3 de la trichine *Trichinella spiralis*, etc.). Cette étude a également révélé la tropomyosine comme un allergène chez les vers de farine et le grillon. De même, dans la présente étude, cet allergène a été mis en évidence uniquement chez *Zonocerus variegatus* à 40 kDa. Des résultats similaires ont été obtenus par Van-Broekhoven *et al.* (2016), qui ont identifiés la tropomyosine du ver de farine jaune avec les IgE de patients allergiques aux crustacés. Outre, l'arginine kinase et la tropomyosine dans cette étude, l'actine s'est avérée être un allergène présent chez *Rynchophorus phoenicis*, *Oryctes owariensis*, *Zonocerus variegatus* et *Nudaurelia dione*. Les études réalisées sur les insectes comestibles (Leung *et al.*, 1996 ; Verhoeckx *et al.*, 2014 ; Broekman *et al.*, 2015 ; Phiriyangkul *et al.*, 2015 ; Barre *et al.*, 2016) confirment ainsi le rôle de l'actine comme allergène chez *Bombyx mori* et *Tenebrio molitor*. Par ailleurs, les résultats du test de lugol et le western blot (couplé à la

## Résultats et Discussion

---

chromatographie) ont permis de mettre en relief la présence d'alpha-amylase (55 kDa) en tant qu'allergène des insectes comestibles analysés dans cette étude. En effet, l'alpha-amylase, est une hydrolase d'une importance capitale pour la digestion de l'amidon par les organismes herbivores et omnivores. Elle est de même présente comme allergène chez les acariens (Aca s 4 de *Acarus siro*, Blo t 4 de *Blomia tropicalis*, Der p 4 de *Dermatophagoides pteronyssinus*, Eur m 4 de *Euroglyphus maynei*) et des insectes (Sim v 3 et Sim v 4 de la mouche noire rayée *Simulia vittata*, Bla g 11 et Per a 11 des cafards *Blattella germanica* et *Periplaneta americana*). De plus, des études antérieures effectuées ont localisé l'alpha-amylase autour de 50-70 kDa chez certaines espèces notamment le *T. molitor* et grillon (Barre *et al.*, 2016).

La variabilité d'intensité des bandes observées au niveau de chaque espèce d'insectes analysée pourrait s'expliquer par la conformation structurelle des protéines mais aussi par la composition en IgE des sérums utilisés. Selon Palmer *et al.* (2020), de petites différences dans les séquences pourraient probablement provoquer une liaison différentielle des IgE. Bien que n'étant pas observée dans notre étude, de nombreux articles (Verhoeckx *et al.*, 2014 ; Downs *et al.*, 2016 ; Broekman *et al.*, 2017 ; Belluco *et al.*, 2013 ; Ribeiro *et al.*, 2018 ; Kamemura *et al.*, 2019 ; DeMarchi *et al.*, 2021) font mention de l'implication de ces allergènes dans des réactions croisées entre des insectes comestibles et d'autres aliments tels que les crustacés. Une réaction allergique croisée a déjà été déterminée entre différentes espèces d'insectes tels que les vers à soie et les blattes (Liu *et al.*, 2009). Cependant, Francis *et al.* (2019) affirment que la réaction croisée n'est pas systématique. Pour ces auteurs, elle doit être confirmée en plus de l'homologie des séquences par des tests supplémentaires tels que des immunoblots en liaison aux IgE (Broekman *et al.*, 2017). Ainsi, des résultats plus poussés sur les allergènes d'insectes comestibles et leurs réactivités croisées semblent nécessaires.

Toutefois, ces résultats précédemment énoncés permettent d'alerter les entomophages sur le risque allergénique lié à la consommation d'insectes (*Macrotermes subhyalinus*, *Rhynchophorus phoenicis*, *Oryctes owariensis*, *Zonocerus variegatus* et *Nudaurelia dione*) en Côte d'Ivoire surtout chez les personnes présentant déjà des allergies à d'autres aliments (crustacés, fruits de mer). Aussi, en raison du développement de l'entomophagie énoncée par la FAO, les risques allergéniques liés aux insectes comestibles vont augmenter avec l'exposition directe plus élevée qui va se produire (Caparros Megido *et al.*, 2017). Effectivement, la littérature expose des cas d'allergie allant jusqu'au choc anaphylactique (Jirapongsananuruk *et al.*, 2007 ; Ji *et al.*, 2009 ; Broekman *et al.*, 2017 ; DeMarchi *et al.*, 2021). De plus, une allergie alimentaire au ténébrion jaune est survenue chez des sujets

## Résultats et Discussion

---

constamment exposés et devenus sensibles au ténébrion jaune. La pertinence clinique d'une réactivité croisée entre insectes et crustacés a été établie par les études de Piatt (2005) et Choi *et al.* (2010), où des sujets allergiques aux crustacés ont également développé une allergie alimentaire suite à la consommation de cigales et de vers de végétaux.

En revanche, les procédures de traitement où le système de transformation technologique pourraient être des palliatifs adéquats à la réduction des allergènes chez cette source alternative de protéines (insectes comestibles). L'étude de Demarchi *et al.* (2021) rapporte que la transformation des aliments peut affecter la solubilité et l'immunoréactivité des allergènes d'insectes (Pali-Schöll *et al.*, 2019). Pour ces auteurs, ces modifications sont fonction de l'espèce et du type de protéines. Phiriyangkul *et al.* (2015) ont constaté que l'allergénicité de l'arginine kinase et de l'énolase diminuait tandis que celle de la glycéraldéhyde-3-phosphate déshydrogénase augmentait après le traitement thermique des criquets de Bombay (*Patanga succincta*). L'immunoréactivité du criquet migrateur associé à l'arginine kinase a été perdue après des traitements thermiques sévères ou par hydrolyse enzymatique (Pali-Schöll *et al.*, 2019). Au contraire, le traitement thermique n'a pas réduit l'allergénicité mais a clairement modifié la solubilité des allergènes des vers de farine dans l'étude menée par Broekman *et al.* (2015). De même, Ozawa *et al.* (2011) s'accordent sur le fait que la conformation native de la tropomyosine ainsi que son immunoréactivité peuvent être reformée lors du refroidissement après un traitement thermique de 80 °C. Outre le traitement thermique, il a été restitué que la haute pression pourrait conduire à une diminution directe de l'allergénicité des protéines en dépliant leur structure native (Huang *et al.*, 2014).

Des lors, un besoin d'analyses plus poussées sur les allergènes des insectes comestibles mettant en exergue leur identification ainsi que l'impact du système de transformation semblent nécessaires avant la vulgarisation de cette nouvelle source de protéine. A l'état actuel, les allergènes des insectes restent mal connus même si ceux de quelques insectes responsables de réactions allergiques sévères ont été bien étudiés et caractérisés dans d'autres pays. En Côte d'Ivoire, les informations disponibles sur l'allergénicité des insectes comestibles sont très limitées voire quasi inexistantes. Les études se sont plus axées sur les aspects sociaux, nutritionnels et environnementaux, mais très peu ont abordé les problèmes de sécurité. A notre connaissance, il s'agit de la première revue systématique mettant en évidence le potentiel allergénique de ces espèces en Côte d'Ivoire. Il convient également de mentionner qu'à l'avenir, davantage d'études portant sur la prévalence de l'allergie alimentaire aux insectes devraient être réalisées, en évaluant notamment si les patients ont d'autres allergies alimentaires ou s'ils sont

sensibilisés aux crustacés afin de mieux comprendre le mode de sensibilisation et la réactivité croisée possible avec d'autres espèces.

### **3.2.5. Profils nutritif, fonctionnel et microbiologique des farines enrichies aux insectes comestibles**

#### **3.2.5.1. Potentiel nutritif des farines enrichies**

L'incorporation de la poudre des larves de *Rhynchophorus phoenicis* et de *Oryctes owariensis* a permis d'améliorer les caractéristiques physico-chimiques des farines de maïs et de mil formulées. L'acidification des farines de maïs enrichies obtenue a été aussi observée par Niaba (2014). Selon Soro *et al.* (2013), une augmentation de l'acidité pourrait faciliter la conservation des farines produites. De même, la teneur en humidité est un facteur important affectant la durée de stockage et la qualité microbiologique des produits formulés. Ainsi, le faible taux d'humidité enregistré pour ces farines formulées permet d'asseoir une meilleure stabilité pour la conservation du produit. De plus, ces teneurs en humidité cadrent avec la limite de 10 % préconisé par l'OMS/FAO (2003), pour conserver les produits farineux à des durées raisonnables. L'augmentation de la teneur en cendre observée chez certaines farines est souhaitable. Effectivement, celle-ci indique un enrichissement de ces farines en minéraux. En effet, la teneur en cendres est une estimation approximative de la teneur en minéraux d'un produit (Adegunwa *et al.*, 2014). Cette augmentation est aussi alléguée par Ajayi *et al.* (2012), Shiriki *et al.* (2015), Ojinnaka *et al.* (2016). Les teneurs en cendres plus importantes obtenues pour les farines de mil et maïs germés enrichies avec *Oryctes owariensis* sont attribuables à la teneur élevée en cendres des poudres de base de *O. owariensis* comparativement à celle du *Rhynchophorus phoenicis* (Ajayi *et al.*, 2012 ; Angaman *et al.*, 2021). Dès lors, ces farines (à *O. owariensis*) seront plus utiles dans la satisfaction des besoins en minéraux en particulier dans le régime de sevrage des enfants en croissance et des mères allaitantes pour lutter contre l'insécurité alimentaire et les carences nutritionnelles (Igwe *et al.*, 2012).

En ce qui concerne les valeurs nutritives telles que les protéines, lipides et la valeur énergétique, l'incorporation du *Rhynchophorus phoenicis* et de *Oryctes owariensis* a assuré un rehaussement significatif et pour la plupart avec le taux d'incorporation des poudres de ces insectes. Cette constatation corrobore les études de Banjo *et al.* (2006), Kinyuru *et al.* (2009), Idolo (2010), Niaba (2014) et Ojinnaka *et al.* (2016) lors de la formulation de farines alimentaires. Selon ces auteurs, cette variation significative en éléments nutritifs pourrait être attribuée aux différentes proportions de poudre de larves d'insectes incorporée lors de la formulation de ces farines enrichies. Les larves d'insectes comestibles sont de véritables sources d'éléments nutritifs

## Résultats et Discussion

---

capables de compenser le déséquilibre alimentaire. La richesse protéique des farines enrichies était entre  $9,67 \pm 0,14$  et  $26,73 \pm 5,87$  g/100 g MS. Cette plage inclut les valeurs de 10,15 à 14,51 g/100 g de MS obtenues par Sika *et al.* (2019) lors de l'enrichissement du maïs au Safou. Oyarekua & Adeyeye (2009) ont rapporté pour le maïs supplémenté de niébé des teneurs en protéines variant de 13,14 à 13,9 g/100g de MS. Aussi, les teneurs en protéines les plus élevées obtenues pour les farines enrichies à *Oryctes owariensis* (pour les mêmes proportions) peuvent être également dues au fait que ces larves ont des teneurs plus élevées en protéines que celles du *R. phoenicis*. Par ailleurs, un rapport de Kinyuru *et al.* (2009) travaillant sur la qualité nutritionnelle des petits pains de blé enrichis en termites comestibles a constaté une hausse significative de la teneur en protéines (47,5 %), par rapport aux petits pains sans substitution. En général, les protéines d'insectes sont connues pour être d'une bonne digestibilité contenant certains acides aminés essentiels en quantité appréciable (FNB, 1980). Ekpo & Onigbinde (2005) ont signalé des taux élevés de leucine, de lysine et de thréonine chez les larves d'insectes. La consommation de ces farines pourrait permettre la croissance des enfants. Selon Soro *et al.* (2013), un aliment riche en protéine facilite la séparation des tissus et la musculation. Ces aliments sont donc importants pendant la croissance et la grossesse. De plus, le RDA (Recommended Dietary Allowance) recommande que les nourrissons (0 à 3 ans) consomment environ 16 g de protéine par jour. Ainsi, un repas de 100 g constitué de farine de maïs enrichie aux larves de *Oryctes owariensis* serait susceptible de répondre à leur besoin en protéine.

Contrairement aux protéines, les larves du *R. phoenicis* présentent une teneur plus élevée en lipides par rapport à *Oryctes owariensis*. Ceci pourrait donc expliquer les teneurs les plus élevées en lipides pour les farines enrichies au *R. phoenicis* notamment la MaRh22,5 ( $21,24 \pm 0,77$  g/100g de MS) et la MiRh25 ( $21,36 \pm 2,34$  g/100g de MS). Les farines de maïs enrichies au *R. phoenicis* pourraient présenter une meilleure appétence sur le plan sensoriel. En effet, la matière grasse absorbe et conserve leur arôme (Aiyesammi & Oguntokun, 1996). Selon Fasasi (2009), une faible teneur en matière grasse dans un produit sec contribuera à augmenter la durée de conservation de l'échantillon en diminuant les risques de rancissement. Tandis qu'un produit à haute teneur en matière grasse aura une valeur énergétique plus élevée et plus favorable à l'oxydation. Ceci pourrait expliquer les valeurs énergétiques plus élevées pour les farines MaRh22,5 ( $466,67 \pm 12,06$  kcal/100g de MS) et MaRh25 ( $466,89 \pm 9,32$  kcal/100g de MS). La corrélation existant entre la teneur en lipide et la valeur énergétique enregistrée au niveau du réseau de neurones réalisé en est une confirmation. En outre, des valeurs énergétiques obtenues dans cette étude sont plus élevées que celles rapportées par Sika *et al.* (2019) de l'ordre de

391,94 à 400,86 kcal/100g de MS pour l'enrichissement des maïs au safou. Aussi, ces valeurs sont supérieures aux recommandations de l'OMS pour l'aliment de sevrage (400 kcal/100 g de MS) (Lutter & Dewey, 2003). Une baisse de la teneur en glucides est observée. Cette baisse consécutive à l'incorporation peut être due à la faible teneur en sucre des larves de *Rhynchophorus phoenicis* et *Oryctes owariensis* (Koffi *et al.*, 2016 ; Angaman *et al.*, 2021). De plus, un régime à base d'insectes peut réduire l'apport calorique entraînant une perte de poids souhaitée (Kappagoda *et al.*, 2004). Des recherches récentes ont révélé que les insectes contiennent de quantités considérables de polysaccharides qui peuvent améliorer la fonction immunitaire du corps humain (Long *et al.*, 2007). En dehors de la MaRh25, MiRh22,5, MiRh25, MaOr20 et MiOr25, les farines élaborées présentent des teneurs proches de la norme de 68 % établies par le codex alimentarius (CAC/G208-1991). De façon générale, les insectes comestibles se sont avérés être de bons ingrédients pour l'amélioration de la qualité nutritionnelle des aliments présentant des déficits nutritionnels (Assielou *et al.*, 2015 ; Niaba, 2014 ; Koffi *et al.*, 2016).

### 3.2.5.2. Propriétés fonctionnelles des farines élaborées

Les propriétés ou les caractéristiques fonctionnelles sont intrinsèques. Elles reflètent l'interaction complexe entre la composition, la structure et les propriétés physico-chimiques des protéines et d'autres composants alimentaires des produits. Décrites comme étant très importantes dans la formulation des produits (Kinsella 1979 ; Menon *et al.*, 2015), ces propriétés (CAH, CAE, SE, AE) ont été affectées par l'ajout des insectes comestibles (*Rhynchophorus phoenicis* et *Oryctes owariensis*) dans les farines de maïs et mil élaborées. En effet, la capacité d'absorption en huile augmente avec l'incorporation de la poudre des larves d'insectes comestibles passant de 109,38 % pour le maïs germé à un maximum de 170,95 % pour la MaOr25. Cette CAH, est supérieure à celle rapportée par Ojinnaka *et al.* (2016) (104 à 139 %) lors de l'enrichissement du maïs par la poudre de *Rhynchophorus phoenicis*. La capacité d'absorption en huile est importante dans la conception des aliments. La matière grasse agit comme un agent de conservation de la saveur et augmente la palatabilité des aliments (Aremu *et al.*, 2009). Ainsi, les farines formulées pourraient être de bons conservateurs de saveur et d'arôme lors de la fabrication de produit de boulangerie et des substituts alimentaires. Par ailleurs, la faible capacité d'absorption en huile des farines formulées MiRh20 (75,33±3,055%), MiRh22,5 (86±2,00%) et MiRh25(82,67±2,31%) peut être attribuable à la taille des particules, la composition et la conformation de l'ingrédient protéique de la céréale de base utilisée (Zielińska *et al.*, 2017).

Selon Nelson-Quartey *et al.* (2007), la présence des lipides en grande quantité dans la farine réduit la capacité de liaison de l'eau à des substances particulières limitant ainsi la CAE. C'est la raison qui explique la diminution progressive de la capacité d'absorption en eau des différentes formulations, vue leur enrichissement en lipide. D'autre part, Oti & Akobundu (2008) rapportent que, plus le niveau de protéine dénaturée est bas, plus il faut le temps pour se mouiller ou s'imprégner d'eau. La capacité d'absorption en eau des farines formulées (78,21 % à 109,44 %) est inférieure à celle des farines d'igname-Niébé (128 %) et de pois chiche (136 %) obtenues par Ghavidel & Prakash (2006) et Kaur & Singh (2005). Ensuite, Kaur & Singh (2005) ajoutent que ces farines auraient la capacité de contenir plusieurs composants affectant l'eau, telles que les polysaccharides qui ont généralement une CAE élevée. Une augmentation de l'activité émulsifiante et de la stabilité de l'émulsion est aussi observée lors de l'incorporation des larves d'insectes surtout au niveau des farines enrichies à *Oryctes owariensis*. Cette augmentation est probablement due aux propriétés des protéines. Ceci peut donc s'avérer bénéfique pour la consistance et la saveur des aliments (Akubor *et al.*, 2000 ; Aloba, 2003).

### **3.2.5.3. Qualité microbiologique de la farine enrichie aux larves de *Rhynchophorus phoenicis* et *Oryctes owariensis***

L'évaluation de la qualité microbiologique des farines élaborées a présenté des résultats satisfaisants puisque aucune colonie de salmonelles n'a été observée. De même, les charges des moisissures et des levures, ainsi que celles des coliformes totaux enregistrées dans les farines étaient inférieures à la norme microbiologique respectivement de  $10^5$  UFC/g et de  $10^3$  UFC/g pour les farines du codex Stan (74-1981). Cette faible charge pourrait s'expliquer par le faible taux d'humidité des matrices utilisées (*Rhynchophorus phoenicis*, *Oryctes owariensis* et maïs germé) (Niaba, 2014 ; Sika *et al.*, 2019). Ainsi, ces résultats traduiraient le respect des bonnes pratiques d'hygiène au cours de la fabrication des farines.

### **3.2.5.4. Acceptabilité sensorielle des biscuits produits à partir de farines enrichies**

L'évaluation sensorielle des biscuits à base de céréales locales enrichies aux insectes comestibles a été effectuée. Les attributs analysés sont l'apparence, le goût, le croquant, l'acceptabilité globale, l'arrière-goût, la saveur, l'arôme et la couleur. Ces paramètres ont été appréciés différemment d'un biscuit à l'autre. En fait, les biscuits à base de maïs se sont présentés plus clairs par rapport à ceux à base de mil. Cette différence de couleur des biscuits obtenus peut être attribuée à l'aspect de base des céréales utilisées. Ces résultats riment avec

## Résultats et Discussion

---

ceux de Suma *et al.* (2014), qui ont notés une couleur plus sombre pour les biscuits à base de mil. De plus, une teneur accrue en protéine des biscuits entrainerait la production de niveau plus élevé de la réaction de Maillard (Mohamed *et al.*, 2007). Ceci expliquerait, le teint plus sombre obtenue pour le BMiRh25. Pour Jones *et al.* (1972) l'apparence entre les produits de confiseries conventionnelles et différents substituts ou suppléments est très importante. En effet, l'apparence est l'un des principaux attributs sensoriels qui joue un rôle dans l'acceptation du produit justifiant ainsi le faible score d'acceptabilité (4,9) du biscuit BMiRh25. Ce score coïncide également avec les mauvaises propriétés fonctionnelles en termes de capacité d'absorption en huile obtenu pour la farine de base utilisée dans la préparation de celui-ci.

Par ailleurs, la saveur et l'arôme prononcés du BMaRh25 sont dus à sa teneur élevée en matière grasse induite par l'espèce *Rhynchophorus phoenicis*. En effet, *R. phoenicis* s'est avéré être relativement plus riche en matière grasse que *Oryctes owariensis*. Les graisses absorbent, préservent et apportent des saveurs spécifiques aux aliments (O'Brien *et al.*, 2003 ; Aremu *et al.*, 2009 ; Niaba, 2014). Ce sont des ingrédients principaux responsables de la tendreté des biscuits et elles conservent la qualité, le grain et la texture (O'Brien *et al.*, 2003 ; Rajah, 2014 ; Rios *et al.*, 2014). Toutefois, il est bien de noter que le niveau de tendreté des biscuits apporté par la matière grasse dépend de la nature de celle-ci. En réalité, Jacob & Leelavathi (2007) ont étudié l'effet des types de matières grasses sur la pâte et la qualité des biscuits. Ils ont découvert que les biscuits contenant de l'huile liquide avaient une texture relativement plus dure que celle utilisant de la graisse hydrogénée.

L'attribut croquant est l'un des caractères sensoriels les plus importants des biscuits évalués par les consommateurs. L'augmentation du taux des protéines brutes a peut-être eu un effet positif sur la texture et le croustillant des biscuits (Al-Marazeeq *et al.*, 2017). Ainsi, le caractère croquant, plus accru chez les biscuits à base de maïs incorporé de 25 % de *Oryctes owariensis* serait dû à leur teneur plus élevée en protéines ainsi que leur faible teneur en matière grasse, contrairement au BMaRh25.

De façon générale, l'acceptabilité sensorielle des produits à base d'insectes a pu être établie dans cette étude. Toutefois, le niveau d'acceptabilité dépendant du type de produits et du taux d'incorporation des insectes comestibles. Dans une étude similaire faite par Niaba (2014), l'analyse sensorielle a montré que l'incorporation de termites dans des biscuits avait une limite d'acceptabilité de 25 % de substitution de la farine de blé. Par ailleurs, Kinyuru *et al.* (2009), ont obtenu la meilleure acceptabilité pour les petits pains de blé à une concentration de 5 % de termites par rapport à une concentration de 20 % de termites.

**CONCLUSION ET  
PERSPECTIVES**

### Conclusion

L'entomophagie est déclinée comme étant une solution idoine à la demande croissante de ressource protéique contemporaine et future. Cependant, celle-ci connaît des entraves du fait d'un manque criard de connaissance scientifique sur les risques et barrières sociétales. Ainsi, dans une dynamique de valorisation par l'amélioration des connaissances de ce secteur, ce travail de recherche a permis d'évaluer l'état de l'entomophagie en Côte d'Ivoire afin de mettre en évidence le potentiel et les risques liés à de telles pratiques alimentaires. La consommation des insectes est une pratique existante en Côte d'Ivoire et est représentée variablement par les différents groupes ethniques. L'enquête réalisée auprès d'une frange de la population est supputée à 60,46 % le taux moyen d'entomophage. Ces entomophages étaient constitués de personnes de tout âge, de toutes les professions. La consommation de ces insectes était fortement motivée par l'arôme (38 %), la curiosité (22 %), l'habitude alimentaire (15 %). Par ailleurs, l'aspect (37 %) et l'indisponibilité (42,51 %), ajoutés à la méconnaissance (12 %) sont autant de facteurs limitant la pratique de l'entomophagie en Côte d'Ivoire. A l'état actuel, 11 espèces sont identifiées comme comestibles. Ces espèces sont très peu représentées sur le marché soit quasi inexistantes. L'approvisionnement se fait par collecte dans leur état naturel et souvent dans les zones difficilement accessibles. Par ailleurs, le profil nutritionnel établi sur quelques espèces collectées permet d'affirmer qu'elles sont de véritables sources d'éléments nutritifs (protéines, lipides et minéraux) capables de pallier les carences nutritionnelles des populations surtout celles des femmes enceintes et des enfants, eu égard à la teneur en protéine qui variait de 32,75g/100g MS à 51,55g/100g MS chez *I. oyemensis*. De plus, des teneurs en lipides observées chez *M. subhyalinus* allaient jusqu'à 46,06 g/100g MS. La valeur énergétique enregistrée était entre 216,46±1,00 kcal /100g MS à 619,86±2,08 kcal/100g MS pour les espèces analysées. S'agissant des minéraux, ces insectes sont riches principalement en calcium, en potassium, en magnésium et sodium. En dehors de leur potentiel nutritionnel, les propriétés fonctionnelles telles que la capacité d'absorption en eau et en huile observées les rendent aptes pour la formulation de certains aliments et dans bien d'autres domaines. Ainsi, grâce à leur utilisation en tant qu'ingrédients dans la formulation de farines, ils ont permis d'améliorer le potentiel nutritionnel du mil et du maïs sans en altérer la qualité sensorielle. La farine de *Oryctes owariensis* incorporée dans le maïs en est une parfaite illustration. Elle a fait passer la teneur protéique de 8,65±0,19 à 13,6±0.34 g/100g de MS chez la MaOr20, et à 17,69±3,17 g/100g de MS pour le MaOr 22,5. De façon aisée, des biscuits de qualité sensorielle acceptable, tant au niveau du goût qu'au niveau de la saveur et de la texture ont été confectionnés.

## Conclusion et Perspectives

---

Outre, leurs potentiels nutritionnels avérés, ces insectes regorgent de multiples facteurs antinutritionnels pouvant limiter la biodisponibilité des minéraux. Ces espèces comestibles en Côte d'Ivoire renferment de l'oxalate, des tanins et des phytates à des teneurs respectivement plus abondantes chez *Zonocerus variegatus* et *Nudaurelia dione*. Cependant, ces facteurs antinutritionnels ont des teneurs faibles chez *Macrotermes subhyalinus*. Ainsi, il représenterait un bon candidat pour la consommation humaine. Toutefois, un traitement adéquat (ébullition, fermentation) sur les autres espèces réduirait le risque de toxicité pour le consommateur. En addition, la consommation de ces insectes présente des risques allergéniques pouvant aller d'une simple crise à une réaction anaphylactique pour le consommateur, surtout pour les personnes allergiques aux crustacés. Les analyses des réactions allergiques ont permis de déterminer des allergènes tels que l'arginine kinase, la tropomyosine, l'actine ainsi que l'alpha amylase au poids moléculaire de 40 et 55 kDa.

À la lumière de tout ce qui précède, l'entomophagie représenterait une solution face aux carences nutritionnelles surtout celles protéino-énergétiques. Cependant, il convient de noter, qu'un équilibre entre les préoccupations des consommateurs en matière de sécurité alimentaire et les avantages nutritionnels de ce type d'aliment serait nécessaire pour sa prise en compte factuelle dans le processus de valorisation. Aussi, la mise en place d'un système d'élevage et de transformation appropriés faciliterait sa disponibilité et sa préservation dans la lutte contre l'insécurité alimentaire.

### Perspectives

En guise de perspectives il conviendrait :

- d'identifier les conditions de domestication ou de production intensive des différentes espèces afin d'assurer leur disponibilité et de maîtriser les potentialités nutritionnelles lors de leur développement ;
- d'approfondir les recherches sur les risques allergéniques et la possibilité de réduction par un système de transformation.
- d'effectuer une étude de vieillissement des farines composées.
- de formuler un aliment composé des différents insectes pour une contribution à la lutte contre la malnutrition infantile.

### Recommandations

Les espèces d'insectes comestibles, représentent une alternative intéressante face au déficit nutritionnel surtout protéique actuel et futur. Ainsi, nous recommandons :

- aux populations, d'intégrer davantage la consommation des insectes dans leur alimentation par utilisation de farines locales enrichies aux insectes ce qui permettra de lutter contre la malnutrition protéino-énergétique ;
- aux scientifiques, de pousser d'avantage les recherches sur la qualité nutritionnelle afin de pallier les problèmes d'insécurité alimentaire ;
- aux structures d'accompagnement agricole, d'aider dans la formation et la mise en place d'une filière d'élevage des insectes en Côte d'Ivoire. Ceci permettra non seulement d'assurer la disponibilité, de pérenniser la biodiversité mais aussi de lutter contre la pauvreté par la génération de revenus dans les zones rurales ;
- aux autorités compétentes, de mener des campagnes de sensibilisation sur l'entomophagie afin de faciliter la vulgarisation ou la diffusion de la pratique. Également, de mettre à la disposition des jeunes des financements visant à développer des projets d'élevage des insectes.

# **REFERENCES**

## Références

---

### Références

- AACC. (1990). Approved methods of the American association of cereal chemists, 8th edition, St. Paul, San Francisco, CA (USA), 137 p.
- Adeduntan S.A. (2005). Nutritional and anti nutritional characteristics of some insects for aging in Akure Forest Reserve Ondo state. *Nigeria Journal of Food Technology*, 3(4): 563-567.
- Adegunwa M.O., Ganiyu A.A., Bakare H.A. & Adebowale A.A. (2014). Quality evaluation of composite millet-wheat Chin-chin. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 5(1): 33-39.
- Ademolu K.O., Idowu A.B. & Olatunde G.O. (2010). Nutritional value assessment of variegated grasshopper, *Zonocerus variegatus* (L.) (Acridoidea: Pygomorphidae), during post-embryonic development. *African Entomology*, 18(2): 360-364.
- Adepoju O. (2014). Nutrient Composition and Potential Contribution of Winged Termites (*Marcrotermes bellicosus* Smeathman) to Micronutrient Intake of Consumers in Nigeria. *British Journal of Applied Science & Technology*, 4(7): 1149-1158.
- Adeyeye S.A.O., Oyewole O.B., Obadina A.O. & Omemu A.M. (2015). Influence of smoking methods on quality of traditional smoked Bonga Shad (*Ethmalosa fimbriata*) fish from Lagos State, Nigeria. *African Journal of Microbiological Research*, 9(4): 200-207.
- AFNOR. (1974). Emballages, Matières en feuille, Détermination du Coefficient de Transfert de Vapeur d'Eau., NF H 00-030. Association Française de Normalisation, Paris (France), 12 p.
- AFNOR. (1984). Recueil des normes françaises: corps gras, graines oléagineuses et produits dérivés. 3eme Edition, Association Française de Normalisation, Paris (France), 459 p.
- AFSCA. (2014). Food safety aspects of insects destined for human consumption Advice 14 2014 of the Scientific Committee of the FASFC and advice SHC N° 9160 of the Superior Health Council, 25 p. [https://www.favv-afscab.be/comitescientifique/avis/2014/\\_documents/AVIS222014\\_FR\\_DOSSIER2013-26.pdf](https://www.favv-afscab.be/comitescientifique/avis/2014/_documents/AVIS222014_FR_DOSSIER2013-26.pdf) (Consulté le 07 /06/ 2019).
- AFSSA. (2009). Avis de l'agence française de sécurité sanitaire des aliments sur l'évaluation des besoins nutritionnels des personnes âgées fragiles ou atteintes de certaines pathologies afin de définir des références nutritionnelles permettant d'adapter leur prise en charge nutritionnelle.

## Références

---

- [http://agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/documents/pdf/avis\\_AFSSA\\_2009\\_personnes\\_agees-2\\_cle815a59pdf](http://agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/documents/pdf/avis_AFSSA_2009_personnes_agees-2_cle815a59pdf). (Consulté le 07 /06/ 2019).
- Agabou A. & Alloui N. (2010). Importance of *Alphitobius diaperinus* (Panzer) as a reservoir for pathogenic bacteria in Algerian broiler houses. *Veterinary World*, 3 :71–73.
- Agbede J.O. & Aletor V.A. (2005). Studies of the chemical composition and protein quality evaluation of differently processed *Canavalia ensiformis* and *Mucuna pruriens* seed flours. *Journal of Food Composition and Analysis*, 18(1): 89-103.
- Agbidye F.S., Ofuya T.I. & Akindele S.O. (2009). Marketability and nutritional qualities of some edible forest insects in Benue State, Nigeria. *Pakistan Journal of Nutrition*, 8(7) : 917-922.
- Ahmad A., Husain A., Mujeeb M., Khan S.A., Najmi A.K., Siddique N.A., Damanhour Z.A., & Anwar F. (2013). A review on therapeutic potential of *Nigella sativa*: A miracle herb. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 3(5):337-352.
- Aiyesanmi A.F. & Oguntokun M.O. (1996). Nutrient composition of *Dioclea reflexa* seed? An underutilized edible legume. *Rivista Italiana delle Sostanze Grasse*, 73: 521-523.
- Aiyesanmi A.F. & Adedire C.O. (2015). Composition immédiate et minérale des formes adultes et immatures du criquet panaché, *Zonocerus variegatus* (L.) (Acridoidea: Pygomorphidae). *Communications de recherche en biosciences*, 14(1) : 93-99.
- Ajayi O.B. & Adefioye A. (2012). Comparative study on chemical compositions, phytochemical screening and physico-chemical properties of the seeds of *Dioclea reflexa*. *Ultra Chemistry*, 8(2): 251-264.
- Ajayi O.E. (2012). Biochemical analyses and nutritional content of four castes of subterranean termites, *Macrotermes subhyalinus* (Rambur) (Isoptera: Termitidae): differences in digestibility and anti-nutrient contents among castes. *International Journal of Biology*, 4: 54–59.
- Akpossan A.R., Due E.A., Kouadio J.P. & Kouame L.P. (2009). Valeur nutritionnelle et caractérisation physicochimique de la matière grasse de la chenille *Imbrasia oyemensis* séchée et vendue au marché Gouro d'Adjamé (Abidjan, Côte d'Ivoire). *Journal of Animal and Plant Sciences*, 3(3): 243-250.
- Akubor P.I. & Eze J.I. (2012) Quality evaluation and cake making potential of sun and oven dried carrot fruit. *International Journal of Bioscience*, 2(10):19-27.
- Akubor P.I., Isolokwu P.C., Ugbane O. & Onimawo I.A. (2000). Proximate composition and functional properties of African breadfruit kernel and flour blends. *Food Research*

## Références

---

- International*, 33(8) :707-712.
- Akullo J., Obaa B.B., Acai J.O., Nakimbugwe D. & Agea J.G. (2017). Knowledge, attitudes and practices on edible insects in Lango sub-region, northern Uganda. *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(2) : 73-81.
- Alais C. & Linden G. (1997). Abrégé de Biochimie alimentaire. *Dunod*, Paris (France), 248 p.
- Alais C., Ribadeau-Dumas B. & Saint-Lebe L. (1961). Etude de la réaction des protéines du lait avec le « Noir Amido ». Application ou dosage rapide des matières azotées du lait. *Le Lait*, 41: 241-293.
- Alamu O.T., Amao A.O, Nwokechi C.I, Oke O.A. & Lawal I.O. (2013). Diversity and Nutritional status of Edible Insects in Nigeria. *International Journal of Biodiversity and Conservation*, 5(4): 215-222.
- Albouy V. & Chardigny J-M. (2016). Des insectes au menu ? ce qui va changer dans mon alimentation au quotidien. *Quae*, Versailles. <http://res.banq.qc.ca/login?url=http://www.biblioaccess.com/31/Catalog/Book/692872>. Consulté le 15 mars 2020
- Alexandratos N. & Bruinsma J. (2012). World agriculture towards 2030/2050 : the 2012 revision. ESA working paper. No. 12-03, Rome (Italie), 147 p.
- Al-Marazeeq K.M., Angor M.M., Al-Marazeeq K.M. & Angor M.M. (2017). Chemical characteristic and sensory evaluation of biscuit enriched with wheat germ and the effect of storage time on the sensory properties for this product. *Food and Nutrition Sciences*, 8(2): 189-195.
- Alobo A.P. (2003). Proximate composition and selected functional properties of defatted papaya (*Carica papaya*) kernel flour. *Plant Foods for Human Nutrition*, 58:1-7.
- Al-Wahsh I.A., Horner H.T., Palmer R.G., Reddy M.B. & Massey L.K. (2005). Oxalate and phytate of soy foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(14): 5670-5674.
- Amadi E.N., Ogbalu O.K., Barimalaa I.S. & Pius M. (2005). Microbiology and nutritional composition of an edible larva (*Bunaea alcinoe* Stoll) of the Niger Delta. *Journal of Food Safety*, 25: 193-197.
- Amani M.K., Koffi F.K., Yao B.K., Kouakou B.D., Jean E.P. & Sékouba O. (2010). Analyse de la variabilité climatique et de ses influences sur les régimes pluviométriques saisonniers en Afrique de l'Ouest : cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire. *Cybergeo : European Journal of Geography, Environnement, Nature, Paysage*, 513: 1-16.
- Amon A.R., Due A., Kouadio J.P. & Kouamé L.P. (2009). Valeur nutritionnelle et caractérisation physicochimique de la matière grasse de la chenille *Imbrasia oyemensis*

## Références

---

- séchée et vendue au marché Gouro d'Adjamé (Abidjan, Côte d'Ivoire). *Journal of Animal and Plant Sciences*, 3(3): 243-250.
- Anankware J.P., Osekre E.A., Obeng-Ofori D. & Khamala, C.M. (2016). Factors that affect entomophagical practices in Ghana. *Journal of insects of Food and feed*, 1: 1-10.
- Anankware P.J., Osekre E.A., Obeng-Ofori D. & Khamala C.M. (2017). Factors that affect entomophagical practices in Ghana. *Journal of Insects as Food and Feed*, 3: 33-41.
- Angaman D.M., Ehouman A.G.S & Boko A.C.E. (2021). Propriétés physico-chimiques, fonctionnelles et microbiologiques de la farine de maïs germé enrichie de larves d'insectes comestibles *Rhynchophorus phoenicis* et *Oryctes owariensis*. *Journal of Applied Biosciences*, 158 : 16310-16320.
- Anonyme. (2021). Charançon rouge de palmier. <https://www.aujardin.info/fiches/rhynchophorus-ferrugineus.php> (Consulté le 05/02/2021)
- Anonyme. (2020). [www.climate-data.org](http://www.climate-data.org). (Consulté le 07/10/2020)
- Anonyme. (2019). [www.Tutiempo.net](http://www.Tutiempo.net).(Consulté le 07/09/2019)
- ANSES. (2015). AVIS de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à : « la valorisation des insectes dans l'alimentation et l'état des lieux des connaissances scientifiques sur les risques sanitaires en lien avec la consommation des insectes ». Maisons-Alfort cedex, Paris (France), 38 p.
- Anvo M., Toguyen A. & Otchoumou A. (2016). Nutritional qualities of edible caterpillars *Cirina butyrospermi* in southwestern of Burkina Faso. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 18(2): 639-645.
- AOAC. (1984). Official methods of Analysis of AOAC International. 14 th edition SW Williams, Washington DC (USA), 121 p.
- AOAC. (1995). Official methods of Analysis of AOAC International, 16th ed. AOAC International Arlington. VA. Ashiru, M.O. The food value of the larva of *Anaphe venata* Butler (Lepidoptera: Notodoutidae). *Ecology of Food and Nutrition*, 22: 313-320.
- Aremu M.O., Basuk G.S.D., Goyal A., Bhowmik P.K & Datta B.S. (2009). Proximate composition and functional properties of mushroom flours from *Ganoderma* spp, *Omphalotus Olearius* (DC) sing and *Hebeloma mesphaeum* (Pers). Quélused in Nassarawa State, Nigeria. *Malaysian of Journal Nutrition*, 15(2): 233-241.

## Références

---

- Asiedu J.J. (1991). La transformation des produits agricoles en zone tropicale, le palmier à huile. Edition Karthala et CTA, Paris (France), 243 p.
- Assielou B., Dué E., Koffi M., Dabonné S. & Kouamé P. L. (2015). *Oryctes owariensis* larvae as good alternative protein source: Nutritional and Functional Properties. *Annual Research and Review in Biology*, 8(3): 1-9.
- Assielou B., Due E.A., Koffi D.M., & Kouame P. (2016). Physicochemical characterization and fatty acid composition of *Oryctes owariensis* larvae oil. *Food and Environment Safety Journal*, 14(3): 320-326.
- Atowa U.C., Wajuihian S.O. & Munsamy A.J. (2020). Associations between near work, outdoor activity, parental myopia and myopia among school children in Aba, Nigeria. *International Journal of Ophthalmology*, 13(2): 309-316.
- Atwater W.O & Benedict F.G. (1902). Experiments on the metabolism of matter and energy in the human body, 1898–1900. United States. Office of experiment stations. Tome 109. Government Printing Office, Washington (USA), 125 p.
- Avenard J.M. (1971). Carte réalisée à partir de photographies aériennes. In : Le milieu naturel de Côte d'Ivoire. Mémoires ORSTOM, 50, Paris (France) : 9-72.
- Ayieko M.A., Kinyuru J.N., Ndong'a M.F. & Kenji G.M. (2012). Nutritional value and consumption of black ants (*Carebara vidua* Smith) from the Lake Victoria region in Kenya. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 4(1): 39-45.
- Ayieko M.A., Obonyo G.O., Odhiambo J.A., Ogwenyo P.L., Achacha J. & Anyango J. (2011). Constructing and using a light trap harvester: rural technology for mass collection of agoro termites (*Macrotermes subhylanus*). *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 3(2) :105-109.
- Ayieko M.A. & Oriaro V. (2008). Consumption, indigeneous knowledge and cultural values of the lakefly species within the Lake Victoria region. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 2 (10): 282-286.
- Balinga M.P., Mapunzu P.M., Moussa J-B. & N'gasse G. (2004). Contribution des insectes de la forêt à la sécurité alimentaire : L'exemple des chenilles d'Afrique Centrale. FAO, Rome (Italie), 107 p.
- Balzan S., Fasolato L., Maniero S. & Novelli E. (2016). Edible insects and young adults in a north-east Italian city an exploratory study. *British Food Journal*, 118: 318-326.
- Banjo A.D., Lawa O.A. & Songonuga E.A. (2006). The nutritional value of fifteen species of edible insects in south-western Nigeria. *African Journal of Biotechnology*, 5: 298-301.

## Références

---

- Barre A., Caze-Subra S., Gironde C., Bienvenu F., Bienvenu J. & Rougé P. (2014). Entomophagie et risque allergique. *Revue Française d'Allergologie*, 54: 315-321.
- Barre A., Velazquez E., Delplanque A., Caze-Subra S., Bienvenu F., Bienvenu J. & Rougé P. (2016). Allergènes à réaction croisée des insectes comestibles. *Revue Française d'Allergologie*, 56: 522-532.
- Barroso F.G., De-Haro C., Sánchez-Muros M.-J., Venegas E., Martínez-Sánchez A. & Pérez-Bañón C. (2014). The potential of various insect species for use as food for fish. *Aquaculture*, 422(423): 193-201.
- Bauserman M., Lokangaka A. & Gado J. (2015). A cluster-randomized trial determining the efficacy of caterpillar cereal as a locally available and sustainable complementary food to prevent stunting and anaemia. *Public Health Nutrition*, 18: 1785-1792.
- Bednářová M., Borkovcová M., Mlček J., Rop O. & Zeman L. (2013). Edible insect species suitable for entomophagy under condition of Czech Republic. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 61: 587–593.
- Behrman J.R., Alderman H. & Hoddinott J. (2004). Malnutrition and hunger. In: Global crises, global solutions. Lomborg B. Cambridge University Press, Cambridge (Angleterre) : 363-420.
- Belhaj J.N., Arab-Tehrany E. & Linder M. (2010). Oxidative kinetic of salmon oil in bulk and nanoemulsion Stabilized by marine lecithin. *Process Biochemistry*, 45: 187-195.
- Belluco S., Losasso C., Maggioletti M., Alonzi C., Paoletti M. & Ricci A. (2013). Edible Insects in a Food Safety and Nutritional Perspective: A Critical Review: Insects in a food perspective. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(3): 296-313.
- Bennett R.N. & Wallsgrove R.M. (1994). Secondary metabolites in plant defence mechanisms. *New Phytologist*, 127(4): 617-633.
- Bequaert J. (1921). Insects as food: How they have augmented the food supply of mankind in early and recent years. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 21: 191-200.
- Berenbaum M.R. (1993). Sequestered plant toxins and insect palatability. *The Food Insect Newsletter*, 6(3): 1-12.
- Bertner P. (2017). Termites (*Macrotermes carbonarius*) travailleurs et soldat parc national de Khao Yai, Thaïlande. in Nature picture library. [https://www.naturepl.com/stock-photo/termite-\(macrotermes-carbonarius\)-workers-and-soldier-khao-yai-national-park/search/detail-0\\_00572482.html](https://www.naturepl.com/stock-photo/termite-(macrotermes-carbonarius)-workers-and-soldier-khao-yai-national-park/search/detail-0_00572482.html). (Consulté le 06 /05/ 2020).

## Références

---

- Bhandari M.R., Kasai T. & Kawabata J. (2005). Nutritional evaluation of wild yam (*Dioscorea spp.*) tubers of Nepal. *Food Chemistry*, 82: 619-623.
- Binder M., Mahler V., Hayek B., Sperr W.R., Scholler M., Prozell S., Wiedermann G., Valent P., Valenta R. & Duchene M. (2001). Molecular and immunological characterization of arginine kinase from the Indian meal moth, *Plodia interpunctella*, a novel cross-reactive invertebrate pan-allergen. *The Journal of Immunology*, 167: 5470-5477.
- Blum M.S. (1994). The limits of entomophagy: a discretionary gourmand in a world of toxic insects. *The Food Insects Newsletter*, 7(1): 1-9.
- Boko A.C.E., Angaman D.M. & Blei S.H. (2020). Entomophagy evaluation and nutritional potential of two edible insects sold in the markets of the city of Man (Côte d'Ivoire). *International Journal of Food and Nutritional Science*, 9: 10-15.
- Bonanome A. & Grundy S.M. (1988). Effect of dietary stearic acid on plasma cholesterol and lipoprotein levels. *The New England Journal of Medicine*, 318: 1244-1248.
- Boullaud R. (2018). Les nouveaux comportements alimentaires : la consommation des insectes et des arachnides. Thèse d'Etat de Docteur en Pharmacie à l'Université de Limoges (Limoges, France), 157 p.
- Bourre J-M., Dumont O. & Durand G. (2000). Effet-dose de l'acide oléique alimentaire. Cet acide est-il conditionnellement essentiel ? Oléagineux, Corps Gras. *Lipides*, 7(6): 524-530.
- Braide W., Oranusi S., Udegbonam L.I., Oguoma O., Akobondu C. & Nwaoguikpe R.N. (2011). Microbiological quality of an edible caterpillar of an emperor moth, *Bunaea alcinoe*. *Journal of Ecology and the Natural Environment*, 3: 176-180.
- Broekman H.C., Knulst A., den Hartog J.S., Monteleone F., Gaspari M. & De Jong G. (2015). Effect of thermal processing on mealworm allergenicity. *Molecular Nutrition and Food Research*, 59(18): 55-64.
- Broekman H.C., Knulst A.C., den Hartog Jager C.F., van Bilsen J.H., Raymakers F.M., Kruizinga A.G., Gaspari M., Gabriele C., Bruijnzeel-Koomen C.A. & Houben G.F. (2017). Primary respiratory and food allergy to mealworm. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 140: 600-603.
- Bukkens S.G.F. (1997). La valeur nutritive des insectes comestibles. *Ecology of Food Nutrition*, 36(2-4): 287-319.
- Bukkens S.G.F. (2005). Insects in the Human diet: the Nutritional aspects. In: Ecological Implication of Minilivestock: Role of Rodents, Frogs, Snails, and Insects for

## Références

---

- Sustainable Development. M.G, Paoletti (Eds), Science Publishers, New Hampshire (USA) : 545-577.
- Caparros Megido. R. (2017). Les insectes comestibles sont-ils prêts pour le marché européen ? Premiers aperçus de la qualité des insectes comme ingrédient alimentaire pour la consommation humaine. Thèse de doctorat Gembloux Agro-Bio Tech, Université de Liège (Gembloux, Belgique), 271 p.
- Caparros Megido. R., Alabi T., Larreché S., Alexandra L., Haubruge É. & Francis F. (2015). Risques et valorisation des insectes dans l'alimentation humaine et animale. *Annales de La Société Entomologique de France*, 51(3): 215-258.
- Cardon D. (2003). Le Monde des teintures naturelles. Bordas éditions, Paris (France), 586 p.
- Cerritos R. (2009). Insects as food: An ecological, social and economical approach. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 4(27): 1-10.
- Cerritos R. & Cano-Santana Z. (2008). Harvesting grasshoppers *Sphenarium purpurascens* in Mexico for human consumption: a comparison with insecticidal control for managing pest outbreaks. *Crop Protection*, 27(3- 5): 473-480.
- Chai J.Y., Shin E.H., Lee S.H. & Rim H.J. (2009). Foodborne intestinal flukes in Southeast Asia. *Korean Journal of Parasitology*, 47: 69-102.
- Chakravorty J. (2014). Diversity of Edible Insects and Practices of Entomophagy in India: An Overview. *Journal of Biodiversity, Bioprospecting and Development*, 1(3): 124-130.
- Challem J.E.D. (2003). User's guide to nutritional supplements. Basic Health Publications, Inc, North Bergen, NJ (USA), 336 p.
- Chen J.J., Xia L.X., Liu Z.G., Liu W. & Ji K.M. (2008a). Cloning, expression and purification of allergen arginine kinase from *Periplaneta americana* and its allergic activity. *Zhongguo Ji Sheng Chong Xue Yu Ji Sheng Chong Bing Za Zhi*, 26: 356-360.
- Chen L-D., Gillenson M.L. & Sherrell D.L. (2002). Enticing online consumers: An extended technology acceptance perspective. *Information and Management*, 39(8): 705-719.
- Chen Y.K., Wu Y.L. & Liu Z.G. (2012b). Purification and identification of allergens in *Locusta migratoria manilensis*. *Chinese Journal of applied entomology*, 49: 244-247.
- Chen X.M. & Feng Y. (2002). Review on nutritive value of edibles insects. *Chinese for Science and Technology*, 12: 54-59.
- Chen X.M., Feng Y. & Chen Z. (2009). Common edible insects and their utilization in China. *Entomological Research*, 39(5): 299-303.

## Références

---

- Chen X.M., Feng Y. & Zhang H. (2008b) Review of the nutritive value of edible Insects: Forest insects as food: Humans Bite Back (eds. P.B. Durst, D.V. Johnson, R.N. Leslie & K. Shono), Chiang Mai, Thailand, pp 85-92.
- Chen X., Nie W., Fan S., Zhang J., Wang Y., Lu J. & Jin L. (2012a). A polysaccharide from *Sargassum fusiforme* protects against immunosuppression in cyclophosphamide-treated mice. *Carbohydrate Polymers*, 90(2): 1114-1119.
- Choi G.S., Shin Y.S., Kim J.E., Ye Y.M. & Park H.S. (2010). Five cases of food allergy to vegetable worm (*Cordyceps sinensis*) showing cross-reactivity with silk-worm pupæ. *Allergy*, 65: 1196–1203.
- Christensen B.M., Li J., Chen C.C. & Nappi A.J. (2005). Immune responses to melanization in vector mosquitoes. *Parasitology Trends*, 21: 192-199.
- Christensen D.L., Orech F.O., Mungai M.N., Larsen T., Friis H. & Aagaard-Hansen J. (2006). Entomophagy among the Luo of Kenya: A potential mineral source? *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 57(3-4):198–203.
- Chuang J.G., Su S.N., Chiang B. L., Lee H.J. & Chow L.P. (2010). Proteome mining for novel IgE-binding proteins from the German cockroach (*Blattella germanica*) and allergen profiling of patients. *Proteomics*, 10: 3854-3867.
- Cicatiello C., Franc O.S., Pancino B. & Blasi F. (2016). The value of food waste: An exploratory study on retailing. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 30: 96-104.
- Clemenceau B. (2020). Le Droit à l'alimentation. Thèse de Doctorat en Droit à l'Université Paris-Est Créteil Paris (France), 760 p.
- CNN. (2015). Analyse de la situation nutritionnelle en Côte d'Ivoire. Juillet 2015, 78p
- Codex Alimentarius. (1991). Organisation des Nations unies pour la santé. FAO, Rome (Italie), 61 p.
- Connor E.W. (2000). Importance of N-3 fatty acids in health and disease. *American Journal of Clinical Nutrition*, 7: 171-175.
- Corbett P. (2003). It is time for an oil change! Opportunities for high-oleic vegetable oils. *Inform*, 14: 480-481.
- CREPA. (2002). Programme « Gestion durable des déchets et de l'assainissement urbain » Stratégies de gestion des boues issues de la vidange des fosses des latrines dans une ville de plus de 500 000 habitants : cas de la ville de Bouaké, Bouaké (Côte d'Ivoire), 27 p.

## Références

---

- CSS. (2009). Recommandations nutritionnelles pour la Belgique – Révision 2009. Avis Conseil Supérieur de la Santé, n°8300, Bruxelles (Belgique), 198p.
- Dadzie B.K. & Orchard J.E. (1997). Routine post-harvest screening of banana/plantain hybrids: criteria and methods. INIBAP Technical Guidelines 2, Montpellier (France), 75 p.
- Dae Y. H. (2018). Therapeutic Role of Natural Products Containing Tannin for Treatment of Constipation. [https://www.researchgate.net/publication/330939496\\_Therapeutic\\_Role\\_of\\_Natural\\_Products\\_Containing\\_Tannin\\_for\\_Treatment\\_of\\_Constipation](https://www.researchgate.net/publication/330939496_Therapeutic_Role_of_Natural_Products_Containing_Tannin_for_Treatment_of_Constipation). (Consulté le 04 /06/ 2020).
- Damir S. (2018). Consommation d'insectes en Suisse : Perspectives nutritionnelles. Travail de Bachelor, Heds Haute Ecole de Genève (Suisse), 114 p.
- Das M. & Mandal S.K. (2013). Assessment of nutritional quality and anti-nutrient composition of two edible grasshoppers (Orthoptera : Acrididae) – a search for new food alternative. *International Journal of Medicine and Pharmaceutical Sciences*, 3(5): 31-48.
- Daul C.B., Slattery M., Reese G. & Lehrer S.B. (1994). Identification of the major brown shrimp (*Penaeus aztecus*) allergen as the muscle protein tropomyosin. *International Archives of Allergy and Immunology*, 105: 49-55.
- Day R.A. & Underwood A.L. (1986). Qualitative Analysis, 5th Ed. Prentice-Hall Publications, New Delhi (Inde), 701 p.
- DeCastro R.J.S., Ohara A., Dos S., Aguilar J.G. & Domingues M.A.F. (2018). Nutritional, functional and biological properties of insect proteins: Processes for obtaining, consumption and future challenges. *Trends in Food Science and Technology*, 76: 82-89.
- Defoliart G.R. (1991). Insect fatty acids: similar to those of poultry and fish in their degree of saturation, but higher in polyunsaturates. *Food Newsletter*, 4(1): 1-4.
- Defoliart G.R. (1992). Insects as human food. Gene Defoliart discusses some nutritional and economic aspects. *Crop Protection*, 11(5): 395-399.
- Defoliart G.R. (1995). Edible insects as minilivestock. *Biodiversity and Conservation*, 4(3): 306-321.
- Defoliart G.R. (1997). An overview of the role of edible insects in preserving biodiversity. *Ecology of Food Nutrition*, 36(2-4): 109-132.
- Defoliart G.R. (1999). Insects as food: Why the western attitude is important. *Annual Review of Entomology*, 44: 21–50.

## Références

---

- Defoliart G.R. (2002). The human use of insects as food resource: a bibliographic account in progress. Department of Entomology, University of Wisconsin-Madison (Madison, USA), 25 p.
- Demaison L. & Moreau D. (2002). Dietary N-3 polyunsaturated fatty acids and coronary heart disease-related mortality: a possible mechanism of action. *Cellular and Molecular Life Science*, 59: 463-477.
- Demarchi L., Wangorsch A. & Zoccatelli G. (2021). Allergens from Edible Insects: Cross-reactivity and Effects of Processing. *Current Allergy and Asthma Reports*, 21(5): 1-51
- Depanafieu J.B. (2013). Les insectes nourriront-ils la planète ? Éditions du Rouergue, Rodez (France), 192 p.
- Diatta S., Bertrand R., Herbillon A.J., Sahrawat K.L. (1998). Genèse des sols d'une séquence sur granito-gneiss en région du centre de la Côte d'Ivoire. In Actes du 16ème Congrès Mondial de Science du Sol/ Proceedings of the 16th World Congress of Soil science, 20-26 Août/August 1998, CD-ROM Symposium / Workshop 15. Code 124. CIRAD Montpellier (France), 8 p.
- Diomandé I. (2002). Les pesticides utilisés dans la production des mangues. Mémoire de Diplôme Universitaire de Technologie (DUT), option : Gestion agro-pastorale, Université de Bouaké/ URES de Korhogo (Korhogo, Côte d'Ivoire), 65 p.
- Diomande M., Koko A.C. & Kouame K.B. (2017). Propriétés physicochimiques et fonctionnelles des farines de chenilles (*Imbrasia oyemensis*) et de poisson (*Thunnus albacares*). *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 31(1): 117-127.
- Dobermann D., Swift J.A. & Field L.M. (2017). Opportunities and hurdles of edible insects for food and feed. *Nutrition Bulletin*, 42(4): 293-308.
- Dommels Y.E.M., Alink G.M., Bladeren P.J.V. & Ommen B.V. (2002). Dietary n-6 and n-3 polyunsaturated fatty acid and colorectal carcinogenesis: result from cultured colon cells, animal models and human studies. *Environmental toxicology and pharmacology*, 11: 297-308.
- Downs M., Johnson P. & Zeece M. (2016). Insects and their connection to food allergy. In: *Insects as Sustainable Food Ingredients, Production, Processing and Food Applications*. Dossey TA, Morales-Ramos JA, Rojas MG, editors. London, Academic Press, Londres (UK) : 255–272.
- Dumas J.B.A. (1831). Procédés de l'analyse organique. *Annales de Chimie et de Physique*, 47: 198-205.

## Références

---

- Durst P.B., Johnson D.V., Leslie R.N. & Shono K. (2010). Forest insects as food: humans bite back. Proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and their potential for development, 19-21 February 2008 Chiang Mai, Thailand, 231 p.
- Dussault M. (2017). Étude de faisabilité déploiement de la production d'insectes destinés à la consommation humaine au Québec. Mémoire de Maîtrise Université de Sherbrooke, (Québec, Canada), 118p.
- Edijala J.K., Egbogbo O. & Anigboro A.A. (2009). Proximate composition and cholesterol concentrations of *Rhynchophorus phoenicis* and *Oryctes monoceros* larvae subjected to different heat treatments. *African Journal of Biotechnology*, 8(10): 2346-2348.
- EDS-MICS. (2012). Côte d'Ivoire : Enquête démographique et de santé à indicateurs multiples, 561 p. <https://dhsprogram.com/pubs/pdf/fr272/fr272.pdf>. (Consulté le 03 /08/ 2020).
- EFSA. (2010). EFSA Panel on Genetically Modified Organisms (GMO)/Draft Scientific Opinion on the assessment of allergenicity of GM plants and microorganisms and derived food and feed. *EFSA Journal*, 8(7): 1-168.
- EFSA. (2014). Scientific Opinion on Dietary Reference Values for zinc. *EFSA Journal*, 12(10): 1-76.
- EFSA. (2015). Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. *EFSA Journal*, 13(10): 1-60.
- Ehounou G.P., Ouali-N'goran S.W. & Niassy S. (2018). Assessment of entomophagy in Abidjan (Côte D'Ivoire, West Africa). *African Journal of Food Science*, 12(1): 6-14.
- Eilenberg J., Vlaskovic J.M., Nielsen-LeRoux C., Cappellozza S. & Jensen A.B. (2015). Diseases in insects produced for food and feed. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1: 87-102.
- Eisner T. (1970). Chemical defense against predation in arthropods. In: Chemical ecology. Sondheimer, E. and Simeone, JB (eds), Academic Press, New York (USA) : 157-217.
- Eisner T., Jones T.H., Aneshansley D.J., Tschinkel W.R., Silberglied R.E. & Meinwald J. (1977). Chemistry of defensive secretions of bombardier beetles (*Brachinini*, *Metriini*, *Ozaenini*, *Paussini*). *Journal of Insect Physiology*, 23: 1383-1386.
- Ekpo K.E. & Onigbinde A.O. (2005). Nutritional potentials of the larva of *Rhynchophorus phoenicis* (F). *Pakistan Journal of Nutrition*, 4(5): 287-290.
- Ekpo K.E. & Onigbinde A.O. (2007). Characterization of lipids in winged reproductive of the termite *Macrotermes bellicosus*. *Pakistan Journal of Nutrition*, 6(3): 247-251.
- Ekpo K.E., Onigbinde A.O. & Asia I.O. (2009). Pharmaceutical potentials of the oils of some popular insects consumed in southern Nigeria. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 3(2): 51-57.

## Références

---

- Ekop E.A., Udoh A.I. & Akpan P.E. (2010). Proximate and antinutrient composition of four edible insects in Akwa Ibom State Nigeria. *World Journal of Applied Science and Technology*, 2: 224-231.
- Elias S. (1998). The use of insect fossils in archaeology. *Meganeura*, 2: 15-18.
- El Nasri N.A. & El Tinay A.H. (2007). Functional properties of fenugreek (*Trigonella foenum graecum*) protein concentrate. *Food Chemistry*, 103: 582-589.
- FAO. (2004a). The State of Food Insecurity in the World. The Food and Agriculture Organization of the United Nations Viale delle Terme di Caracalla, 00100 Rome (Italie), 43 p.
- FAO. (2004b). Contribution des insectes de la forêt à la sécurité alimentaire : l'exemple des chenilles d'Afrique centrale, FAO Département des forêts - Produits forestiers non ligneux - Document de Travail N° 1, Rome (Italie), 117 p.
- FAO. (2013). Edible insects. Future prospects for food and feed security. FAO Forestry Paper 171, Rome (Italie), 201 p.
- FAO. (2014). The State of Food Insecurity in the World 2014: Strengthening the Enabling Environment for Food Security and Nutrition. FAO, Rome (Italie), 157 p.
- FAO (2016). Etude sur l'agriculture familiale à petite échelle au proche-orient et Afrique du Nord. Synthèse d'étude de l'Organisation des Nations unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, Rome (Italie), 186 p.
- FAO. (2018). Rapport annuel du Conseil d'administration du PAM au Conseil économique et social et au Conseil de la FAO sur ses activités à Rome, Rome (Italie), 2013 p.
- FAO/FIDA/OMS/PAM /UNICEF. (2020). L'État de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde. Transformer les systèmes alimentaires pour une alimentation saine et abordable. FAO, Rome (Italie), 352 p.
- FAO/FIDA/PAM/UNICEF/OMS. (2019). L'État de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde. Se prémunir contre les ralentissements et les fléchissements économiques. FAO, Rome (Italie), 226 p.
- FAO/FIDA/UNICEF/PAM/OMS. (2021). Résumé de L'État de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde. Transformer les systèmes alimentaires pour que la sécurité alimentaire, une meilleure nutrition et une alimentation saine et abordable soient une réalité pour tous. FAO, Rome (Italie), 44p.
- FAO/OMS. (1986). Comité mixte d'experts sur la brucellose : sixième rapport. Série de rapports techniques de l'OMS, Genève (Suisse), 132 p.

## Références

---

- FAO/OMS. (1993). Les graisses et huiles dans la nutrition humaine, Rapport d'une commission mixte d'experts, Rome (Italie), 26 p.
- FAO/OMS. (2001). Human Vitamin and Mineral Requirements. Food and Nutrition Division, Bangkok (Thaïland), 286 p.
- FAO/OMS/UNU. (1985). Report: Energy and Protein Requirements: WHO Technical Report series No. 724. Genève (Suisse), 220 p.
- Fasasi O.S. (2009). Facteurs antinutritionnels immédiats et propriétés fonctionnelles du mil (Pennisetum glaucum) transformé. *Journal Technologie alimentaire*, 7(3): 92-97.
- Feng Y., Chen X-M., Wang S-Y., Ye S-D. & Chen Y. (2000) The common edible insects of Hemiptera and its nutritive value. *Forest Research*, 13(6): 612–620.
- Ferrucci L., Cherubini A., Bandinelli S., Bartali B., Corsi A., Lauretani F., Martin A., Andres-Lacueva C., Senin U., & Guralnik J.M. (2006). Relationship of Plasma Polyunsaturated Fatty Acids to Circulating Inflammatory Markers. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 91(2): 439-446.
- Finke M.D. (2002). Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores. *Zoo Biology*, 21: 269-285.
- Finke M.D. (2004). The nutrient content of insects. In: Capinara, J.L. (ed.) Encyclopedia of entomology. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht (Holland): 1562-1575.
- Finke M.D. (2007). Estimate of chitin in raw whole insects. *Zoo Biology*, 26(2): 105-115.
- Finke M.D. & Oonincx D. (2014). Insects as food for insectivores. In: Mass production of beneficial organisms. Invertebrates and entomopathogens. Morales-Ramos J.A., Rojas M.G. & Shapiro-Ilan D.I., eds. Academic Press, San Diego, CA (USA): 583-616.
- FNB. (1980). Apports alimentaires recommandé. *Nutrition Reviews*, 38(8) : 290-294.
- Folch J., Lees M. & Sloane S.G.H. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipide from animal tissues. *The Journal of Biological Chemistry*, 226: 497-509.
- Folmer O., Black M., Hoeh W., Lutz R. & Vrijenhoek R. (1994). DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates. *Molecular Marine Biology and Biotechnology*, 3 :294-299.
- Foua Bi F.G., Meite A., Dally T., Ouattara H., Kouame K.G. & Kati-Coulibaly S. (2015). Biochemical and nutritional study of powder from caterpillars *Embrasia oyemensis* eaten in West of Côte d'Ivoire. *African Journal of Biochemistry Research*, 5(3): 24-30.

## Références

---

- Francis F., Doyen V., Debaugnies F., Mazzucchelli G., Caparros Megido R., Alabi T., Blecke, C., Haubruge E., & Corazza F. (2019). Limited cross reactivity among arginine kinase allergens from mealworm and cricket edible insects. *Food Chemistry*, 276: 714-718.
- Gahukar R.T. (2009). Sécurité alimentaire : les défis du changement climatique et de la bioénergie. *Science actuelle*, 96: 26-28.
- Gahukar R.T. (2011). Entomophagy and human food security. *International Journal of Tropical Insect Science*, 31(3): 129-144.
- Gahukar R.T. (2013). Insects as Human Food: Are they really tasty and nutritious?. *Journal of Agricultural and Food Information*, 14(3): 264-271.
- Gallen C. & Pantin-Sohier G. (2015). La comestibilité des insectes : étude exploratoire chez les jeunes consommateurs français. In: 14èmes Journées Normandes de la Consommation, Colloque Société et Consommation. 26 et 27 novembre 2015, Angers, France, pp 1-22.
- Gao Y., Shang C., Saghai M.M.A., Biyashev R.M., Grabau E.A., Kwanyuen P., Burton J.W. & Buss G.R. (2007). A modified colorimetric method for phytic acid analysis in soybean. *Crop Science*, 47(5): 1797-1803.
- García-Orozco K.D., Aispuro-Hernández E., Yepiz-Plascencia G., Calderón-De-La-Barca A. M. & Sotelo-Mundo R.R. (2007). Molecular characterization of arginine kinase, an allergen from the shrimp *Litopenaeus vannamei*. *International Archives of Allergy and Immunology*, 144(1): 23-28.
- Gbogouri G.A., Beugre G.A.M., Brou K., Atchibri O.A. & Linder M. (2013). *Rhynchophorus palmarum* L. larva, an edible insect in Côte d'Ivoire: nutritional value and characterization of the lipid fraction. *International Journal of Chemical Science*, 11: 1692-1704.
- Gere A., Szekely G., Kovacs S., Kókai Z. & Sipos L. (2017). Readiness to adopt insects in Hungary: a case study. *Food Quality and Preference*, 59: 81-86.
- Ghavidel R.A. & Prakash J. (2006). Effect of germination and dehulling on functional properties of legume flours. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(8): 1189-1195.
- Ghosh S., Lee S.M., Jung C. & Meyer-Rochow V.B. (2017). Nutritional composition of five commercial edible insects in South Korea. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 20(2): 686-694.

## Références

---

- Ghosh S., Jung C., Meyer-Rochow V.B. & Dekebo A. (2020). Perception of entomophagy by residents of Korea and Ethiopia revealed through structure questionnaire. *J. Insects Food Feed*, 6: 59-64.
- Giaccone V. (2005). Hygiene and health features of mini livestock *In: role of rodents, frogs, snails and insects for sustainable development*. Science Publisher, Paoletti MG (ed.). Ecological implications of minilivestock, New Hampshire (USA) : 579-598.
- Gibson R.S., Perlas L. & Hotz C. (2006). Improving the bioavailability of nutrients in plant foods at the household level. *Proceedings of the Nutrition Society*, 65(2): 160-168.
- Glew R.H., Jackson D., Sena L., VanderJagt D.J., Pastuszyn A. & Millson M. (1999). *Gonimbrasia belina* (Lepidoptera: Saturniidae): A nutritional food source rich in protein, fatty acids and minerals. *American Entomologist*, 45(4): 250-253.
- Goettel M.S., Hajek A.E., Siegel J.P. & Evans H.C. (2001). Safety of fungal biocontrol agents. *In: Fungi as biocontrol agents: progress, problems and potential*, CABI Publishing, Butt TM, Jackson CW and Magan N. (ed.), Wallingford (UK) :347-376.
- Gomez P.A., Halut R. & Collin A. (1961). Production de protéines animales au Congo. *Bulletin Agricole du Congo Belge*, 52 (4): 689-815.
- Gontzea I. & Sutzescu P. (1968). Natural antinutritive substances in foodstuffs and forages. Basel, S. Karger, New York (USA), 184 p.
- González-Martín I., Álvarez-García N. & Hernández-Andaluz J.L. (2006). Instantaneous determination of crude proteins, fat and fibre in animal feeds using near infrared reflectance spectroscopy technology and a remote reflectance fibre-optic probe. *Animal Feed Science and Technology*, 128: 165-171.
- Graham D.E. & Phillips M.C. (1976). Foams. Academic Press, London (UK), 237 p.
- Gravel A. & Doyen A. (2020). The use of edible insect proteins in food: Challenges and issues related to their functional properties. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 59: 1-11.
- Groff J., Gropper S. & Hunt S. (1995). Advanced Nutritional and Human Metabolism (2nd edn). West Publishing Company, New York, pp 221-362.
- Gröner A. (1986). Specificity and safety of baculoviruses. *In: The biology of baculoviruses, Biological properties and molecular biology*, Granados R.R. and Federici B.A. (ed.), CRC press, Florida (USA) : 177-202.
- Guillaumet J.L. & Adjanohoun E. (1971). Le milieu naturel en Côte d'Ivoire : la végétation de la Côte d'Ivoire. *Mémoires ORSTOM*, 50: 161-261.

## Références

---

- Hall F.G., Jones O.G., O'Haire M.E. & Liceaga A.M. (2017). Functional properties of tropical banded cricket (*Gryllobes sigillatus*) protein hydrolysates. *Food Chemistry*, 224: 414-422.
- Hanboonsong Y. (2008). Edible insects and associated food habits in Thailand. *In: forest insect as food: Humans bite back*. Durst, P.B, Johnson. D.V., LesJie R.N. Shono, k. Eds. FAO, Bangkok (Thailand) : 173-182.
- Han R., Shin J.T., Kim J., Choi Y.S. & Kim Y.W. (2017). An overview of the South Korean edible insect food industry: Challenges and future pricing/promotion strategies. *Entomology Research*, 47:141-151.
- Hassan L.G., Bagudo B.U., Aliero A.A., Umar K.J. & Sani N. A. (2011) "Evaluation of nutrient and anti-nutrient contents of *Parkia biglobosa* (L.) flower. *Nigerian Journal of Basic and Applied Sciences*, 19(1): 76-80.
- Hlongwane Z.T., Slotow R. & Munyai T.C. (2020). Nutritional Composition of Edible Insects Consumed in Africa: a systematic review. *Nutrients*, 12(9): 1-28.
- Hoare A.L. (2007). The use of non-timber forest products in the Congo Basin : Constraints and opportunities. *The Rainforest Foundation*, London (Angleterre), 56 p.
- Hongbété F. & Kindossi J. (2017). Diversity and traditional consumption of edible insects in North Benin. *Journal of Science Research and Reports*, 14(1): 1-11.
- Huang H., Ceccarelli D.F., Orlicky S., St-Cyr D.J., Ziemba A., Garg P., Plamondon S, Auer M., Sidhu S., Marinier A., Kleiger G., Tyers M. & Sicheri F. (2014). Inhibition de l'enzyme E2 par stabilisation d'une interface de faible affinité avec l'ubiquitine. *Nature Chemical Biology*, 10(2): 156-163.
- Huang Y.Y., Liu G.M., Cai Q.F., Weng W.Y., Maleki S.J., Su W.J. & Cao M.J. (2010). Stability of major allergen tropomyosin and other food proteins of mud crab (*Scylla serrata*) by in vitro gastrointestinal digestion. *Food Chemistry and Toxicology*, 48 (5): 1196–1201.
- Hurrell R.F., Reddy M. & Cook J.D. (1999). Inhibition of non-haem iron absorption in man by polyphenolic-containing beverages. *British Journal of Nutrition*, 81(4): 289-295.
- Idolo I. (2010). Nutritional and quality attributes of wheat buns enriched with the larvae of *Rhynchophorus phoenicis* f. *Pakistan Journal of Nutrition*, 9(11):1043–1046.
- Ifie I. & Emeruwa C.H. (2011). Nutritional and anti-nutritional characteristics of the larva of *Oryctes monoceros*. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 2(1): 42-46.
- Igwe C., Ujowundu C. & Nwaogu L. (2012). Analyse chimique d'un termite africain comestible, *Macrotermes nigeriensis* ; un antidote potentiel au problème de sécurité alimentaire. *Analytical Biochemistry*, 1: 1-4.

## Références

---

- Igwe C.U., Ujowundu C.O., Nwaogu L.A. & Okwu G.N. (2011). Chemical analysis of an edible African termite, *Macrotermes nigeriensis* : a potential antidote to food security problem. *Biochemistry and Analytical Biochemistry*, 1(1): 1-4.
- Illgner P. & Nel E. (2000). The geography of edible insects in sub-Saharan Africa: a study of the mopane caterpillar. *The Geographical Journal*, 166(4): 336-351.
- INS. (2008). Enquête sur la malnutrition en Côte d'Ivoire, 10 p. <http://www.ins.ci/ENV/ENV2008>. (Consulté le 07 /06/ 2019).
- Insel P., Turner R.E. & Ross D. (2007). Nutrition. Jones and Barlett Publishers, Sudbury (USA), 1024 p.
- IPI. (2013). International Potash Institute Nutrition and Health – the Importance of Potassium. Editor: P. Imas, Horgen (Suisse), 17 p.
- ISO 4832. (2006). Microbiologie des aliments, méthode horizontale pour le dénombrement des coliformes. Méthode par comptage des colonies. *In*: International Standardization Organization. Genève, Suisse :1- 9 p.
- ISO 6579. (2000). Microbiologie des aliments. Méthode horizontale pour la recherche des *Salmonella* spp. (AFNOR V 08-034), 25p. <https://www.cecalait.fr/document/download/2273>. (Consulté le 15 /06/ 2019).
- ISO 21528-2. (2004). Microbiologie des aliments — Méthodes horizontales pour la recherche et le dénombrement des Enterobacteriaceae — Partie 2 : Méthode par comptage des colonies. 21p. <https://www.iso.org/fr/standard/34566.html>. (Consulté le 07 /06/ 2019).
- Jacob J. & Leelavathi K. (2007). Effect of fat-type on cookie dough and cookie quality. *Journal of Food Engineering*, 79(1): 299-305.
- Jager D.H.C. (1991). Foods and Cookery, 2nd ed.; Government Printers: Pretoria (South Africa), 215 p.
- Jani B.R., Rinaldi M.G. & Reinhart W.J. (2001). An unusual case of fungal keratitis: *Metarrhizium anisopliae*. *Cornea*, (20): 765-768.
- Jeandron A., Rinaldi L., Abdyldaieva G., Usualieva J., Steinmann P., Cringoli G., & Utzinger J. (2011). Human infections with *Dicrocoelium dendriticum* in Kyrgyzstan: the tip of the iceberg? *International Journal for Parasitology*, 97: 1170-1172.
- Ji K., Chen J., Li M. & Liu Z. (2009). Anaphylactic shock and lethal anaphylaxis caused by food consumption in China. *Trends in Food Science and Technology*, 20: 227-231.

## Références

---

- Jirapongsananuruk O., Bunsawansong W., Piyaphanee N., Visitsunthorn N., Thongngarm T., & Vichyanond P. (2007). Caractéristiques des patients anaphylactiques admis dans un hôpital universitaire. *Annals of Allergy Asthma and Immunology*, 98:157-162.
- Johnson D.V. (2010). The Contribution of Edible Forest Insects to Human Nutrition and Forest Management. In: *Forest Insects as Food: Humans Bite Back*, FAO, United Nations Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok (Thailand), pp 5-22.
- Jokthan G.E., Olugbemi T.S., Jolomi A. (2007). The nutritive value of some microlivestock and their role in human nutrition. *Savannah Journal of Agriculture*, 2(1): 52-58.
- Jonathan S.G., Popoola K.O.K., Olawuyi O.J., Ajiboye M., Oyelakan A.O. (2012). Insect and fungal pests of some mushrooms collected from University of Ibadan, Nigeria campus. *Nature and Science*, 10(9): 142-147.
- Jones L.D., Cooper R.W. & Harding R.S. (1972). Composition of Mealworm *Tenebrio molitor* Larvae. *The Journal of Zoo Animal Medicine*, 3: 34-41.
- Jongema Y. (2012). List of edible insect species of the world. <https://www.wageningenur.nl/en/expertiseservices/chairgroups/Plantsciences/laboratory-of-entomology/edible-insects/Worldwidespecies-list.htm>. (Consulté le 15/08/2020).
- Jongema Y. (2017). List of edible insects of the world. <https://www.wur.nl/en/Research-Results/Chair-groups/Plant-Sciences/Laboratory-of-Entomology/Edible-insects/Worldwide-species-list.htm>. (Consulté le 15/08/2020).
- Kamemura N., Sugimoto M., Tamehiro N., Adachi R., Tomonari S., Watanabe T. & Mito T. (2019). Cross-allergenicity of crustacean and the edible insect *Gryllus bimaculatus* in patients with shrimp allergy. *Molecular Immunology*, 106: 127–134.
- Kappagoda T.C., Hyson A. D. & Amsterdam A. E. (2004). Low-carbohydrate–highprotein diets is there a place for them in clinical cardiology. *Journals of the American College of Cardiology*, 43(5): 725-730.
- Kaur M. & Singh N. (2005). Studies on functional, thermal and pasting properties of flours from different chickpea (*Cicer arietinum L.*) cultivars. *Food Chemistry*, 91(3): 403-411.
- Kay A.B., Kaplan A.P., Bousquet J. & Holt P.G. (2009). *Allergie et maladies allergiques*. 2e éd. Hoboken, Wiley-Blackwell, New Jersey (USA), 2184 p.
- Kelemu S., Niassy S., Torto B., Fiaboe K., Affognon H., Tonnang H., Maniania N. K & Ekesi S. (2015). African edible insects for food and feed : inventory, diversity.

## Références

---

- Commonalities and contribution to food security. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1(2): 103-119.
- Khanaruksombat S., Srisomsap C., Chokchaichamnankit D., Punyarit P. & Phiriyangkul P. (2014). Identification of a new muscle and various organ allergen in the banana shrimp (*Fenneropenaeus merguensis*). *Annals of Allergy, Asthma and Immunology*, 113(3): 301-306.
- Kim S.A., Kim K.M. & Oh B.J. (2008). Current status and perspective of the insect industry in Korea. *Entomology Research*, 38: 79-85.
- King A.M.Q., Adams M.J., Carstens E.B. & Lefkowitz E.J. (2012). Virus Taxonomy: Ninth report of the International Committee on Taxonomy of Virus Ninth Report of the International Committee on Taxonomy of Viruses. Elsevier Academic Amsterdam (Holland), 1327 p.
- Kinsella J.E. (1979). Functional properties of soy protein. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 56: 242-249.
- Kinyuru J.N., Kenji G.M. & Muhoho S.N. (2010). Nutritional potential of longhorn grasshopper (*Ruspolia differens*) consumed in Siaya District, Kenya. *Journal of Agriculture, Science and Technology*, 12(1): 1-24.
- Kinyuru J. N., Kenji G. M. & Njoroge M.S. (2009). Process development, nutrition and sensory qualities of wheat buns enriched with edible termites (*Macrotermes subhyalinus*) from Lake Victoria region, Kenya. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 9: 1739-1750.
- Kiuchi M. & Tamaki Y. (1990). Future of edible insects. *Farming Japan*, 24: 37-41.
- Koffi D.M., Cissé M., Koua G.A. & Niamke S.L. (2017). Nutritional and functional properties of flour from the palm (*Elaeis guineensis*) weevil *Rhynchophorus phoenicis* larvae consumed as protein source in south Côte d'Ivoire. *The Annals of the University Dunarea de Jos of Galati Fascicle VI- Food Technology*, 41(1): 9-19
- Kolthoff I.M. & Sandell E.B. (1936). Microdetermination of iodine by a catalytic method. *Microchimica Acta*, 1 : 9-25.
- Koné B., Diatta S., Oikeh S., Gbalou Y., Camara M., Dohm D.D. & ASSA A. (2009). Estimation de la fertilité potentielle des ferralsols par la couleur : usage de la couleur en morphopédologie. *Canadian Journal of Soil Science*, 89 (3) : 331-342.
- König K. (2016). La cochenille – Quel type de pigment permet une meilleure adhésion à la laine et au coton?. <https://tpepigmentsblog.wordpress.com/2017/01/22/la-cochenille/> (Consulté le 20/08/ 2020).

## Références

---

- Kouamé S. A. K. (2009). Fabrication industrielle de l'Attiéké. Ingénieur des techniques agricoles. Mémoire ingénieur des techniques agricoles INPHB, Yamoussoukro (Côte d'Ivoire), 99p
- Kumar V., Sinha A.K., Makkar H.P.S. & Becker K. (2010). Dietary roles of phytate and phytase in human nutrition: A review. *Food Chemistry*, 120(4) :945-959.
- Laird M., Lacey L. A. & Davidson E. W. (1990). Safety of microbial insecticides. CRC Press, Baton Rouge, Florida (USA), 278p.
- Larmond E. (1991). Méthodes de laboratoire pour l'évaluation sensorielle des aliments. 2e édition, Publication du ministère canadien de l'Agriculture. Ottawa (Canada) 112 p.
- Latham P. (2001). Edible caterpillars and their food plant in Bas-Congo, D, R, Congo. Mystole Publication, Fumeth (UK), 60 p.
- Latta M. & Eskin M. (1980). Simple and rapid colorimetric method for phytate determination. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 28 : 1313-1315.
- Lavalette M. (2013). Les insectes : une nouvelle source en protéines pour l'alimentation humaine. Thèse de Doctorat, Université de Lorraine (Lorraine, France), 88 p.
- Lee C.G., Da Silva C.A., Lee J.Y., Hartl D. & Elias J.A. (2008). Chitin regulation of immune responses: an old molecule with new roles. *Current Opinion in Immunology*, (20): 684-689.
- Leung P.S.C, Wing K.C., Duffey S., Hoi S.K, Gershwin M.E. & Ka H.C. (1996). IgE reactivity against a cross-reactivity allergen in crustacea and mollusca: evidence for tropomyosin as the common allergen. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 98: 954-961.
- Leuschner R.G.K., Robinson T.P., Hugas M., Cocconcelli P.S., Richard-Forget F., Klein G., Licht T.R., NguyenThe C., Querol A., Richardson M., Suarez J.E., Thrane U., Vlak J. M. & von Wright A. (2010). Qualified presumption of safety (QPS): a generic risk assessment approach for biological agents notified to the European Food Safety Authority (EFSA). *Trends in Food Science and Technology*, 21: 425-435.
- Lin M.J.Y., Humbert E.S. & Sosulski F.W. (1974). Certain functional properties of sunflower meal products. *Journal of Food Science*, 39(2): 368-370.
- Liu Z., Xia L., Wu Y., Xia Q., Chen J. & Roux K.H. (2009). Identification and characterization of an arginine kinase as major allergen from silkworm (*Bombyx mori*) larvae. *International Archives of Allergy and Immunology*, 150(1): 8-14.
- Liu M. & Wei G. (2002). The review on functional factors in insects and exploitation prospect of functional food. *Food Science and Technology*, 27 : 21-25.

## Références

---

- Long S., Ying F., Zhao H., Tao M. & Xin Z. (2007). Studies on alkaline solution extraction of polysaccharide from silkworm pupa and its immunomodulating activities. *Forest Research*, 20(6): 782-786.
- Looy H. & Wood J.R. (2006). Attitudes toward Invertebrates: Are educational "Bug Banquets" effective?. *Journal of Environmental Education*, 37(2): 37-48.
- Loukou A. L., Lognay G., Barthélémy J. P., Maesen P., Baudoin J-P. & Zoro B. I. A. (2011). Effet du moment de la récolte sur les teneurs et compositions en huile et en protéines des graines de la courge oléagineuse *Lagenaria siceraria* (Molina) Standl. *Journal Sciences Agroalimentaire*, 91: 2073 – 2080.
- Lutter C.K. & Dewey K.G. (2003). Proposed nutrient composition for fortified complementary foods. *Journal of Nutrition*, 133(9) : 3011-3020.
- Malaisse F. (2004). Ressources alimentaires non conventionnelles. *Tropicultura*, 22 : 211 -218.
- Malaisse F., Lognay G. & Motte-Florac E. (2003). Chenilles comestibles d'Afrique tropicale. In: Insectes dans la tradition orale. Thomas, éditeurs, Peeters-Selaf, Ethnoscience, Paris (France), 1-195p.
- Mally R., Huemer P. & Nuss M. (2018). "Deep intraspecific DNA barcode splits and hybridisation in the *Udea alpinalis* group (Insecta, Lepidoptera, Crambidae) - an integrative revision.", *Zookeys*, (746) :51-90
- Manditsera F.A., Lakemond C.M.M., Fogliano V., Zvidzai C.J. & Luning P.A. (2018). Consumption patterns of edible insects in rural and urban areas of Zimbabwe: taste, nutritional value and availability are key elements for keeping the insect eating habit. *Food Security*, 10(3): 561-570.
- Médhavi D. (2017). Etude de faisabilité du déploiement de l'industrie des insectes destinés à la consommation humaine au Québec. Maîtrise en environnement, Université De Sherbrooke (Quebec, Canada), 118 p.
- Menon R., Padmaja G., & Sajeev M.S. (2015). Ultrastructural and Starch Digestibility Characteristics of Sweet Potato Spaghetti: Effects of Edible. *Gums and Fibers*, 18(6): 1231-1247.
- Mensink R.P. (1993). Effect of the individual saturated fatty acids on serum lipids and lipoproteins concentrations. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 53: 980-986.
- Metz-Favre C., Rame J. M., Pauli G. & de Blay F. (2009). La tropomyosine : Un pan-allergène. *Revue Française d'Allergologie*, 49(5): 420-426.

## Références

---

- Michaelsen K.F., Hoppe C., Roos N., Kaestel P., Stougaard M., Lauritzen L. & Mølgaard C. (2009). Choice of foods and ingredients for moderately malnourished children 6 months to 5 years of age. *Food and Nutrition Bulletin*, 30(3): 343-404.
- Mignon J. (2002). L'entomophagie : une question de culture ?. *Tropicultura*, 20(3):151-155.
- Mlcek J., Rop O., Borkovcova M. & Bednarova M. (2014). A comprehensive look at the possibilities of edible insects as food in Europe – A review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 64(3):147-157.
- Mohamed A., Hojilla-Evangelista M.P., Peterson S.C. & Biresaw G. (2007). Barley Protein Isolate: Thermal, Functional, Rheological, and Surface Properties. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 84(3): 281-288.
- Monzenga Lokela. J-C. (2015). Ecologie appliquée de *Rhynchophorus phoenicis* Fabricius (Dryophthoridae : Coleoptera) : phénologie et optimisation des conditions d'élevage à Kisangani, R.D. Congo. Thèse de doctorat en sciences agronomiques et ingénierie biologique à Université Catholique de Louvain (Belgique), 216 p.
- Morris B. 2004. *Insects and human life*. Routledge, Londres (UK), 320 p.
- Mudgal S., De Toni A., Tostivint C., Hokkanen H. & Chandler D. (2013). Scientific support, literature review and data collection and analysis for risk assessment on microbial organisms used as active substance in plant protection products–Lot 1 Environmental risk characterisation. *EFSA Supporting Publication*, 518: 1-149.
- Mundi S. & Aluko R.E. (2012). Physicochemical and functional properties of kidney bean albumin and globulin protein fractions. *Food Research International*, 48(1): 299-306.
- Musundire R., Zvidzai C.J., Chidewe C., Samende B.K. & Chemura A. (2016). Habitats and nutritional composition of selected edible insects in Zimbabwe. *Journal of Insects as Food and Feed*, 2(3): 189-198.
- Muzzarelli R.A.A. (2001). Università degli studi di Ancona, Società Italiana di Biochimica, International Symposium on Chitin Enzymology, éditeurs Chitin enzymology Grottammare (Italie), 614 p.
- Muzzarelli R.A.A. (2010). Chitins and chitosans as immunoadjuvants and non-allergenic drug carriers. *Marine Drugs*, 8: 292-312.
- Nannou S. (2001). Pratiques paysannes en matière de lutte contre les ravageurs de mangouier dans la sous-préfecture de Korhogo. Mémoire de Diplôme Universitaire de Technologie (DUT), option : Gestion Agro-pastoral, université de Bouaké/ URES de Korhogo (Korhogo, Côte d'Ivoire), 53 p.

## Références

---

- N'Dépo O.R. (2010). Biologie et Ecologie de *Bactrocera invadens* Drew, Tsuruta et White, (Diptera: Tephritidae), principal déprédateur des vergers fruitiers en Côte d'Ivoire: possibilité de lutte chimique raisonnée contre les mouches des fruits. Mémoire de Thèse Unique de Zoologie et Biologie Animale (option Entomologie Agricole), Université de Cocody (Abidjan, Côte d'Ivoire), 177 p.
- N'Gasse G. (2004). Annexe 2: Tableau récapitulatif des chenilles comestibles de la forêt de Ngotto et leur arbres hôtes. *In: Contribution des insectes de la forêt à la sécurité alimentaire: l'exemple des chenilles d'Afrique centrale.* Département des Forêts, Produits Forestiers Non Ligneux, Document de travail, N°1, FAO, Rome (Italie). <http://www.fao.org/3/j3463f/j3463f08.htm#2> (Consulté le 08/07/ 2019).
- NAMS. (2001). The role of calcium in peri- and post menopausal women: consensus opinion of the North American Menopause Society. *Menopause*, 8: 84-95.
- Ndoye O. & Tieguhong J.C. (2004). Ressources forestières et moyens d'existence ruraux : le conflit entre les produits forestiers ligneux et non ligneux dans le bassin du Congo. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 19(4): 36-44.
- Nelson-Quartey F.C., Amagloh F.K., Oduro I.N. & Ellis W.O. (2007). Formulation of an infant food based on breadfruit (*Artocarpus altilis*) and breadnut (*Artocarpus camansi*). *Acta Horticulturae*, 757: 215-224.
- Netolitzky F. (1919). Käfer als Nahrung und Heilmittel. *Koleopterologische Rundschau*, 8: 47-60.
- Netshifhefhe S.R., Kunjeku E.C. & Duncan F.D. (2018). Human uses and indigenous knowledge of edible termites in Vhembe District, Limpopo Province, South Africa. *South African Journal of Science*, 114: 1-10.
- Niaba K.P.V. (2014). Potentialités alimentaires et nutritionnelles de *Macrotermes subhyalinus* ailés en Côte d'Ivoire. Thèse pour l'obtention du grade de Docteur en Sciences et Technologie des Aliments de l'Université Nangui Abrogoua (Abidjan, Côte d'Ivoire), 149 p.
- Niaba K.P.V., Gbogouri G.A., Beugre A.G., Ocho-Anin A.A.L. & Gnakri D. (2011). Potentialités nutritionnelles du reproducteur ailé du termite *Macrotermes subhyalinus* capturé à Abobodoumé, Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 40: 2706-2714.
- Niaba K.P.V., Ocho-Anin A.L., Gbassi K.G., Beugre A.G., Adou M., Anon A.B. & Gnakri D. (2012). Consumption survey of edible winged termites in Cote d'Ivoire. *International Journal of Agriculture Food Science and Technology*, 2(4): 149-152.

## Références

---

- Nishida R. (2002). Sequestration of defensive substances from plants by Lepidoptera. *Annual Review of Entomology*, 47: 57-92.
- Nonaka I. & Toyama R. (2005). The theory of the knowledge-creating firm: Subjectivity, objectivity and synthesis. *Industrial and Corporate change*, 14(3): 419-436.
- Nonaka K. (1996). Ethnoentomology of the Central Kalahari San. *African Study Monographs Supplementary*, 22: 29-46.
- Nongonierma A.B. & FitzGerald R.J. (2017). Unlocking the biological potential of proteins from edible insects through enzymatic hydrolysis: A review. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 43: 239-252.
- Nordøv A., Marchioli R., Arnesen H. & Videbaek J. (2001). N-3 polyunsaturated fattyacids and cardiovascular disease. *Lipids*, 36 : 127-129.
- Norme ISO 7937. (2004). Microbiologie des aliments. Méthode horizontale pour le dénombrement de *Clostridium perfringens* ; Technique par comptage des colonies. International Standardization Organization. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:7937:ed-3:v1:fr> (Consulté le 20/07/ 2019).
- Nowak J. (2014). L'entomophagie : petites bêtes dans nos assiettes. Entomologic, ed., 17 p. <https://entomologic.jimdofree.com/livre-d-or/>. (Consulté le 10/05/ 2021).
- NVWA. (2012). Advices over de risico's van consumptie van gekweekte insecten. Nederlandse Voedsel en warenautoriteit (Hollande), 18 p.
- Obopile M. & Seeletso T.G. (2013). Eat or not eat: An analysis of the status of entomophagy in Botswana. *Food security*, 5(6): 817-824.
- O'Brien C.M., Mueller A., Scannell A.G.M. & Arendt E.K. (2003). Evaluation of the effects of fat replacers on the quality of wheat bread. *Journal of Food Engineering*, 56(2-3): 265-267.
- OCDE/FAO/FENU. (2017). Adopter une approche territoriale dans les politiques de sécurité alimentaire et nutritionnelle, Éditions OCDE, Paris (France), 176 p.
- Oderinde A. A., Ibikunle A. A., Bakre L. G. & Babarinde N. A. A. (2020). Modification of African breadfruit (*Treculia africana*, Decne) kernel starch: Physicochemical, morphological, pasting, and thermal properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 153 :79-87.
- Offiah C.J., Fasalejo O.F. & Akinbowale A.S. (2019). Evaluation of nutritional and anti-nutritional values of *Oryctes rhinoceros* larvae in Ondo State, Nigeria. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 7(5): 204-207.

## Références

---

- Ojinnaka M.C., Emeh T.C. & Okorie S.U. (2016). Evaluation of the Quality of composite maize-wheat chin-chin enriched with *Rhynchophorous phoenicis*. *Journal of Food Research*, 5: 26-35.
- Okon C.I. & Ekop A.S. (2008). Physico-Chemical Properties of Oil from Three Lesser-Known Seeds of *Manniophyton fluvum*, *Hippocratea Africana* and *Ipomoea t richantha* in Akwa Ibom State, Nigeria. *Journal of Sustainable Tropical Agricultural Research*, 25:33-35.
- Okunowo W., Olagboye A., Afolabi L. & Oyedeji A. (2017). Nutritional value of *Rhynchophorus phoenicis* (F.) larvae, an edible insect in Nigeria. *African Entomology*, 25(1): 156-163.
- Oliveira J.F.S., Passos D.C.S.J., Bruno D.S.R.F.X. & Magdalena S.M. (1976). The nutritional value of four species of insects consumed in Angola. *Ecology Food Nutrition*, 5: 91-97.
- Omotoso O.T. (2006). Nutritional quality, functional properties and anti-nutrient compositions of the larva of *Cirina forda* (Westwood) (Lepidoptera: Saturniidae). *Journal of Zhejiang University-Science*, 7(1): 51-55.
- Omotoso O.T. (2014). Nutrient Composition, Mineral Analysis and Anti-nutrient Factors of *Oryctes rhinoceros* L. (Scarabaeidae: Coleoptera) and Winged Termites, *Marcrotermes nigeriensis* Sjostedt. (Termitidae: Isoptera). *British Journal of Applied Science and Technology*, 8(1): 97-106.
- OMS. (1985). Besoin énergétique et besoin en protéines, Rapports d'une consultation conjointe d'expert Fao/OMS/ UNU, Série de rapports technique Genève (Suisse), 724 p.
- OMS. (2010). Santé et développement de l'enfant et de l'adolescent. Alimentation de complément. [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44368/9789241599757\\_eng](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44368/9789241599757_eng). (Consulté le 04/09/ 2020).
- OMS/FAO. (2003). Régime alimentaire, nutrition et prévention des maladies chroniques. Rapport d'une Consultation OMS/FAO d'experts. OMS, Série de rapports techniques no 916. Genève (Suisse), 180 p.
- Onimawo I.A., Akubor P.I. (2005). Functional properties of food. *In: Food Chemistry, integrated approach with biochemical background*. Ambik Press Ltd, Benin City (Nigeria) : 208-221.
- Oonincx D.G.A.B. & Dierenfeld E.S. (2012). An investigation into the chemical composition of alternative invertebrate prey. *Zoo Biology*, 31: 40-54.

## Références

---

- Osasona A.I. & Olaofe O. (2010). Nutritional and functional properties of *Cirina forda* larva from Ado-Ekiti, Nigeria. *African Journal of Food Science*, 4: 775-777.
- Oti E. & Akobundu E.N.T. (2008). Potentials of cocoyam-soybean-crayfish mixtures in complementary feeding. *Nigeria Agricultural Journal*, 39: 137-145.
- Ouattara N. (2001). Note Thématique sur les Ressources Génétiques Forestières. Situation des ressources génétiques forestières de la Côte d'Ivoire (Zone de savanes), 43 p.
- Oyarekua M.A. & Adeyeye E.I. (2009). Comparative evaluation of the nutritional quality, functional properties and amino acid profile of co-fermented Maize/Cowpea and Sorghum/Cowpea Ogi as infant complementary food. *Asian Journal of Clinical Nutrition*, 1(1): 31-39.
- Ozawa H., Watabe S. & Ochiai Y. (2011). Thermodynamic characterization of muscle tropomyosins from marine invertebrates Comparative Biochemistry and Physiology. *Biochemistry and Molecular Biology*, 160 (2–3): 64-71.
- Ozimek L., Sauer W.C., Kozikowski V., Ryan J.K., Jorgensen H. & Jelen P. (1985). Nutritive value of protein extracted from honey bees. *Journal of Food Science*, 50: 1327-1329.
- Pali-Schöll I., Verhoeckx K., Mafra I., Bavaro S.L., Mills E.C. & Monaci L. (2019). Allergenic and novel food proteins: State of the art and challenges in the allergenicity assessment. *Trends in Food Science and Technology*, 84: 45-48.
- Palmer L.K., Marsh J.T., Lu M., Goodman R. E., Zeece M.G. & Johnson P.E. (2020). Shellfish tropomyosin IgE cross-reactivity differs among edible insect species. *Molecular Nutrition and Food Research*, 64: 1-7.
- Paoletti M.G., Norberto L., Damini R. & Musumeci S. (2007). Human gastric juice contains chitinase that can degrade chitin. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 51(3): 244-251.
- Parmentier B. (2014). Faim zéro, en finir avec la faim dans le monde. Edition La Découverte, Paris (France), 255 p.
- Paul A., Frederich M., Megido R.C., Alabi T., Malik P., Uyttenbroeck R., Francis F., Blecker C., Haubruge E., Lognay G. & Danthine, S. (2017). Insect fatty acids: A comparison of lipids from three Orthopterans and *Tenebrio molitor* L. larvae. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 20: 337-340.
- Paul A., Frederich M., Uyttenbroeck R., Hatt S., Malik P., Lebecque S., Hamaidia M., Miazek K., Goffin D., Willems L., Deleu M., Fauconnier M. L., Richel A., DePauw E., Blecker C., Monty A., Francis F., Haubruge E. & Danthine S. (2016). Grasshoppers as a food source? A review. *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment*, 20(1): 337-352.

## Références

---

- Payne C.L.R., Scarborough P., Rayner M. & Nonaka K. (2016). Are edibles insects more and less “healthy” than commonly consumed meat? A comparison using two nutrient profiling models developed to combat over and undernutrition. *European Journal of Clinical Nutrition*, 70(3): 285-291.
- Pearce K.N. & Kinsella J.E. (1978). Emulsifying properties of proteins : evaluation of a turbidimetric technique. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 26(3): 716-723.
- Pereira K.S., Schmidt F.L., Barbosa R.L, Guaraldo A.M., Franco R.M., Dias V.L., Passos L. A. (2010). Transmission of chagas disease (American Trypanosomiasis) by food. *Advances in Food and Nutrition Research*, 59: 63-85.
- Perraud A. (1971). Les Sols. *In: Le Milieu Naturel De La Côte D'Ivoire*, Avenard J-M., Eldin M., Girard G., Sircoulon J., Touchebeuf De Lussigny P., Guillaumet J-L., Adjanohoun E..ORSTOM N°50, Paris (France) : 269-391.
- Perraud A. & Souchère P. (1971). Esquisse pédologique de la Côte d'Ivoire à l'échelle de 1/500000. Feuille Sud-Est. Édit. ORSTOM N°50, Centre d'Adiopodoumé, Abidjan (Côte d'Ivoire), 126 p.
- Person S., Tchibozo. S. & Lantieri-Jullien R. (2015). Les insectes comestibles *In: Memento du forestier tropical*. Louppe D. & Gilles M. ed Quaé, Versailles (France) : 1087-1190.
- Phiriyangkul P., Srinroch C., Srisomsap C., Chokchaichamnankit D. & Punyarit P. (2015). Effet du traitement thermique des aliments sur les protéines d'allergénicité chez le criquet de Bombay (*Patanga Succincta*). *International Journal of Food Engineering*, 1: 23-28.
- Piatt J.D. (2005). Case report: urticaria following intentional ingestion of cicadas. *American Family Physican*, 71(11): 2048-2050.
- Pimentel D. & Pimentel.M. (2003). Sustainability of meat-based and plant-based diets and the environment. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 78: 660–663.
- Pliner P. & Salvy S-J. (2006). Food Neophobia in Humans. *In: Shepherd, R., Raats, M. eds. The Psychology of Food Choice*. CABI, London : 75-92.
- PNMN. (2016). Plan National Multi-sectoriel de la Nutrition PNMN 2016-2020. Ministère de la Santé Côte d'Ivoire. <http://www.nutrition.gouv.ci/fichier/PNMN-2016-2020.pdf>
- Polshettiwar S., Ganjiwale R., Wadher S. & Yeole P. (2007). Spectrophotometric estimation of total tannins in some ayurvedic eye drops. *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 69(4): 574-576.
- Pouvreau A. (1999). Les insectes venimeux urticants. *Insectes*, 114: 9-12.

## Références

---

- Quin P.J. (1959). *Foods and Feeding Habits of the Pedi*. Witwatersrand University press, Johannesburg (South Africa), 278 p.
- Radia S. & Whippey N. (2016). *Eat Grub: The ultimate insect cookbook*. Frances Lincoln, London (UK), 192 p.
- Raheem D., Carrascosa C., Oluwole O.B., Nieuwland M., Saraiva A., Millan R. & Raposo A. (2019). Traditional consumption of and rearing edible insects in Africa, Asia and Europe. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59: 2169-2188.
- Rajah K.K. (2014). *Fats in food technology*. 2nd ed. Wiley-Blackwell, Oxford (UK), 386p
- Ramos-Elorduy B.J. (1997). The importance of edible insects in the nutrition and economy of people of the rural areas of Mexico. *In Ecology of Food Nutrition*, 36(5): 347-366.
- Ramos-Elorduy D. C. J. (1991). *Los Insectos como Fuente de Proteinas en el Futuro, Mexico*, Editorial Limusa (Mexique). 148p.
- Ramos-Elorduy J. (2005). Insects: A hopeful food source. *In: implications of minilivestock*. Paoletti M.G., ed. Ecological, Plymouth (UK): 263-291.
- Ramos-Elorduy J. (2006). Threatened edible insects in Hidalgo, Mexico and some measures to preserve them. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 2: 1-10.
- Ramos-Elorduy J. (2009). Anthro-po-entomophagy: Cultures, evolution and sustainability. *Entomological Research*, 39(5): 271-288.
- Ramos-Elorduy J., Moreno J.M.P., Prado E.E., Perez M.A., Otero J.L. & De Guevara O.L. (1997). Nutritional value of edible insects from the state of Oaxaca, Mexico. *Journal of Food Composition and Analysis*, 10: 142-157.
- Ramos-Elorduy J., Pino M.J.M. & Martínez C.V.H. (2009). Edible aquatic Coleoptera of the world with an emphasis on Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 5(1): 1-13.
- Reese G., Ayuso R. & Lehrer S.B. (1999). Tropomyosin: An invertebrate pan-allergen. *International Archives of Allergy and Immunology*, 119(4): 247-258.
- Reijnders L. & Soret S. (2003). Quantification of the environmental impact of different dietary protein choices. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 78(3): 664-668.
- RGPH (2014). La Côte d'Ivoire compte 23 millions d'habitants. Article de l'agence APA. <https://news.abidjan.net/articles/518921/resultats-rgph-2014-la-cote-divoire-compte-23-millions-dhabitants>(Consulté le 10/08/ 2019).
- Ribeiro J.C, Cunha L.M, Sousa-Pinto B. & Fonseca J. (2018). Allergic risks of consuming edible insects: A systematic review. *Molecular Nutrition and Food Research*, 62: 1-12.

## Références

---

- Rios R.V., Pessanha M.D.F., Almeida P.F.D., Viana C.L. & Lannes S.C.D.S. (2014). Application of fats in some food products. *Food Science and Technology (Campinas)*, 34(1): 3-15.
- Riziki W.J. (2011). Evaluation de la valeur nutritive de *Lamprichthys tanganicanus* et de *Limnothris samiodon*, deux poissons introduits au lac Kivu, par l'analyse immédiate. Mémoire inédit, Département de Chimie-Physique, ISP/Bukavu (Bukavu, RDC), 37 p.
- Roberts D.W. & St. Leger R.J. (2004). *Metarhizium* spp: Cosmopolitan insect-pathogenic fungi: mycological aspects. *Advances in Applied Microbiology*, 54 : 1-70.
- Roekhaut L. (2018). Plan d'affaire d'un grossiste et détaillant en insectes comestibles. Master en sciences de gestion à Université catholique de Louvain (Belgique), 96 p.
- Rong B-X., Gan S-Y. & Chen J-H. (1987). Analysis of trace elements in ants and their preparation. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 1: 1-10.
- Roos N. & van Huis A. (2017). Consuming insects: Are there health benefits? *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(4): 225-229.
- Roulon-Doko P. (1998). Les activités de cueillette, Chasse, Cueillette et Culture chez les Gbaya de Centrafrique. Editions Harmattan, Paris (France), 539p.
- Rumpold B.A. & Schlüter O.K. (2013a). Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 17: 1-11.
- Rumpold B.A. & Schlüter, O.K. (2013b). Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition and Food Research*, 57(5): 802-823.
- Sachs J.D. (2015). The Age of Sustainable Development. Columbia University Press: New York City (USA) 543 p.
- Sangaré A., Koffi E., Akamou F. & Fall C.A. (2009). Etat des ressources phylogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture : Second rapport national. Ministère de l'Agriculture de la Côte d'Ivoire. FAO, 63 p.
- Schabel H.G. (2006). Forest entomology in East Africa: forest insects of Tanzania, Spingers, Amsterdam (Holland): 247-294.
- Schabel H.G. (2010). Forest insects as food: humans fight back. Proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and their development potential, 19-21 February 2008, Chiang Mai, Thailand, pp 37-64.
- Schapira G. (1981). Eléments de Biochimie clinique et physiologie Eds, Flammarion Médecine Sciences 20. Vaugirard, Paris (France), 285 p.

## Références

---

- Schlüter O., Rumpold B., Holzhauser T., Roth A., Vogel R.F., Quasigroch W., Vogel, S., Heinz V., Jäger, H., Bandick N., Kulling S., Knorr, D., Steinberg P. & Engel K.H. (2017). Safety aspects of the production of foods and food ingredients from insects. *Molecular Nutrition and Food Research*, 61(6): 1-14.
- Schmidt J.O. & Buchmann S.L. (1992). Autres produits de la ruche, *In: La Ruche et l'Abeille*. JM Graham, éd. Dadant & Sons, Hamilton, Illinois (USA) : 927-988.
- Schutter O. D. (2010). L'économie politique de la faim, Garantir le droit à l'alimentation dans un monde de ressources rares. Les leçons inaugurales du Groupe ESA ; Angers (France), 87 p.
- Seena S. & Sridhar K.R. (2005). Physicochemical, functional and cooking properties of under explored legumes, Canavalia of the southwest coast of India. *Food Research International*, 38(7): 803-814.
- Shafique R.H., Inam M., Ismail M. & Chaudhary F.R. (2010). Group 10 allergens (tropomyosins) from house-dust mites may cause covariation of sensitization to allergens from other invertebrates. *Annals of Otology, Rhinology and Laryngology*, 3: 74-90.
- Shen L., Li D., Feng F. & Ren Y. (2006). Nutritional composition of *Polyrhachis vicina* Roger (edible Chinese black ant). *Songklanakarinn Journal of Science and Technology*, 28(1): 107-114.
- Shiriki D., Igyor M.A. & Gernah D.I. (2015). Nutritional evaluation of complementary food formulations from maize, soybean and peanut fortified with *Moringa oleifera* leaf powder. *Food and Nutrition Sciences*, 6: 494-500.
- Shockley M. & Dossey A.T. (2013). Insects for Human Consumption. *In: Mass Production of beneficial organism's invertebrates and entomo-pathogens*, ed. Morales-Ramos J.A., Rojas M.G. & Shapiro-Ilan D.I., *Amsterdam: Academic Press*, (Pays-Bas): 617-652.
- Siame A.B., Mpuchane S., Gashe B.A., Allotey J. & Teferra G. (1996). Nutritional quality of Mophane Worms, *Imbrasia belina* (Westwood), and the microorganisms associated with the worms. *In: Phane Proceedings: First Multidisciplinary Symposium on Phane*, Gashe B.A., Mpuchane S.F. (eds), Gaborone (Botswana) : 80-83.
- Siddhuraju P., Mohan P.S. & Becker K. (2002). Studies on the antioxidant activity of Indian Laburnum (*Cassia fistula* L): a preliminary assessment of crude extracts from stem bark, leaves, flowers and fruit pulp. *Food Chemistry*, 79: 61-67.
- Sika A.E., Kadji B.R.L., Dje K.M., Koné F.T.M., Dadonne S. & Koffi-Nevry A.R. (2019). Qualité nutritionnelle, microbiologique et organoleptique de farines composées à base

## Références

---

- de maïs (*Zea mays*) et de safou (*Dacryodes edulis*) produites en Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Science*, 13(1): 325-337.
- Simon C., Frait F., Beckenbach A., Crespi B., Liu H. & Flook P. (1994). Evolution, weighting, and phylogenetic utility of mitochondrial gene sequences and a compilation of conserved polymerase chain reaction primers. *Annals of the Entomological Society of America*, 87(6): 651-701.
- Simpanya M.F., Allotey J. & Mpuchane S.F. (2000). A mycological investigation of phane, an edible caterpillar of an emperor moth, *Imbrasia belina*. *Journal of Food Protection*, 63: 137-140.
- Singh S., Kushwaha B.P., Nag S.K., Mishra A.K., Singh A. & Anele U.Y. (2012). *In vitro* fermentation, protein and carbohydrate fractionation, methane production and prediction of twelve commonly used Indian green forages. *Animal Feed Science and Technology*, 178 (1-2): 2-11.
- Siulapwa N., Mwambungu A., Lungu E. & Sichilima W. (2014). Nutritional value of four common edible insects in Zambia. *International Journal of Science and Research*, 3: 876-884.
- Slepneva I.A., Komarov D.A., Glupov V.V., Serebrov V.V. & Khramtsov V.V. (2003) Influence of fungal infection on the DOPA-semiquinone and DOPA-quinone production in haemolymph of *Galleria mellonella* larvae. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 300(1): 188-191.
- Smeathman H. (1791).Some account of the termites, which are found in Africa and other hot climates. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 7 : 139-192.
- Sobal J. & Bisogni C.A. (2009). Constructing food choice decisions. *Annals of Behavioral Medicine*, 38 (1): 37-46.
- SOFI. (2021). The State of Food Security and Nutrition in the World 2021. Transforming food systems for food security, improved nutrition and affordable healthy diets for all. Rome, 240 p.
- Sogari G., Menozzi D. & Mora C. (2018): Sensory-liking expectations and perceptions of processed and unprocessed insects product. *International Journal on Food System Dynamics*, 9: 314-320.
- Soro S., Konan G., Elleingand E., N'guessan D. & Koffi E. (2013). Formulation d'aliments infantiles à base de farines d'igname enrichies au soja. *African Journal of Food Agriculture Nutrition and Development*, 3(5): 8313-8339.

## Références

---

- Sosulski F.W. (1962). The centrifuge method for determining flour absorption in hard red spring wheats. *Cereal Chemistry*, 39: 344-350.
- Srilakshmi B. (2012). Nutrition Science. Fourth ed. New Age International Publication, New Delhi (Inde), 60 p.
- Strasser H., Vey A. & Butt T.M. (2000). Are there any risks in using entomopathogenic fungi for pest control, with particular reference to the bioactive metabolites of *Metarhizium*, *Tolypocladium* and *Beauveria* species?. *Biocontrol Science and Technology*, 10: 717-735.
- Suma F. P., Urooj A. Asha M.R & Rajiv J. (2014). Sensory, Physical and Nutritional Qualities of Cookies Prepared from Pearl Millet (*Pennisetum Typhoideum*). *Journal of Food Processing & Technology*, 5 :377-384.
- Suma Y., Ishizaki S., Nagashima Y., Lu Y., Ushio H. & Shiomi K. (2007). Comparative analysis of barnacle tropomyosin: Divergence from decapod tropomyosins and role as a potential allergen. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 147: 230-236.
- Sundh I., Vilcks A. & Goettel M.S. (2012). Beneficial microorganisms in agriculture, food and the environment: safety assessment and regulation. CABI, Oxfordshire (UK), 360 p.
- Taméssé J.L., Kekeunou S., Tchatchouang L.J., Ndegue O.L., Aissatou L.M. & Tombouck C. (2015). Consumption and marketing of insects by populations in the western and southern regions of Cameroon. *AAIS 21st Conference of the African Association of Entomologist*, 19-23 Octobre 2015, Cotonou, Benin, pp 20-48.
- Tan H.S.G., Fischer A.R.H. & Tinchin P. (2015). Insects as food: exploring cultural exposure and individual experience as determinants of acceptance. *Food Quality Preference*, 42: 78-89.
- Théo T. (2016). Termites en France : leur biologie et comment s'en débarrasser *Kaloterms flavicollis* & *Reticulitermes lucifugus corsicus*. <https://www.Myrmeconfourmis.fr/Termites-en-France-leur-biologie-et-comment-s-en-debarrasser> (Consulté le 20/07/ 2021).
- Thiex N.J., Manson H., Anderson S. & Persson J.A. (2002). Determination of crude protein in animal feed, forage, grain, and oilseeds by using block digestion with a copper catalyst and steam distillation into boric acid: collaborative study. *Journal of AOAC International*. 85, 309–317.

## Références

---

- Tiencheu B., Womeni H.M., Linder M., Mbiapo F.T., Villeneuve P., Fanni J., Parmentier M. (2013). Changes of lipids in insect (*Rhynchophorus phoenicis*) during cooking and storage. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 115:186–195.
- Toms R.B., Thagwana M.P & Lithole K.D. (2003). The mopane worm: indigenous knowledge in the classroom. <http://www.scienceinafrica.co.za> (Consulté le 19/05/ 2019).
- Ukwo P.S., Ndaeyo N.U. & Udoh. E.J. (2011). Microbiological quality and safety evaluation of fresh juices and edible ice sold in UYO metropolis, SouthNigeria. *Internet Journal of Food Safety*, 13: 374-378.
- Ukwo S. Udo M. & Ekong E. (2021). Nutrient Content of *Rhynchophorus phoenicis* and its application in complementary food formulation. *Food and Environment Safety Journal*, 20(1): 21-34.
- Umar K.J. (2005). Proximate Analysis of Seeds and Pulpof African Locust Bean. M.Sc. Dissertation Usmanu Danfodiyo University Sokoto (Sokoto, Nigeria), 90 p.
- van Broekhoven S., Bastiaan-Net S., de Jong N.W. & Wichers H.J. (2016). Influence of processing and in vitro digestion on the allergic cross-reactivity of three mealworm species. *Food Chemistry*, 196 : 1075-1083.
- van Huis A. (2003). Insects as food in Sub-Saharan Africa. *Insect Science and Its Application*, 23(3): 163-185.
- Van Huis A. (2013). Potentiel des insectes dans l'alimentation humaine et animale pour assurer la sécurité alimentaire. *Annual Review of Entomology*, 58: 563-583.
- van Huis A., Itterbeeck V.J., Klunder H., Mertens E., Italloran A., Mui R.G. & Vantomme P. (2013). Edible Insects: future prospects for food security, FAO forest paper 171, Rome (Italie): 67- 105.
- van Huis A. (2015). Edible insects contributing to food security?. *Agriculture and Food Security*, 4(1): 1-9.
- van Huis A. (2016). Edible insects are the future? *Proceedings of the Nutrition Society*, 75(3): 294-305.
- van Mele P. (2008). A historical review of research on the weaver ant *Oecophylla* in biological control. *Agricultural and Forest Entomology*, 10: 13-22.
- Verberke W. (2015). Profiling consumers who are ready to adopt insects as a meat substitute in a Western society. *Food Quality and Preference*, 39: 147-155.
- Vercruyse L., Smaghe G., Beckers T.& van Camp J. (2009). Antioxidative and ACE inhibitory activities in enzymatic hydrolysates of the cotton leafworm, *Spodoptera littoralis*. *Food Chemistry*, 114: 38-43.

## Références

---

- Verhoeckx K.C., van Broekhoven S., den Hartog-Jager C.F., Gaspari M., de Jong G. A. & Wichers H. J. (2014). Les acariens de la poussière de maison (Der p 10) et les patients allergiques aux crustacés peuvent réagir à des aliments contenant des protéines de ténébrion jaune. *Food and Chemical Toxicology*, 65: 364-373.
- Verhoeckx K., van Broekhoven S., Gaspari M., De H. S., Dejong, G., Wichers H. & Knulst A. (2013). House dust mite (Derp 10) and crustacean allergic patients may be at risk when consuming food containing mealworms proteins. *Clinical and Translational Allergy*, 3 (3): 1-2.
- Verkerk M.C., Tramper J., van Trijp J.C.M. & Martens D.E. (2007). Insect cells for human food. *Biotechnology Advances*, 25(2): 198-202.
- Victora C.G., Adair L., Fall C., Hallal P.C., Martorell R., Richter L. & Sachdev H.S. (2008). Maternal and child undernutrition: consequences for adult health and human capital. *Lancet*, 371: 340-357.
- Villaseñor V.M., Enriquez-Vara J.N., Urías-Silva J.E., & Mojica L. (2021). Edible Insects: Techno-functional Properties Food and Feed Applications and Biological Potential. *Food reviews international*, 330: 1-27.
- Vishal D. & Stephen G.K. (2008). Role of copper in human neurological disorders. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 88: 855-863.
- Vogel G. (2010). For more protein, filet of cricket. *Science*, 327: 811–811.
- Wang D., Bai Y., Li J. & Zhang C. (2004). Nutritional value of the field cricket (*Gryllus testaceus* Walker). *Acta Entomologica Sinica* 11: 275-283.
- Wang W., Xia X., Liu F., Chen X., Yang H. & Ning Q. (2012). Cloning and characterization of the hemocyanin gene of prawn *Macrobrachium nipponense*. *Turkish Journal of Biochemistry*, 37: 348-355.
- Waugtsberg. (2021). Canadian Honey council. [http://honeycouncil.ca/archive/chc\\_teachers\\_french.php](http://honeycouncil.ca/archive/chc_teachers_french.php) (Consulté le 20/07/ 2021).
- Weiping W., Haiyan X., Mei H., Jie W., Ventilateur M., Yong C., Haifeng S. & Xiaojun L. (2014). Performance of mass spectrometric identification of bacteria and yeasts routinely isolated in a clinical microbiology laboratory using MALDI-TOF MS. *Journal of Thoracic Disease*, 6(5): 524-533.
- Weissman D.B., Gray D. A., Pham H. T & Tijssen P. (2012). Billions and billions sold: Pet-feeder crickets (Orthoptera: Gryllidae), commercial cricket farms, an epizootic densovirus, and government regulations make for a potential disaster. *Zootaxa*, 35(4): 67-88.

## Références

---

- Wolff J.P. (1968). Manuel d'analyse des corps gras. Azoulay éd., Paris (France), 519 p.
- WRB. (2006). World Reference Base for Soil Resources. A framework for international classification, correlation and communication. FAO, Rome (Italie), 132 p.
- Xiaoming C., Ying F. & Hong Z. (2010). Review of the nutritive value of edible insects. Edible insects and other invertebrates in Australia: future prospects. *Workshop on Asia-Pacific resources and their potential for development*, 19-21 Février 2008, Bangkok, Thaïland, pp 85-92.
- Yapo M.L., Miriam F.A. & Tuo Y. (2017). Nutritional value of shea caterpillar (*Cirina butyspermi* Vuillet) sold at the market of Korhogo (Côte d'Ivoire). *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, 10(5): 35-44.
- Yen A.L. (2005). Insect and other invertebrate foods of Australian Aborigines. *In: Ecological implications of minilivestock*, Enfield, Science, Paoletti M.G. ed., New Hampshire, (USA) : 367-387.
- Yen A. L. (2009). Entomophagy and insect conservation: Some thoughts for digestion. *Journal of Insect Conservation*, 13(6): 667-670.
- Yi L., Lakemond C.M.M., Sagis L.M.C., Eisner-Schadler V., van Huis A. & van Boekel M.A.J.S. (2013). Extraction and characterisation of protein fractions from five insect species. *Food Chemistry*, 141 (4): 3341-3348.
- Yu J.M., Ahmedna M. & Goktepe I. (2007). Peanut protein concentrate: Production and functional properties as affected by processing. *Food Chemistry*, 103(1): 121–129
- Zagbai H.S., Berti F. & Lebailly P. (2006). Impact de la dynamique cotonnière sur le développement rural. Etude de cas de la région de Korhogo au nord et au centre de la Côte d'Ivoire. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 10 (4) : 325-334.
- Zagrobelny M., Bak S., Rasmussen A.V., Jørgensen B., Naumann C.M. & Møller B.L. (2004). Cyanogenic glucosides and plant-insect interactions. *Phytochemistry*, 65: 293-306.
- Zaremski A., Fouquet D. & Louppe D. (2009). Les termites dans le monde. Edition Quae, Versailles (France), 94 p.
- Zhou J. & Han D. (2006). Safety evaluation of protein of silkworm (*Antheraea pernyi*) pupae. *Food and Chemical Toxicology*, 44: 1123-1130.
- Zhou J., Shen B., Zhang W., Wang J., Yang J., Chen L., Zhang N., Zhu K., Xu J. & Hu B. (2014). Génération en une étape de différentes souris immunodéficientes avec de multiples modifications génétiques par ingénierie du génome médiée par CRISPR/Cas9. *International Journal of Biochemistry and Cell Biology*, 46: 49-55.

## Références

---

- Zielińska E., Baraniak B., Karaś M., Rybczyńska K. & Jakubczyk A. (2015). Selected species of edible insects as a source of nutrient composition. *Food Research International*, 77: 460-466.
- Zielińska E., Karaś M. & Jakubczyk A. (2017). Antioxidant activity of predigested protein obtained from a range of farmed edible insects. *International Journal of Food Science and Technology*, 52(2), 306-312.
- Zimmerman G.(2007a). Review on safety of entomopathogenic *Beauveria bassiana* and *Beauveria brongniartii*. *Biocontrol Science and Technology*, 17: 553-596.
- Zimmerman G. (2007b). Review on safety of entomopathogenic *Metarhizium anisopliae*. *Biocontrol Science and Technology*, 17: 879-920.

# **ANNEXES**

# Annexes

## Annexe 1 : Questionnaire pour enquête

### Identification de l'enquêté

**1. Quelle est votre localité?**

1. Bouaké  2. Daloa  3. Korhogo  4. Man

*La réponse est obligatoire.*

**2. Dans quelle catégorie vous vous situez ?**

1. Consommateurs  2. Collecteurs  3. Commerçants

*La réponse est obligatoire.*

**3. Quel est votre sexe?**

1. Masculin  2. Féminin

*La réponse est obligatoire.*

**4. Quel est votre âge?**

1. [moins de 18ans]  2. [19-35ans]  3. [36-50ans]  4. [51ans et plus]

*La réponse est obligatoire.*

**5. Quel est votre statut matrimonial?**

1. Célibataire  2. Marié  3. Veuf

**6. Quel est votre groupe ethnique?**

1. Baoulé  2. Malinké  3. Sénoufo  4. Bété  5. Yacouba  6. Gouro  7. Autre

*La réponse est obligatoire.*

**7. Si 'Autre', précisez :**

\_\_\_\_\_

**8. Quel est votre niveau d'étude?**

1. Non scolarisé  2. Primaire  3. Secondaire  4. Supérieure

*La réponse est obligatoire.*

**9. Quelle est votre profession?**

1. Agriculteur  2. Commerçant  3. Artisan ou Secteur tertiaire  4. Elève ou Etudiant  
 5. Fonctionnaire  6. Sans emploi  7. Autres

*La réponse est obligatoire.*

**10. Si 'Autres', précisez :**

\_\_\_\_\_

### Connaissance et consommation des insectes

**11. Connaissez vous les insectes comestibles?**

1. Oui  2. Non

*La réponse est obligatoire.*

**12. Si oui, listez les insectes comestibles que vous connaissez**

\_\_\_\_\_

*La réponse est obligatoire.*

*La question n'est pertinente que si Connaissez vous les insectes = "Oui"*

**13. Avez vous déjà consommé des insectes?**

1. Oui  2. Non

*La réponse est obligatoire.*

# Annexes

## 14. Si Oui pourquoi?

La réponse est obligatoire.

La question n'est pertinente que si Avez déjà consommé des insectes? = "Oui"

## 15. Si "Non", pourquoi?

1. Dégoût  2. Interdit culturel  3. Peur  4. Ignorance  5. Pas encore eu l'occasion  6. Autre

Vous pouvez cocher plusieurs cases (2 au maximum).

## 16. Si 'Autres', précisez :

## 17. Quels sont les insectes que vous avez consommé?

1. Termite  2. Grillon  3. Chenille karité  4. Chenille de palmier  5. Criquet  
 6. Zéglé  7. Chenille de fargot  8. Autres

Vous pouvez cocher plusieurs cases (3 au maximum).

La réponse est obligatoire.

La question n'est pertinente que si Avez déjà consommé des insectes? = "Oui" ou Consommez vous toujours des insectes? = "Oui"

## 18. Si 'Autres', précisez :

## 19. Consommez vous toujours des insectes?

1. Oui  2. Non

La réponse est obligatoire.

## 20. Si "Non" pourquoi?

1. Âge  2. Indisponible  3. source de malaise  4. l'entourage  5. Autres

La réponse est obligatoire.

La question n'est pertinente que si Consommez vous toujours des insectes? = "Non"

## 21. Si 'Autres', précisez :

## 22. Quels sont les symptômes ou malaises observés après consommation des insectes

1. Diarrhée  2. Nausée  3. Vomissement  4. éternement  
 5. Démangeaisons  6. Gonflement  7. Difficulté à respirer  8. vertige  
 9. Perte de conscience  10. Autres

Vous pouvez cocher plusieurs cases (5 au maximum).

La réponse est obligatoire.

La question n'est pertinente que si Si "Non" pourquoi?1 = "source de malaise" et Consommez vous toujours des insectes? = "Non"

## 23. Si 'Autres', précisez :

## 24. Selon vous, quel serait l'intérêt de consommer les insectes?

1. Valeur nutritionnelle  2. Goût  3. Coût de la nourriture  4. Caractère de nouveauté ou Originalité  
 5. Thérapeutiques  6. Autres

Vous pouvez cocher plusieurs cases (2 au maximum).

La réponse est obligatoire.

## 25. Si 'Autres', précisez :

## 26. Selon vous, quels peuples de la côte d'ivoire en consomment le plus?

1. Bété  2. Baoulé  3. Malinké  4. Gouro  5. Sénoufo  6. Yacouba  7. Guéré  
 8. Agni  9. Autres

Vous pouvez cocher plusieurs cases (3 au maximum).

La réponse est obligatoire.

## 27. Si 'Autres', précisez :

# Annexes

## Annexe 2 : Matériel technique



**Etuve**



**Motiers en porcelaine**



**Autoclave**



**Balance analytique**



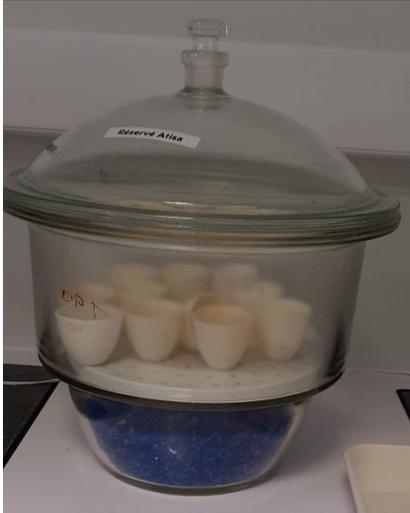
**Agitateur magnetique**



**Centrifugeuse**

## Annexes

---



**Dessicateur**



**Thermocycleur**



**Lecteur de gel Bio-rad**



**Trans –blot tubo Biorad**

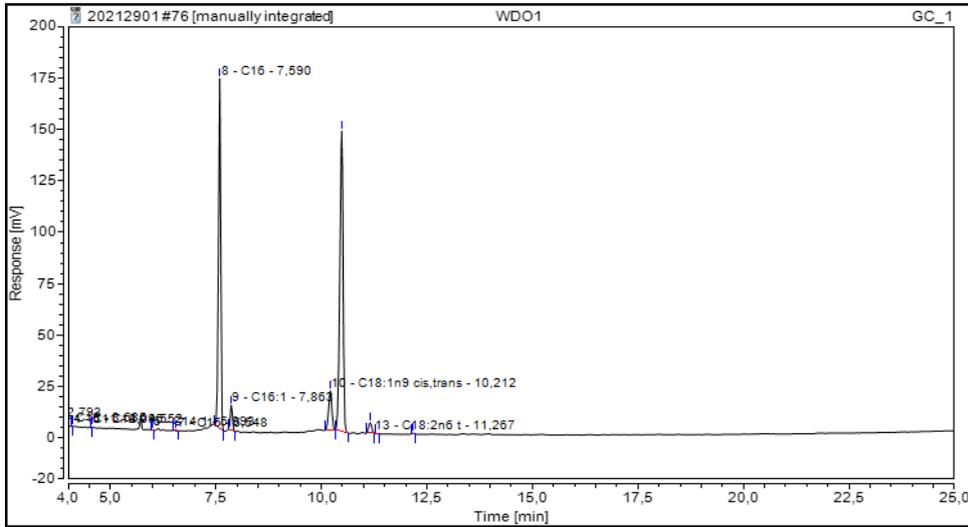


**TissueLyser**

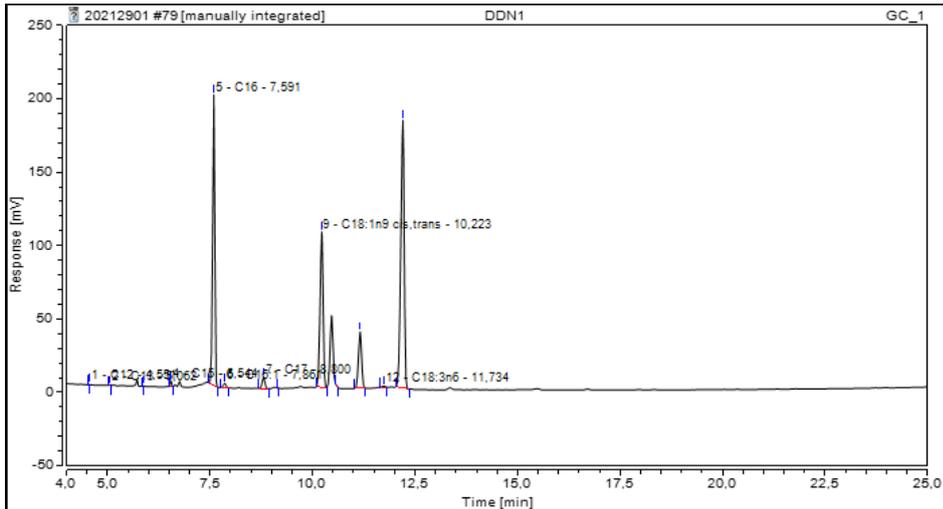


# Annexes

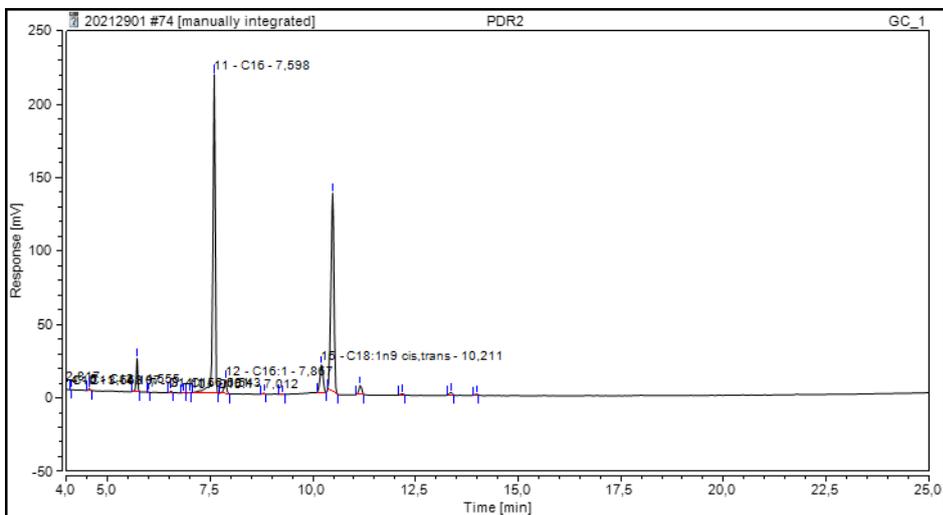
## Annexe 4 : Profils d'acides gras



Profil des acides gras de *O. owariensis*

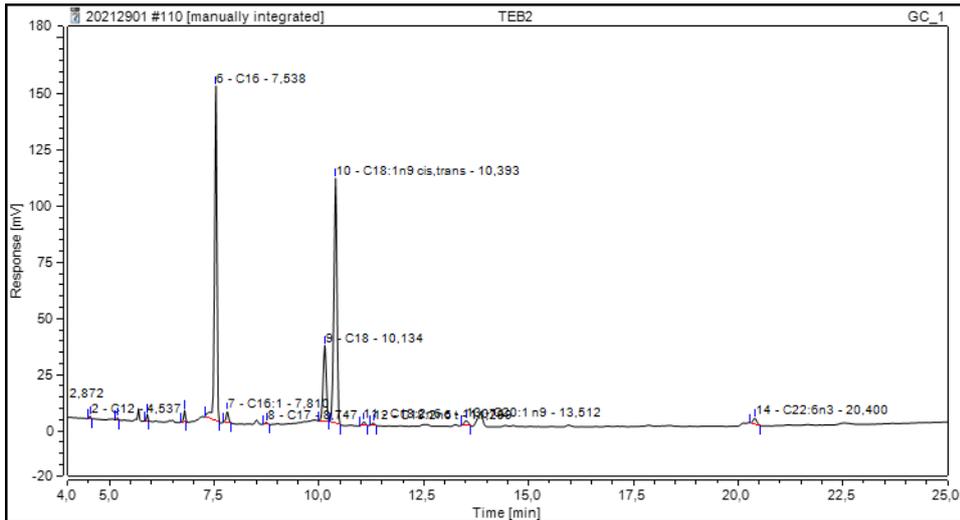


Profil des acides gras de *N. dione*

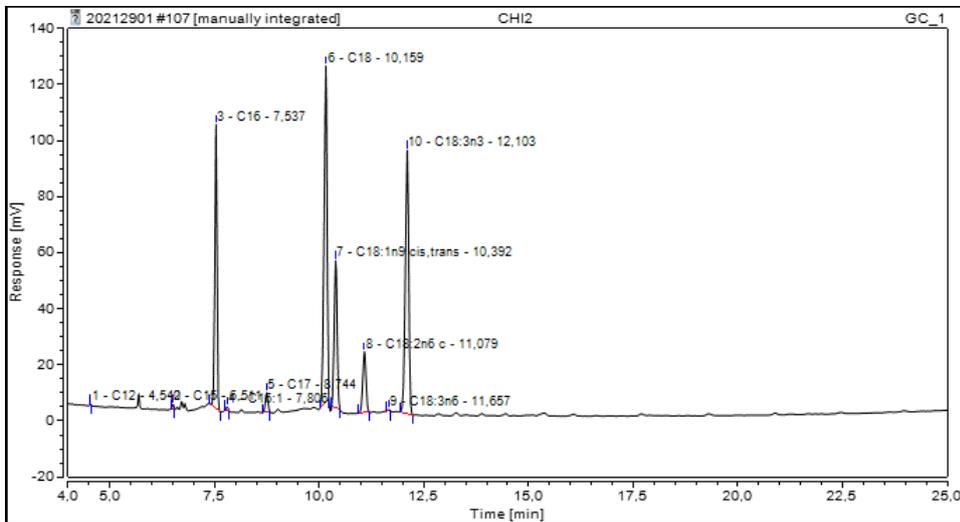


Profil des acides gras de *R. phoenicis*

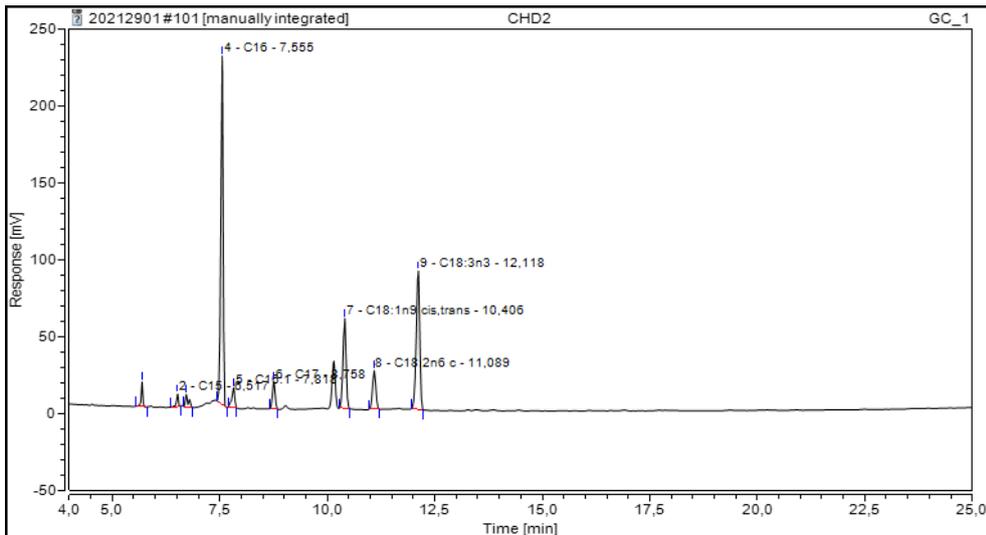
# Annexes



Profil des acides gras de *M. subhyalinus*



Profil des acides gras de *C. butyrospermi*



Profil des acides gras de *I. oyemensis*

## Publications

---



# IJFANS

International Journal of  
Food And Nutritional Sciences

[www.ijfans.org](http://www.ijfans.org)



An Official Publication of International Association of Food and Nutrition Scientists (IAFANS)

# Entomophagy evaluation and nutritional potential of two edible insects sold in the markets of the city of Man (Côte d'Ivoire)

Adjoua Christiane Eunice Boko, Djédoux Maxime Angaman, Sika Hortense Blei  
Department of Biochemistry-Microbiology, Jean Lorougnon Guédé University, Daloa, Côte d'Ivoire

## Abstract

**Background:** Insect consumption remains an important part of the culture of many people around the world, particularly in Africa and Asia. Nearly 1900 edible species have been recorded worldwide. In terms of nutrition, insects are very rich in protein. They contain protein 3–4 times more than pork or chicken for the same weight of material. This content varies greatly depending on the species of insects and their diet, but some insects are more nutritious than beef, crustaceans, and fish. Entomophagy would represent an alternative for people in developing countries and a solution against hunger for under-nuanced populations. In Côte d'Ivoire, nine species have been identified.

**Aims and Objectives:** This study was conducted to evaluate entomophagy in the city of Man and to establish nutritional potential of two edible insect species sold on the markets.

**Materials and Methods:** To do this, a survey was conducted of which 150 people were interviewed randomly and properties of two edible insects *Imbrasia oyemensis* and *Macrotermes subhyalinus* were determined.

**Results:** In total 63.7% consumed insects. Entomophagy was related to sex ( $\chi^2 = 5.17$ ,  $ddl = 1$ ,  $1 - p = 97.71$ ). However, the consumption is motivated by nutritional value (48%) and taste (25.4%); however, disgust (38.1%) and culture (23.8%) limit entomophagy. Furthermore, this study showed that caterpillars (35.9%) and termites (25.0%) were highly prized by the population. Physicochemical characteristics of *Imbrasia oyemensis* and *Macrotermes subhyalinus* collected were analyzed. Indeed, insects consumed consist of various nutrients such as lipids, proteins, vitamins, and carbohydrates. About analyses, protein contents ranged from  $32.065\% \pm 2.385\%$  to  $51.545\% \pm 2.385\%$  had a significantly higher content for *I. oyemensis*. In addition, these species had a high-fat content of up to  $46.065\% \pm 0.31\%$  dry matter (DM). The energy values of 100 g of DM of *I. oyemensis* and *M. subhyalinus* were  $532.448 \pm 1.82$  and  $616.529 \pm 6.87$  kcal, respectively.

**Conclusion:** These insects therefore represent a great nutritional value and a real source of energy for humans.

**Keywords:** Consumer, entomophagy, insects, nutritional value

**Address for correspondence:** Dr. Djédoux Maxime Angaman, Department of Biochemistry-Microbiology, Jean Lorougnon Guédé University, P. O. Box 150, Daloa, Côte d'Ivoire.

E-mail: angaman@ujlg.edu.ci

Submitted: 21-Jan-2020 Revised: 04-Mar-2020 Accepted: 14-Apr-2020 Published: 17-Jun-2020

## INTRODUCTION

Food insecurity is a scourge that still undermines the 21<sup>st</sup> century,

mostly in developing countries.<sup>[1]</sup> According to Durst *et al.*,<sup>[2]</sup> one billion people in the world suffer from malnutrition and 98% of

This is an open access journal, and articles are distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 License, which allows others to remix, tweak, and build upon the work non-commercially, as long as appropriate credit is given and the new creations are licensed under the identical terms.

For reprints contact: reprints@medknow.com

**How to cite this article:** Boko ACE, Angaman DM, Blei SH. Entomophagy evaluation and nutritional potential of two edible insects sold in the markets of the city of Man (Côte d'Ivoire). Int J Food Nutr Sci 2020;9:10-5.

Access this article online	
Quick Response Code:	Website: www.ijfans.org
	DOI: 10.4103/IJFNS.IJFNS_1_20

these people live in Asia and Africa.<sup>[3]</sup> The demographic forecasts for the coming years do not seem to make this situation better because of not only population growth (estimated to 9 billion in 2050)<sup>[4]</sup> but also climatic change.<sup>[5]</sup>

As a response to this scourge, the FAO advocates entomophagy (consuming insects) as a substantial means to improve food security and livelihoods of people living with low income.<sup>[6]</sup> Indeed, edible insects actually contain several nutritional benefits. They offer many calories, proteins, lipids, vitamins, and minerals, depending on their species, their metamorphic stage, and their diet.<sup>[7,8]</sup> Currently, 1700–2000 edible insect species divided into 16 orders of which four represent more than 80% of the edible species have been listed.<sup>[2]</sup> In Côte d'Ivoire, more than 5% of the population has difficulty accessing conventional animal proteins, such as meat and fish,<sup>[9]</sup> because it is too expensive. The consumption of insects would be palliative to this problem. Entomophagy is already present in several countries with a rate of 85% for the Central African Republic and 70% in the Democratic Republic of Congo.<sup>[10,11]</sup> However, it remains very rare because of the primitive character and disgust associated. Its valorization and its industrialization thus remain a way of future.

Although, in Cote d'Ivoire, studies are already carried out on the nutritional characteristics of some edible insect species,<sup>[12-14]</sup> none on entomophagy was not conducted in the city of Man. This city is mainly populated by Dan (Yacouba), Wê (Wobé, Guéré), and Toura representing the peoples consuming the most insects.<sup>[15]</sup> Thus, the present study, which is part of the fight against food insecurity, aims to evaluate entomophagy at the city of Man and to characterize the nutritional potential of insects sold on the markets in the city of Man.

## MATERIALS AND METHODS

### Study area

The survey was conducted in the city of Man located at 7°24'45" north latitude and 7°33'13" west longitude. The city of Man is home to 188,704 inhabitants, according to the RGPH.<sup>[16]</sup> The city of Man and its region are fairly humid because of its particular altitude and forest cover, which gives it a lot of agricultural activity. From the ethnic point of view, the city of Man is a relatively homogeneous locality.<sup>[17]</sup> The department is mainly populated by Dan (Yacouba), Wê (Wobé, Guéré), and Toura. In addition to these indigenous populations, other populations from Northern and Central Côte d'Ivoire (Mahou, Dioula, Malinké, Sénoufo, and Baoulé) and neighboring countries, including Guinea, because of its proximity, Mali, Liberia, Burkina Faso, and Nigeria, constitute the strongest human presence in this department.

### Biological materials

The biological material consists of dried samples of *Imbrasia oyemensis* [Figure 1a] and *Macrotermes subhyalinus* [Figure 1b] harvested from the markets in the city of Man.

### Methods

#### Survey

The information was collected from 150 people across the city by random survey using a closed and open questionnaire based on the model of Balinga *et al.*<sup>[18]</sup> The number of respondents is



**Figure 1:** Types of edible insects analyzed: *Imbrasia oyemensis* (a); *Macrotermes subhyalinus* (b)

related to the availability of people. Respondents were divided into four age groups (15–17, 18–35, 36–50, and 51 and over years) and of both sexes National Institute of Statistics (INS) (2016). Official languages and national languages. <http://www.ins.ci/gene/langues/20officiel/%20et/%20langues/%20nationales.html>. Information was collected on the level of consumption according to gender and level of education, factors limiting consumption, and insects generally consumed.

### Physicochemical analyses

Insects collected in the markets have been sorted and cleared of all kinds of waste. They are put in an oven at 65°C for 72 h and then ground with a porcelain mortar to obtain the insect meal.

pH and humidity were determined according to the AOAC<sup>[19]</sup> method and the ash according to NF V03-760 method.<sup>[20]</sup> Titratable acidity was determined by titration with sodium hydroxide solution (0.1 N) in the presence of phenolphthalein.<sup>[21]</sup> Dry matter (DM) was obtained by drying in an oven according to the method described by the AOAC.<sup>[22]</sup> Brix degree was identified by a refractometer according to Monrose method.<sup>[23]</sup>

### Extraction and Estimation of Fat content

The lipid content was estimated by the Soxhlet method.<sup>[24]</sup>

### Estimation of Vitamin C

The Vitamin C content of insect extracts was determined according to the method described by Elgamouz.<sup>[25]</sup>

### Estimation of proteins

Kjeldahl's method<sup>[26]</sup> was used for determining crude protein from the nitrogen content.

### Estimation of Peroxide value

It was determined according to the method described by Javanmard *et al.*<sup>[27]</sup>

### Estimation of total carbohydrates

The determination was made according to the formula: %Carbohydrates = 100 - (%Moisture + %Protein + %Fat + %Ash).<sup>[28]</sup>

### Energy value

The energy value (EV) corresponding to the available energy is calculated using the specific coefficients of Atwater and Benedict<sup>[29]</sup> for proteins, lipids, and carbohydrates.

$$\% \text{EV} = \{4 \times (\% \text{Protein} + \% \text{Carbohydrate})\} + 9 \times (\% \text{Lipid})$$

EV (in kcal/100 g) fatty acid profile.

### Statistical analysis

Survey data was collected and processed using the software Sphinx lexica, version 4.5, Le Sphinx Développement, Parc Altaïs, 74650 Chavanod.  $\chi^2$  tests followed by correspondence analysis were carried out to determine the relationships between insect consumption, sex, level of education, appearance of insects, etc. As for the analysis of physicochemical data, the STATISTICA, version 7.1, Stat Soft.Inc., Tulsa, Oklahoma software was used. These data were subject to dimensional variance analysis to assess the existence of statistically significant difference between samples. In addition, bivariate Pearson correlations were used to establish a relationship between the different parameters. Finally, a principal component analysis was performed to visualize the samples in a two-dimensional space.

## RESULTS

### Tendency of entomophagy

#### Characteristics of the people interviewed

A total of 150 respondents were made up of 60% of male and 40% of female. Subjects were grouped into four age groups with the highest rate of respondents aged between 18 and 25 years (61.3%). Regarding education level, 87.3% of subjects were literate against 12.7% of illiterates.

#### Consumption rate and insects generally consumed

Statistical analysis applied showed that 63.7% of the respondents consume insects while 32.7% are nonconsumers. Insects generally consumed are caterpillars such as *I. oyemensis* (34.9%) and garlic termites, *M. subhyalinus* (25%) [Figure 2]. From a cultural point of view, the results of the survey showed that Yacouba (38.4%) consume more insects [Figure 3], than Senoufo (16.2%), Guéré (12.7%), Malinké (11.6%), Baoulé (9.5%), Bété (6.7%), and Gouro (4.9%).

#### Consumption by sex, age, level of education, environment

The Pearson's 2-test performed showed that the insect consumption was related to sex ( $\chi^2 = 5.17$ ; ddl = 1;  $1 - p = 97.71\%$ ). Men represent 66.3% of consumers and women the minority with 33.7%. This consumption was very significantly influenced by the entourage ( $\chi^2 = 18.59$ , ddl = 2;  $1 - p = 99.99\%$ ); among these consumers, 85% have an entourage-consumer. On the other hand, the age ( $\chi^2 = 0.17$ , ddl = 1;  $1 - p = 32.2\%$ ) and the level of education ( $\chi^2 = 5.26$ ; ddl = 4;  $1 - p = 73.88\%$ ) do not influence insect consumption. However, 67.3% of people who consume insects were 18–25 years old and the proportion of literate people (88.1%) consuming insects is higher than that of illiterates (11.9%).

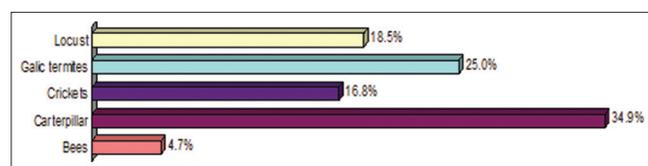


Figure 2: Types of edible insects consumed from our surveys

### Motivating or limiting factors of consumption

There were many sources of motivation for insect consumption. The majority of consumers, i.e., 48%, were motivated by the nutritional value (vitamins, minerals, proteins, etc.), 24.5% by the taste, and finally 14.3% by the character of originality. Cost (6.1%), environment (2.6%), curiosity (4.1%), and lack of food (0.5%) were the minor factors motivating the consumption of insects. Regarding limiting factors for nonconsumers, 38.1% found them as disgusting, 23.8% as noncultural, and 11.9% due to their own principle. This consumption was also limited by fear (9.5%) and by being unfit for health (9.5%). However, nonconsumers would be more comfortable consuming them if the insects were masked in food as flour.

### Physicochemical characteristics of some edible insects of the city of Man

The physicochemical composition of insects was determined [Table 1]. Insect samples had an acidic pH with values ranging from  $5.407 \pm 0.057$  (*I. oyemensis*) to  $6.36 \pm 0.01$  (*M. subhyalinus*). This variation was also observed at the level of the moisture content with a significantly higher content in *I. oyemensis* ( $7.076 \pm 0.807$ ). In addition, *M. subhyalinus* had higher levels of DM ( $94.03\% \pm 2.712\%$  DM) and ash ( $2.568 \pm 0.579$ ). Regarding the nutritional values, i.e., Vitamin C, fat, carbohydrate, and energetic value, *M. subhyalinus* recorded the highest levels with, respectively,  $134.76 \pm 5.581$  mg/100 g DM;  $46.065\% \pm 8.319\%$ ;  $18.421 \pm 2384$  g/100 g DM;  $616.529 \pm 6.879$  kcal/100 g DM. However, there was no statistically significant

Table 1: Physicochemical characteristics of samples of *Macrotermes subhyalinus* and *Imbrasia oyemensis*

Parameters	<i>Macrotermes subhyalinus</i>	<i>Imbrasia oyemensis</i>
pH	$6.36 \pm 0.01^a$	$5.407 \pm 0.057^b$
Percentage moisture	$0.881 \pm 0.197^a$	$7.479 \pm 0.805^b$
Titrate acidity (mEq/L)	$19.85 \pm 0.191^a$	$42.45 \pm 3.649^b$
Brix degree (°Brix)	$4.375 \pm 0.189^a$	$4.075 \pm 0.171^a$
Percentage DM	$94.035 \pm 2.712^a$	$74.848 \pm 11.96^b$
Percentage lipid	$46.065 \pm 8.319^a$	$33.40 \pm 7.074^a$
Vitamin C (mg/100 g DM)	$134.76 \pm 5.581^a$	$133.16 \pm 6.194^a$
Percentage ash	$2.568 \pm 0.579^a$	$1.159 \pm 0.591^b$
Protein (g/100 g DM)	$32.065 \pm 2.385^a$	$51.545 \pm 0.030^b$
Carbohydrate (g/100 g DM)	$18.421 \pm 2.384^a$	$6.417 \pm 0.030^b$
Peroxide index (mEq oxygen/kg DM)	$9 \pm 1.00^a$	$9.67 \pm 1.53^a$
Energy value (kcal/100 g of DM)	$616.529 \pm 6.879^a$	$532.448 \pm 1.826^b$

Values with different alphabetic letters on the same line are statistically different ( $P < 0.05$ ). DM: Dry matter

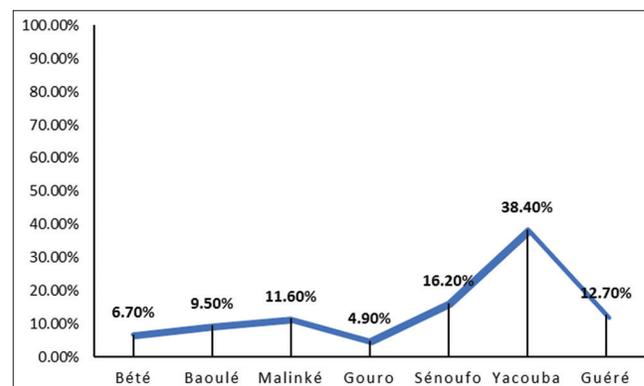


Figure 3: Insect-eating peoples in the city of Man

difference in Vitamin C, lipid contents, and PVs in both species. *I. oyemensis* had the highest protein content ( $51.545 \pm 0.03$  g/100 g DM).

## DISCUSSION

This study showed that 63.7% of the respondents consumed insects. These results were slightly higher than those of Ehounou *et al.*,<sup>[15]</sup> who reported that 59.72% of the population of Abidjan consumed insects. However, Balinga *et al.*<sup>[18]</sup> and Mabossy *et al.*<sup>[30]</sup> recorded a rate of 65.8% for Brazzaville (Congo) and 85% for Yaoundé (Cameroon), respectively. The high consumption of the species, *I. oyemensis* (32%) and *M. subhyalinus*, could be due to their availability on the markets and their ease of storage.<sup>[15]</sup> Moreover, Taméssé *et al.*<sup>[31]</sup> showed that *Lepidoptera* (34.36%) and *Isoptera* (42.94%) were the most commercialized on the markets of Yaoundé (Cameroon). In fact, winged termites, locusts, and caterpillars were the most commonly consumed species in French-speaking West Africa.<sup>[32]</sup> According to Jongema,<sup>[33]</sup> *I. oyemensis* was consumed only in Congo and Côte d'Ivoire, unlike *M. subhyalinus*, which was consumed in several African countries, such as Angola, Zambia, Togo, and Burundi.

However, *Rhynchophorus phoenicis* larvae were absent from the visited market of the city of Man. This confirmed the study by Ehounou *et al.*<sup>[15]</sup> according to which the larvae of *R. phoenicis* were less present in the markets of the city of Abidjan not only because of their rapid decomposition but also because the collectors themselves consume. The high consumption of insects by Yacouba might be cultural in this respect. Moussa<sup>[11]</sup> stated that insect consumption in the Republic of Congo was a dietary habit. Moreover, nutritional value, taste, and character of originality had been identified as the main sources of motivation. At the same time, disgust engendered, culture, and reasons of use limited their consumption. According to some authors,<sup>[34-36]</sup> there were three main reasons for refusal by human, danger, aversion, disgust intermediary-associated emotions such as fear, displeasure, and disgust. Indeed, the insect in our dish remains as harmful as it was being alive.<sup>[36]</sup>

The comparative study of the physicochemical characteristics of both species showed a variation of the levels from one species to another. This variation was due to external factors such as climate, food, habitat, substrate, method of preparation, or methods of analysis.<sup>[37]</sup> Observed moisture of *I. oyemensis* was close to those reported by Foua-Bi *et al.* ( $7.19 \pm 0.02$  g/100 g FM) and Mabossy *et al.* ( $7.3$  g/100 g FM).<sup>[14,30]</sup> In contrast, the study of Niaba *et al.*<sup>[13]</sup> recorded a higher moisture value for *M. subhyalinus*. However, a low moisture content facilitated the physical and nutritional preservation of insects by preventing their deterioration.<sup>[14,30]</sup> The nutritional values of the species analyzed confirmed the study of FAO,<sup>[38]</sup> which noted that edible insects were an important nutritional source for fighting malnutrition. Indeed, these species had an important source of proteins ranging from  $32.065 \pm 2.38$  to  $51.58 \pm 0.03$  g/100 g DM. These values were close to those reported by Foua-Bi *et al.*<sup>[14]</sup> on *I. oyemensis* ( $55.49 \pm 0.175$  g/100 g DM); Niaba *et al.*<sup>[13]</sup> on *M. subhyalinus* ( $38.2 \pm 1.0$  g/100 g DM); and Akpoussan *et al.*<sup>[39]</sup> on *I. oyemensis* ( $55.77 \pm 0.02$  g/100 g DM). Further, this variation was consistent in the interval of Xiaoming *et al.*,<sup>[39]</sup> which recorded protein levels ranging from 13% to 77% DM in 100 edible insect species belonging to various insect orders.

The essential role of a dietary protein was to meet the body's needs for essential nitrogen and amino acids.<sup>[40]</sup> However, its proteins were affected by the method of preparation. Indeed, mopane caterpillars that already have protein levels in the raw state (between 48% and 61%)<sup>[41]</sup> retain more protein when dried than roasted; 57% versus 48%.<sup>[42]</sup> Similarly, raw termites have a protein content of 20%, whereas, when they were fried, smoked, or dried, they display an alternative content of between 32% and 38% of proteins.<sup>[43-45]</sup>

From these results, it appeared that fat content of *M. subhyalinus* is higher than *I. oyemensis*. These results are similar to those of Foua-Bi *et al.*,<sup>[14]</sup> which obtained a fat value of *I. oyemensis* lower than *M. subhyalinus*. In addition, Malaise<sup>[7]</sup> (2003) estimated that fat content of winged termites was between 42% and 53% compared to the DM. Thus, it could contribute to the fight against protein-energy malnutrition in developing countries.<sup>[46]</sup> At the same time, the chemical properties of fat reveal a PV greater than the limit (4) recommended by the Codex Alimentarius<sup>[47]</sup> for a dietary fat. This would justify oxidation of the latter<sup>[12]</sup> possibly due to poor storage before oil extraction.<sup>[13]</sup>

In addition, low carbohydrate content of this study was similar to the study of Chen *et al.*<sup>[48]</sup> These authors described insects as being low in carbohydrate with levels ranging from 1 to 10%. In addition, lower levels were reported by Niaba *et al.*<sup>[13]</sup> on *M. subhyalinus* ( $3 \pm 0.4$  g/100 g DM) and Foua-Bi *et al.*<sup>[14]</sup> on *I. oyemensis* ( $11 \pm 0.1$  g/100 g DM). Nevertheless, species studied had high EVs ranging from  $215.464 \pm 2.160$  to  $616.529 \pm 6.879$  kcal/100 g DM. Akpoussan *et al.* (2009) obtained a lower grade for *I. oyemensis* (470 kcal/100 g DM), while some authors<sup>[49,50]</sup> have determined higher EVs up to 776 kcal/100 g DM with edible insects. Indeed, some insects are more energetic than beef (150 kcal) and fish (100 kcal).<sup>[3]</sup> This energy can be used for the daily needs of the human body, and the FAO<sup>[51]</sup> is right to encourage their incorporation into infant flours and recommend them to the food, pharmaceutical, and cosmetic industries.

## CONCLUSION

The aim of this study was to characterize entomophagy and edible insects' nutritional potentials sold in the markets of the city of Man (Côte d'Ivoire). This study showed that 63% of the people interviewed consumed insects. The Yacouba ethnic group was identified as the largest consumer. *I. oyemensis* and *M. subhyalinus* were more consumed species. This consumption was motivated by certain factors such as nutritional value, taste, and character of originality. Moreover, disgust engendered, culture, and reasons of use limit their consumption. In addition, species analyzed (*I. oyemensis* and *M. subhyalinus*) were rich in nutrients (proteins, lipids, EVs, etc.). Apart from their unattractive appearance, insects could become an alternative source of animal nutrition such as meat and fish.

## Financial support and sponsorship

Nil.

## Conflicts of interest

There are no conflicts of interest.

## REFERENCES

- FAO, FIDA, OMS, PAM, UNICEF. The State of Food Security and Nutrition in the World. Guard against economic slowdowns and downturns. Rome: FAO; 2019.
- Durst PB, Johnson DV, Leslie RN, Shono K. Forest Insects as Food: Humans Bite Back. Chiang Mai, Thailand: FAO; 2008.
- Lavalette M. Insects: A New Source of Proteins for Human food. Doctoral thesis, University of Lorraine, France; 2013. p. 88.
- Van Huis A, Itterbeek JV, Klunder H, Mertens E, Afton H, Muir G, Vantomme P. Edible Insects: Futurs Prospects for Food and Feed Security. Rome; 2013. p. 171-201.
- Belluco S, Losasso C, Maggioletti M, Alonzi CC, Paoletti MG, Ricci A. Edible insects in à food safety and nutritional perspective. A critical review. Compr Rev Food Sci Food Safety 2013;12:1541-4337.
- FAO. Edible Insects – Future Prospects for Food and Feed Security. FAO Forestry; 2013. p. 171.
- Malaisse F, Lognay G, Motte Florac E. Edible caterpillars from tropical Africa. In: Thomas, editors. Insects in Tradition Oral. Vol. 5. Paris: Peeters-Selaf, Ethnoscience; 2003. p. P295.
- Banjo AD, Songonuga EA. The nutritional value of fourteen species of edible insects in Southwestern Nigeria. Afr J Biotechnol 2006;5:298-301.
- National Institute of Statistics. Malnutrition survey in Côte d'Ivoire. National Institute of Statistics; 2008. p. 10. Available from: <http://www.ins.ci/ENV/ENV2008>. [Last accessed on 2020 Jan 20].
- N'gasse G. Contribution of edible caterpillars / larvae to reduction food insecurity in the Central African Republic. Products non-timber foresters. Working Document No. 1. Program of FAO non-wood forest products; 2003.
- Moussa JB. The edible caterpillars of the Republic of Congo: Food interest and marketing channels, Brazzaville case. Consultation Report; 2002. p. 91-4.
- Akposan AR, Ahipo EA, Kouadio JP, Kouamé LP. Nutritional value and physicochemical characterization of the fat of the caterpillar *Imbrasia oyemensis* dried and sold at the market in Adjamé (Abidjan, Côte d'Ivoire). J Animal Plant Sci 2009;3:243-50.
- Niaba KP, Gbogouri GA, Beugre AG, Ocho-Anin AL, Gnagri D. Nutritional potential of the winged termite breeder *Macrotermes subhyalinus* captured. J Appl Biosci 2011;40:149-52.
- Foua-Bi FG, Meite A, Dally T, Ouattara H, Kouame KG, Kati-Coulibaly S. Study of the biochemical and nutritional quality of the dried powder of *Imbrasia oyemensis*, caterpillars consumed in the Center-West of Côte d'Ivoire. J Applied Biosci 2015;96:9039-48.
- Ehounou GP, Ouali-N'goran SW, Niassy S. Assessment of entomophagy in Abidjan (Côte D'ivoire, West Africa). Afr J Food Sci 2017;12:6-14.
- RGPH. Côte d'Ivoire has 23 million inhabitants. Article by the APA agency; 2014. Available from: <http://Abidjan.net>. [Last accessed on 2020 Jan 21].
- Koffi A. The contradictions of targeting policies in poverty reduction projects in the mountainous west of Côte d'Ivoire. DEA Université de Bouaké; 2009.
- Balinga MP, Mapunzu PM, Moussa JB, N'gasse G. Contribution of forest insects to food security: The example of caterpillars of Central Africa. Vol. 1. FAO Non-Wood Forest Products Rome; 2004.
- The Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis. Methods 925.10, 65.17, 974.24, 992.16. 17<sup>th</sup> ed. Gaithersburg, MD, USA: The Association of Official Analytical Chemists; 2000.
- Association Française de Normalisation. Collection of French Standards for Products Derived from Fruits and Vegetables, Fruit Juice. 1st ed. Paris (France): French Association for Standardization; 1982. p. 327.
- Association Française de Normalisation. Fruit and Vegetable Derivatives - Determination of Titratable Acidity. NF V 05-101. Paris: French Association for Standardization; 1974. p. 1-4.
- The Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis. Methods 932.06, 925.09, 985.29, 923.03. 15<sup>th</sup> ed. Arlington, VA, USA: The Association of Official Analytical Chemists; 1990.
- Monrose GS. Standardization of a Chadeque Jam Formulation and Assessment of Physicochemical, Microbiological and Sensory Parameters. State University of Haiti (UEH / FAMV) Agricultural Engineer; 2009.
- AACC. Damaged starch method 76–30A. In: Approved methods of the American Assoc Cereal Chemists. 8<sup>th</sup> ed. St. Paul, MN: AACC; 1984. p. 2.
- Elgamouz S. Monitoring the content of vitamin C in an industrial juice. Master thesis, Sciences and Techniques: CMBA chemistry of bioactive molecules, from Sidi Mohammed Ben Abdellah University, Morocco; 2016.
- BIPEA. Compendium of Methods of Analysis of the European Communities. Gennevilliers, France: Interprofessional Bureau of Analytical Studies; 1976. p. 140.
- Javanmard M, Rokni N, Bokaie S, Shahhousseini G. Effects of gamma irradiation and frozen storage on microbial, chemical and sensory quality of chicken meat in Iran. Food Control 2006;17:469-73.
- Kone S, Soro D, Koffi KE. Formulation and physicochemical characterization of infant flour composed of: Attiéké dehydrate - Cashew almond. Int J Innov Applied Stud 2019;25:700-8.
- Atwater WO, Benedict FG. Experiments on the Metabolism of Matter and Energy in the Human Body. United States. Office of Experiment Stations. Vol. 109. Washington, DC: Government Printing Office; 1902. p. 1898-900.
- Mabossy MG, Kinkela TA, Lenga A, Malaisse F. *Imbrasia truncata* Aurivillius (Saturniidae): Importance in central Africa, marketing and increase in value at Brazzaville. Geo Ecol Trop 2013;37:313-30.
- Taméssé JL, Kekeunou S, Tchatchouaang LJ, Ndegue OL, Aissatou LM, Tombouck C, et al. Consumption and marketing of insects by populations in the western and southern regions of Cameroon. AAIS 21<sup>st</sup> Conference of the African Association of Entomologists. Cotonou, Benin; 2015. p. 28.
- Tchibozo S, Malaisse F, Mergen P. Edible insects by Human in Western French Africa. Geo Eco Trop 2016;40:105-14.
- Jongema Y. Liste of edible insects in the world. Wagenin University & Research, section Expertise and services – Chair group – Plant Sciences; 2015. p. 1-75. Available from: <http://Entomology/Edible-insects/Worldwide-species-list.htm>. [Last accessed on 2019 Nov 17].
- Rozin P, Fallon A. The psychological categorization of foods and non-foods: A preliminary taxonomy of food rejections. Appetite 1980;1:193-201.
- Fallon AE, Rozin P, Pliner P. The child's conception of food: The development of food rejections with special reference to disgust and contamination sensitivity. Child Dev 1984;55:566-75.
- Rozin P, Haidt J, McCauley CR. Disgust. In: Dans Lewis M, Haviland-Jones JM, Barrett LF, editors. Handbook of Emotions. Vol. 3. New York: Guilford Press; 2008. p. 757-76.
- Melo-Ruiz V, Sánchez-Herrera K, García-Nuñez M, Díaz-García R, García L. Edible insects' source of nutrients to improve food security worldwide. Proc Nutr Soc 2013;72(OCE5):E317. [doi: 10.1017/S0029665113003510].
- FAO. Contribution of edible caterpillars to the reduction of food insecurity in the Central African Republic. Document of work 1, FAO Non-Timber Forest Products Program, Rome, Italy; 2004.
- Xiaoming Ch F, Ying Z, Hong C, Zhiyong C. Review of the nutritive value of ed: Insects. In: Forest as Food: Humans Bite Back, Proceedings of a Workshop on Asia-Pacific Resources and Their Potential for Development. Chiang Mai, Thailand; 2010. p. 34-40.
- WHO. Energy and Protein Requirements. Technical Report Series. Vol. 724. Geneva: World Health Organization; 1985.

41. Glew RH, Jackson D, Sena L, Vander Jagt DJ, Pastuszyn A, Millson M. *Gonimbrasia belina* (Lepidoptera: Saturniidae), a nutritional food source rich in protein, fatty acids and minerals. *Am Entomol* 1999;45:250-3.
42. Bukkens SG. The nutritional value of edible insecte. *Ecol Food Nutr* 1997;36:287-319.
43. Santos OJ, Passos de Carvalho J, Bruno de Sousa RF, Madalena SM. The nutritional value of four species of insects consumed in Angola. *Ecol Food Nutr* 1976;5:91-7.
44. Nkouka E. Edible insects in Central African societies. *Rev Sci Culturelle CICIBA Muntu* 1987;6:171-8.
45. Médhavi D. Feasibility study for the deployment of the insect industry for human consumption in Quebec. Masters in Environment University of SHERBROOKE, Quebec; 2017. p. 118.
46. Defoliart GR. Insects as human food: Gene DeFoliart discusses some nutritional and economic aspects. *Crop Protect.*, 1992;11:395-9.
47. Codex Alimentarius. Joint FAO/WHO. Editor: Food and Agriculture Org. Vol. 2. Rome (Italy): FAO; 1992. p. 1-337.
48. Chen X, Feng Y, Chen Z. Common edible insects and their utilization in China. *Entomol Res* 2009;39:99-303.
49. Rumpold BA, Schlüter OK. Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Mol Nutr Food Res* 2013;57:802-23.
50. Ramos Elorduy J. The importance of edible insects in the nutrition and economy of people of the rural areas of Mexico. *Ecol Food Nutr* 1997;36:347-66.
51. FAO. Edible Insects: Prospects for Food Security and Animal Feed. FAO, Section Publications; 2014. Available from: <http://www.fao.org/3/a-i3253f.pdf>. [Last accessed on 2019 Nov 16].



# Propriétés physico-chimiques, fonctionnelles et microbiologiques de la farine de maïs germé enrichie de larves d'insectes comestibles *Rhynchophorus phoenicis* et *Oryctes owariensis*

Angaman Djédoux Maxime<sup>1\*</sup>, Ehouman Ano Guy serge<sup>1</sup>, Boko Adjoua Christiane Eunice<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire d'Agrovalorisation, Département Biochimie-Microbiologie, UFR Agroforesterie, Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire.

Auteur correspondant, e-mail : [angaman@uijlg.edu.ci](mailto:angaman@uijlg.edu.ci)

Original submitted in on 18<sup>th</sup> December 2020. Published online at [www.m.elewa.org/journals/](http://www.m.elewa.org/journals/) on 28<sup>th</sup> February 2021  
<https://doi.org/10.35759/JABs.158.5>

## RESUME

**Objectif :** L'objectif de cette étude est d'évaluer les propriétés de quelques farines formulées à partir de maïs germé enrichi de larves de *Rhynchophorus phoenicis* (charançon africain du palmier) et de *Oryctes owariensis* (scarabée rhinocéros).

**Méthodologie et Résultats :** Pour ce faire, différentes compositions de farines de maïs germé et de poudre de larves (PL) ont été préparées comme suit : les farines composées lot1 (maïs 80% + PL20%), lot2 (maïs 78,5% + PL22,5%), lot3 (maïs 75% + PL25%). Les caractéristiques physico-chimiques, les propriétés fonctionnelles et microbiologiques de ces farines ont été déterminées selon les méthodes standards. Les résultats ont révélé que l'incorporation de la poudre de larves comestibles à la farine de maïs a amélioré significativement les paramètres biochimiques notamment la teneur en protéines, en matière grasse et la valeur énergétique. Ainsi, les farines de maïs germé enrichies avec *Oryctes owariensis* ont présenté une teneur plus élevée en protéines allant jusqu'à 29,73±5,87% pour le FMaGO25. Cependant, celles enrichies au *Rhynchophorus phoenicis* avaient des taux de matières grasses plus élevées estimées à 21,24±0,772% avec 466,67±9,325 kcal/100MS pour la FMaGR 22,5. Toutefois, seule la farine FMaGR20 est proche du standard établi par le codex alimentarius. Aussi, Les charges microbiologiques détectées dans ces farines ont été inférieures aux normes microbiologiques applicables aux farines.

**Conclusion et application :** L'incorporation des larves de *Oryctes owariensis* et de *Rhynchophorus phoenicis* a permis d'obtenir une farine de maïs enrichi. Ces formulations pourront donc alors être recommandées dans la lutte contre les carences nutritionnelles, Ainsi la FMaGR20 contribuera à lutter contre la malnutrition infantile.

**Mots-clés :** Farine améliorée, maïs germé, larves, *Rhynchophorus phoenicis*, *Oryctes owariensis*, d'insectes comestibles

## Physicochemical, functional and microbiological properties of sprouted corn flour enriched with larvae of Edible insects *Rhynchophorus phoenicis* and *Oryctes owariensis*

### ABSTRACT

**Objective:** The objective of this study is to evaluate the properties of the flour formulated from enriched sprouted corn, *Rhynchophorus phoenicis* and larvae of *Oryctes owariensis*.

**Methodology and Results:** To do this, different compositions of sprouted corn flours and larval powder (PL) were prepared as follows: the compound flours lot1 (corn 80% + PL20%), lot2 (corn 78.5% + PL22.5%), lot3 (corn 75% + PL25%) The physicochemical characteristics, functional and microbiological properties of these flours were determined according to standard methods. The results revealed that the incorporation of the powder of edible larvae in corn flour significantly improved the biochemical parameters including the protein content, fat content and energy value. Thus, sprouted corn flours enriched with *Oryctes owariensis* exhibited a higher protein content of up to  $29.73 \pm 5.87\%$  for FMaGO25. However, those enriched with *Rhynchophorus phoenicis* had higher fat levels estimated at  $21.24 \pm 0.772\%$  with  $466.67 \pm 9.325$  kcal / 100MS for FMaGR 22.5. However, only FMaGR20 flour is close to the standard established by Codex Alimentarius. Microbiological loads detected in these flours were lower than standards applicable to flours.

**Conclusion and application:** Incorporation of the larvae of *Oryctes owariensis* and *Rhynchophorus phoenicis* made it possible to obtain an enriched corn flour. These formulations can therefore be recommended in the fight against nutritional deficiencies. Thus, FMaGR20 will contribute to the fight against child malnutrition.

**Keywords:** Improved flour, sprouted corn, larvae, *Rhynchophorus phoenicis*, *Oryctes owariensis*, Edible insects

### INTRODUCTION

Malgré les efforts fournis par les Nations Unies pour l'éradication de la faim et la malnutrition dans le monde, l'insécurité alimentaire continue à gagner du terrain ces dernières décennies. Le rapport sur l'état de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde publié conjointement par la FAO, la FIDA, l'UNICEF, le PAM et l'OMS en 2019, chiffre à plus de 820 millions le nombre de personnes en situation d'insécurité alimentaire dans le monde (FAO, 2019). La forme la plus grave de ces problèmes nutritionnels est la malnutrition protéino-énergétique qui touche présentement plus d'un milliard de personnes (FAO, 2019). Elle est actuellement très présente dans les pays pauvres notamment sur le continent africain où elle touche environ une personne sur cinq. En Côte d'Ivoire par exemple, les résultats de l'enquête SMART 2011-2012 révèlent 29,8 % des enfants souffrant de malnutrition chronique et 7,5 % d'enfant atteint d'émaciation (EDS-MICS, 2012). La cause principale de cette malnutrition serait liée à un déséquilibre de l'apport énergétique, protéique et/ou nutritif. En effet, le régime alimentaire est peu diversifié, essentiellement basé sur les tubercules,

les racines et les céréales qui contribuent à plus de 65 % aux apports énergétiques alimentaires journaliers (INS et ICF, 2012). Cependant, ces aliments sont généralement pauvres en certains nutriments tels que les protéines, les lipides, les minéraux et vitamines dont les apports sont indispensables pour assurer l'équilibre nutritionnel de l'organisme. Une des voies les plus viables pour couvrir ces besoins nutritionnels est l'enrichissement de ces aliments énergétiques par des aliments de complément riches en protéines, lipides, vitamines et minéraux. Parmi ces aliments de compléments, les insectes comestibles recommandés par la FAO pour nourrir le monde d'ici à 2050 s'avèrent être une alternative convenable. De nombreux travaux ont montré que les insectes comestibles très riches en éléments nutritifs notamment en protéines, lipides, vitamines et minéraux peuvent aider à pallier certaines carences en nutriments. En Côte d'Ivoire, neuf espèces d'insectes sont consommées par une frange de la population en remplacement de la viande et du poisson (Ehounou et al., 2018). Parmi celles-ci, d'autres sont beaucoup appréciées sous

leur stade larvaire pour leur goût et leur arôme c'est le cas des espèces *Rhynchophorus phoenicis*, et *Oryctes owariensis* (Le Gall, 2015). Au-delà de ces qualités organoleptiques, ces larves renferment de nombreux atouts sur le plan nutritionnel et rhéologique pouvant permettre de formuler des

aliments stables et riches en nutriments. C'est dans ce cadre qu'interviendra notre étude, sur l'élaboration de farines enrichies aux poudres de larves de *Rhynchophorus phoenicis* et de *Oryctes owariensis* afin d'en évaluer les potentialités nutritionnelles et la qualité microbiologique.

## MATERIEL ET METHODES

Le matériel biologique est constitué des larves de *Rhynchophorus phoenicis* et de *Oryctes owariensis* collectées respectivement dans les palmiers et raphias de la ville Daloa. Ainsi que de grains de maïs achetés directement au grand marché de ladite ville.

**Production des farines de Maïs et Mil germés :** Les grains de Maïs ont été lavés puis trempés séparément dans un récipient ouvert pendant 48 h puis étalés sur un tissu en coton humidifié pendant 3 jours pour la germination. Ensuite les grains qui ont effectivement germés ont été séchés à 55 °C à l'étuve pendant 72 h puis débarrassés de leurs plantules avant d'être finement broyés avec un broyeur de type Forplex et tamisés avec un tamis de diamètre 500 µm. La farine de Maïs germé obtenu a été conditionné dans un Bole en plastique codée FMaG.

**Production des poudres de *Rhynchophorus phoenicis* et *Oryctes owariensis* :** Après la collecte, les larves ont été conservées séparément à -80°C. Les larves décongelées ont été nettoyées à l'eau distillée, égouttées et séchées à 50 °C dans un four pendant 72 h. Les larves (300 g) séchées ont été broyées à l'aide d'un broyeur pour obtenir la farine brute conditionnée et conservée.

**Élaboration de farines incorporées de poudre d'insectes :** Les farines enrichies sont obtenues en incorporant dans la farine de maïs à différentes proportions de poudre de *O. owariensis* ou de *R. phoenicis* (tableau I). Les lots (1, 2 et 3) enrichis au *R. phoenicis* sont respectivement codés FMaGR20 ; FMaGR22.5 et FMaGR25. Par contre, ceux enrichis avec *O. owariensis* sont codés FMaGO20 ; FMaGO22, 5 et FMaGO25.

**Tableau 1 :** Différentes proportions pour 100 g de farines enrichies

Lot	1	2	3
Farine de céréale	80	77,5	75
Poudre d'insecte	20	22,5	25

**Méthodes d'analyses physico-chimiques :** Le pH et l'humidité ont été déterminés selon la méthode AOAC (2000) et les cendres selon la méthode NF V03-760 (1982). L'acidité titrable a été déterminée par titrage avec une solution d'hydroxyde de sodium (0,1 N) en présence de phénolphtaléine (NFV05-101, 1974). La matière sèche (MS) a été obtenue par séchage à l'étuve selon la méthode décrite par l'AOAC (1990). Le degré Brix a été identifié par un réfractomètre selon la méthode de Monrose (2009). La teneur en lipides a été estimée par la méthode Soxhlet (AACC, 1984). La teneur en vitamine C des extraits d'insectes a été déterminée selon la méthode décrite par Elgamouz (2016). La méthode de Kjeldahl (BIPEA.1976) a été utilisée pour déterminer les protéines brutes à partir de la teneur en azote. La détermination a été effectuée selon la formule de Koné et al. (2019). La valeur énergétique correspondant à l'énergie disponible est calculée à l'aide des coefficients

spécifiques d'Atwater et Benedict (1902) pour les protéines, les lipides et les glucides.

**Études de quelques propriétés fonctionnelles des farines composées :** L'absorption d'eau (CAE) des farines a été mesurée par la méthode de centrifugation de Sosulski (1962). Pour la détermination de l'absorption d'huile, l'activité émulsifiante (AE) et la stabilité des émulsions (SE) nous avons utilisé la méthode de Lin et al. (1974).

**Analyses microbiologiques :** Les germes aérobies mésophiles (GAM) ont été dénombrés selon la norme ISO 4833 : 2003. Le dénombrement des levures et des moisissures a été fait selon la norme NF V08-059 : 2002. Les anaérobies sulfite-réducteurs ont été dénombrés selon la norme ISO 7937 : 2004. Le dénombrement des coliformes totaux a été fait selon la norme ISO 4832 : 2006 et les coliformes thermo-tolérants, selon la norme NF V08-060 : 2009.

**Analyses statistiques :** Les données de l'étude ont été recueillies sur le logiciel Excel. Le logiciel STATISTICA 7.1 a permis de déterminer les moyennes et écart-types. Ces moyennes obtenues, ont été sujet à une analyse de

## RESULTATS

**Potentiel nutritionnel des farines de Maïs germé complémentées de *Rhynchophorus phoenicis* et *Oryctes owariensis* :** La composition physico-chimique des farines élaborées a été déterminée et consignée dans le tableau 2. A l'analyse, les farines présentent toutes des pH acides. L'incorporation de la poudre de *Oryctes owariensis* dans le maïs germé favorise une augmentation significative du pH allant de  $4,92 \pm 0,028$  à  $6,58 \pm 0,021$  pour la FMaGO22,5. De plus, les teneurs en humidité sont relativement faibles avec des valeurs variant de  $5,32 \pm 2,432$  à  $9,69 \pm 3,135\%$ . Des taux de matières sèches significativement élevées sont observées pour les farines FMaGR22,5 ( $94,00 \pm 2,645$ ) ; FMaGO20 ( $94,68 \pm 2,432$ ) et FMaGO22,5 ( $93,62 \pm 1,841$ ). Contrairement aux farines FMaGR22,5 et FMaGO22,5, les teneurs en cendre des autres farines élaborées augmentent significativement et passent de 1,40 à 3,55 %. En ce qui concerne les composés nutritifs, une diminution de la teneur en glucides est observée avec l'augmentation du taux d'incorporation des farines d'insectes. Cette teneur passe de  $76,74 \pm 1,445\%$  à  $55,79 \pm 2,742\%$  pour le FMaGR25 et à  $42,69 \pm 10,677\%$  pour le FMaGO25. Toutefois l'effet inverse est observé pour les teneurs en lipides ; en protéines et en valeurs énergétiques qui quant à elles, augmentent significativement. Aussi, les teneurs plus élevées en lipides sont-elles présentées par les farines FMaGR22,5 ( $21,24 \pm 0,772\%$ ) et FMaGR25 ( $19,20 \pm 0,361\%$ ) avec respectivement des valeurs énergétiques de  $466,67 \pm 9,325$  Kcal /100g MS et  $466,89 \pm 9,325$  Kcal /100g MS. De même les farines incorporées avec *O. owariensis* sont plus riches en protéines avec  $17,69 \pm 3,175$  g/100g MS pour FMaGO22,5 et  $29,73 \pm 5,87$ g/100g MS pour FMaGO25. La comparaison des valeurs nutritives des farines élaborées à celle du standard montre que la farine FMaGO20 est très proche de la norme FAO/OMS (2008) avec 7,93 % de lipide ;  $13,65 \pm 0,347$  % de protéine ; 3,55 % de cendre ;  $94,68 \pm 2,432$  % de Matière sèche ;  $69,54 \pm 1,054$  de glucide ;  $404,19 \pm 14,373$  de valeurs

variance dimensionnelle afin d'apprécier l'existence de différence statistiquement significative entre les échantillons.

énergétiques. En effet les teneurs en lipides et en protéines des autres farines sont soit trop élevées ou soit trop faibles par rapport à la norme.

### **Propriétés fonctionnelles des farines élaborées :**

Les propriétés fonctionnelles des différentes farines étudiées ont été déterminées (Tableau 3). En effet, les caractéristiques fonctionnelles de la farine de maïs sont statistiquement différentes de celles des poudres d'insectes produites. Il ressort aussi que la poudre d'*O. owariensis* présente une capacité d'absorption en eau et en huile plus élevée que celle du *R. phoenicis* respectivement de  $176,185 \pm 9,17\%$  contre  $6,667 \pm 1,649\%$  et  $210,728 \pm 1,024\%$  contre  $129,739 \pm 20,639\%$ . Cependant l'activité émulsifiante et la stabilité de l'émulsion de ces deux types d'insectes étudiés sont statistiquement identiques. L'incorporation de poudres d'insectes à un impact positif significatif sur les propriétés fonctionnelles de la farine de maïs germé. La capacité d'absorption en huile (CAH) des farines élaborées augmente. Toutefois, l'analyse statistique effectuée présente des valeurs (CAH) significatives de  $136,966 \pm 16,901\%$  pour FMaGR25 ;  $136,241 \pm 8,432\%$  pour FMaGRO20 ;  $135,892 \pm 2,777\%$  pour FMaGO22,5 et  $170,958 \pm 19,374\%$  pour FMaGO25 contre  $109,378 \pm 9,261\%$  pour la farine de maïs germé. Il en ressort aussi, une baisse de la capacité d'absorption en eau pour toutes les farines formulées. Ainsi la farine FMaGO20 a enregistré la plus faible capacité d'absorption en eau ( $91,410 \pm 18,457\%$ ). En revanche, les activités émulsifiantes des farines FMaGR20 ( $29,442 \pm 3,847\%$ ), FMaGR25 ( $28,114 \pm 1,933\%$ ) et FMaGO25 ( $26,989 \pm 0,754\%$ ) augmentent significativement par rapport à celle de la farine de Maïs germé qui est de  $24,814 \pm 1,740\%$ . De même cette augmentation significative est observée au niveau de la stabilité de l'émulsion de certaines farines élaborées et passe respectivement de  $59,913 \pm 7,828\%$  pour la farine de maïs germé à  $69,744 \pm 0,444\%$  pour FMaGR22,5 ; à  $72,692 \pm 8,462$  pour FMaGO20 et à  $72,187 \pm 9,703$  pour FMaGO25.

Tableau 2 : Caractéristiques physico-chimique des farines élaborées

	Matrices utilisées			Farine enrichie avec <i>Rhynchophorus phoenicis</i>			Farine enrichie avec <i>Oryctes owariensis</i>			Normes FAO / OMS	
	MaG	Rhyn	Oryc	FMaGR 20	FMaGR 22.5	FMaGR 25	FMaGO 20	FMaGO 22.5	FMaGO 25	2006	2008
pH	4,92±0,028 <b>a</b>	5,83±0,032 <b>b</b>	7,41±0,034 <b>c</b>	4,84±0,00 58 <b>a</b>	4,88±0,032 <b>a</b>	4,85±0,035 <b>a</b>	6,44±0,049 <b>e</b>	6,58±0, 021 <b>f</b>	6,44±0,006 <b>e</b>	-	-
Humidité (%)	8,91±0,992 <b>a</b>	13,03±2,045 <b>c</b>	9,11±2,275 <b>a</b>	7,31±0,59 8 <b>b</b>	6±2,645 <b>b</b>	8±2,646 <b>a</b>	5,32±2,432 <b>b</b>	6,38±1, 841 <b>b</b>	9,69±3,135 <b>a</b>	-	-
Acidité titrable (meq/100g MS)	3,733±0,41 6 <b>a</b>	6,93±0,923 <b>b</b>	10,80±1,424 <b>c</b>	5,73±0,30 6 <b>b</b>	10,00±0,00 <b>c</b>	10,00±0,00 <b>c</b>	10,40±0,462 <b>c</b>	11,10±1 ,052 <b>c</b>	10,00±1,633 <b>c</b>	-	-
Lipide (%)	4,29±0,632 <b>a</b>	29,79±6,589 <b>d</b>	23,31±1,975 <b>e</b>	15,17±1,3 32 <b>b</b>	21,24±0,772 <b>c</b>	19,20±0,361 <b>c</b>	7,93±1,227 <b>f</b>	13,93±4 ,739 <b>b</b>	17,48±2,195 <b>b</b>	8	7
Protéine (%)	8,65±0,192 <b>a</b>	35,64±0,136 <b>d</b>	47,31±7,066 <b>e</b>	9,67±0,14 4 <b>b</b>	10,79±0,189 <b>b</b>	13,13±0,095 <b>c</b>	13,65±0,347 <b>c</b>	17,69±3 ,175 <b>f</b>	29,73±5,87 <b>g</b>	15	13
Vitamine C (mq/100g MS)	283,07±17, 782 <b>a</b>	415,07±22,57 9 <b>c</b>	114,84±10,02 1 <b>d</b>	385,73±2, 540 <b>b</b>	396±4,40 <b>b</b>	391,60±4,40 <b>b</b>	119,020±3,3 21 <b>d</b>	113,74± 4,45 <b>d</b>	122,54±6,32 0 <b>d</b>	-	
Degré brix (%)	5,10±0,000 <b>a</b>	3,97±0,058 <b>d</b>	8,875±0,263 <b>e</b>	6±0,000 <b>b</b>	6,50±0,000 <b>b</b>	5,733±0,115 <b>c</b>	3,80±0,231 <b>d</b>	3,950±0 ,058 <b>d</b>	6,45±0,006 <b>c</b>	-	
Cendre (%)	1,40±0,20 <b>a</b>	1,46±0,93 <b>a</b>	10,98±1,375 <b>c</b>	2,00±0,86 6 <b>b</b>	1,33±0,289 <b>a</b>	1,83±0,286 <b>b</b>	3,55±1,144 <b>b</b>	1,75±0, 035 <b>a</b>	3,41±0,324 <b>b</b>	2.9	2
Matière sèche (%)	91,09±0,99 <b>a</b>	86,97±2,045 <b>b</b>	90,89±2,275 <b>a</b>	92,69±0,5 98 <b>a</b>	94,00±2,645 <b>c</b>	92,00±2,645 <b>a</b>	94,68±2,432 <b>c</b>	93,62±1 ,841 <b>c</b>	90,31±3,135 <b>a</b>	95	95
Glucide (%)	76,74±1,44 5 <b>a</b>	20,08±8,94 <b>c</b>	9,32±8,60 <b>e</b>	65,85±2,0 36 <b>b</b>	62,68±2,189 <b>b</b>	55,79±2,742 <b>d</b>	69,54±1,054 <b>a</b>	60,24±5 ,73 <b>b</b>	42,69±10,67 7 <b>d</b>	68	68
VE (Kcal/100g MS)	380,23±3,6 0 <b>a</b>	490,99±25,02 7 <b>d</b>	436,19±19,16 9 <b>b</b>	438,59±5, 003 <b>b</b>	466,67±9,32 5 <b>c</b>	466,89±9,325 <b>c</b>	404,19±14,3 73 <b>e</b>	442,09± 33,908 <b>b</b>	427,532±15, 763 <b>b</b>	400	400

Les valeurs avec des lettres alphabétiques différentes sur la même ligne sont statistiquement différentes (P <0,05). **MaG** : Maïs germé ; **Rhyn** : *Rhynchophorus phoenicis* ; **Oryc** : *Oryctes owariensis*. Farines enrichies au *Rhynchophorus phoenicis* (FMaGR20 ; FMaGR22.5 et FMaGR25) farines enrichies à l'*Oryctes owariensis* (FMaGO20 ; FMaGO22.5 et FMaGO25)

**Tableau 3 :** Propriétés fonctionnelles des farines élaborées

	<b>MaG</b>	<b>Rhyn</b>	<b>Oryc</b>	<b>FMaGR20</b>	<b>FMaGR22,5</b>	<b>FMaGR25</b>	<b>FMaGO20</b>	<b>FMaGO22,5</b>	<b>FMaGO25</b>
AE	24,814±1,740 <b>a</b>	21,506±1,92 <b>2 d</b>	21,002±0,9 <b>55 d</b>	29,442±3,847 <b>b</b>	23,487±1,402 <b>a</b>	28,114±1,933 <b>c</b>	24,233±2,055 <b>a</b>	24,188±4,344 <b>a</b>	26,989±0,754 <b>c</b>
CA E	116,766± 0,462 <b>a</b>	6,667±1,649 <b>c</b>	176,185±9, 17 <b>d</b>	102,314±3,18 <b>1 b</b>	100,766±2,50 <b>3 b</b>	100,320±1,506 <b>b</b>	91,410±18,45 <b>7 e</b>	109,448± 7,954 <b>b</b>	115,319±37,10 <b>2 a</b>
CA H	109,378± 9,261 <b>a</b>	129,739±20, 639 <b>a</b>	210,728±1, 024 <b>c</b>	128,154±70,9 35 <b>a</b>	112,667±11,3 72 <b>a</b>	136,966±16,90 <b>1 b</b>	136,241±8,43 <b>2 b</b>	135,892±2,77 <b>7 b</b>	170,958±19,37 <b>4 b</b>
SE	59,913±7,828 <b>a</b>	81,118±3,89 <b>3 c</b>	91,477±6,8 15 <b>c</b>	60,00±10,00 <b>a</b>	69,744±0,444 <b>b</b>	54,929±3,390 <b>a</b>	72,692±8,462 <b>b</b>	60,669±25,53 <b>0 a</b>	72,187±9,703 <b>b</b>

Les valeurs avec des lettres alphabétiques différentes sur la même ligne sont statistiquement différentes (P <0,05). **MaG** : Maïs germé ; **Rhyn** : *Rhynchophorus phoenicis* ; **Oryc** : *Oryctes owariensis*. Farines enrichies avec *Rhynchophorus phoenicis* (FMaGR20 ; FMaGR22,5 et FMaGR25) farines enrichies avec *Oryctes owariensis* (FMaGO20 ; FMaGO22,5 et FMaGO25).

**Qualité microbiologique des farines élaborées :** Le Tableau 4 présente la qualité microbiologique des différentes farines de maïs enrichies aux insectes. Une charge fongique de  $3,465.10^3$  UFC/g a été détectée seulement chez la farine FMaGR25. De plus, les coliformes totaux ont été dénombrés uniquement dans les farines Oryc ; FMaGO22.5 et FMaGO25 avec des

charges respectives de  $3,5.10^1$  UFC/g ;  $2,53.10^1$  UFC/g et  $1,955.10^2$  UFC/g. Cependant, Les charges des champignons et des coliformes totaux détectées sont inférieures aux normes microbiologiques applicables aux farines infantiles (Codex Stan 74, 1981). Aussi, Les entérobactéries et les salmonelles n'ont pas été détectées.

**Tableau 4 :** Qualité microbiologique des farines.

Farines	Moisissures et Levures	Coliformes totaux	Entérobactéries	Salmonella
MaG	<1	<1	<1	Absence
Rhyn	<1	<1	<1	Absence
Oryc	<1	$3,5.10^1$	<1	Absence
FMaGR20	<1	<1	<1	Absence
FMaGR22,5	<1	<	<1	Absence
FMaGR25	$3,465.10^3$	<	<1	Absence
FMaGO20	<1	<	<1	Absence
FMaGO22,5	<1	$2,53.10^1$	<1	Absence
FMaGO25	<1	$1,955.10^2$	<1	Absence
Norme Microbiologique	< $10^5$	< $10^3$	< $10^3$	Absence

**MaG :** Maïs germé ; **Rhyn :** *Rhynchophorus phoenicis* ; **Oryc :** *Oryctes owariensis*. Farines enrichies avec *Rhynchophorus phoenicis* (FMaGR20 ; FMaGR22,5 et FMaGR25) farines enrichies avec *Oryctes owariensis* (FMaGO20 ; FMaGO22,5 et FMaGO25).

## DISCUSSION

L'incorporation des poudres de larves de *R. phoenicis* ou de *O. owariensis* dans la farine de maïs a eu une influence sur les propriétés physico-chimiques. L'augmentation de l'acidité des farines de maïs enrichie a été également observée par Niaba *et al.* (2014). Selon Soro *et al.* (2013) une augmentation de l'acidité pourrait faciliter la conservation des farines produites. Le faible taux d'humidité enregistré pourrait être dû au séchage préalable des matrices utilisées. FAO/OMS (2006), préconise un niveau d'humidité inférieur à 10% pour conserver les produits farineux à des durées raisonnables. L'ajout de la poudre d'insecte a favorisé une augmentation de la teneur en cendre variant de (1,4 à 3,55%). Cette augmentation est aussi rapportée par Ajayi *et al.* (2012) ; Shiriki *et al.* (2015) qui indiquent un enrichissement de ces farines en minéraux. En effet la teneur en cendre est une estimation approximative de la teneur en minéraux d'un produit (Adegunwa *et al.*, 2014). En ce qui concerne la valeur nutritive telle que les protéines, lipides et valeur énergétique, la teneur augmente significativement avec le taux d'incorporation des insectes. Cette constatation est corroborée par les

études de Banjo *et al.* (2006) ; Kinyuru *et al.* (2009) ; Niaba *et al.* (2014), lors de la formulation de farines alimentaires. Selon ces auteurs cette variation significative en éléments nutritifs pourrait être attribuée aux différentes proportions de poudre de larves d'insectes incorporée lors de la formulation de farines enrichies. Les larves d'insectes comestibles sont de véritables sources d'éléments nutritifs capables de compenser le déséquilibre alimentaire. La teneur en protéine des farines enrichies varie de  $9,67\pm 0,14$  à  $29,73\pm 5,87\%$ . Cette teneur est supérieure à celle obtenue par Sika *et al.* (2019) (10,15 à 14,51%) lors de l'enrichissement du maïs au Safou. Aussi, les teneurs en protéines les plus élevées obtenues pour les farines FMaGO20 ; FMaGO22,5 et FMaGO25 enrichies avec *O. owariensis* pourraient être dues au fait que ces larves ont des proportions plus élevées en protéines que celle du *R. phoenicis*. En générale, les protéines d'insectes sont connues pour être d'une bonne digestibilité contenant certains acides aminés essentiels en quantité appréciable (Food and Nutrition Board, 1980). Ekpo & Onigbinde, (2005) ont signalé des taux élevés de leucine,

de lysine et de thréonine chez les larves d'insectes. La consommation de ces farines pourrait faciliter la croissance des enfants. Selon Soro *et al.* (2013), un aliment riche en protéine facilite la séparation des tissus et la musculature. Ces aliments sont donc importants pendant la croissance et la grossesse. De plus, le RDA (Recommended Dietary Allowance) recommande que les nourrissons (0 à 3 ans) consomment environ 16 g de protéine par jour. Ainsi, un repas de 100 g constitué de farine de maïs enrichie aux larves de *O. owariensis* pourrait donc répondre à leur besoin en protéine. La teneur en protéine des farines FMaGO22,5 (17,69%) et FMaGO25 (29,73%) est supérieure à celle de la farine infantile commerciale BLEDINE (16,69%) (Soro *et al.*, 2013). Contrairement aux protéines, les larves du *R. phoenicis* présentent une teneur plus élevée en lipides par rapport à *O. owariensis*. Ceci pourrait donc expliquer les teneurs les plus élevées en lipides pour les farines FMaGR20 (15,17 ± 1,33%) ; FMaGR22,5 (21,24 ± 0,77%) et FMaGR25 (19,20 ± 0,36%). Les farines de maïs enrichies avec *R. phoenicis* pourraient présenter une meilleure appétence sur le plan sensoriel. En effet, la matière grasse absorbe et conserve leur arôme (Aiyesanmi *et al.*, 1996). Toutefois, en dehors du FMaGO20, l'ensemble des farines élaborées est conforme aux normes (10 à 25%) de lipides établis par le Codex Alimentarius (CAC/GL08-1991). Selon Fasasi (2009), une faible teneur en matière grasse dans un produit sec contribuerait à augmenter la durée de conservation de l'échantillon en diminuant les risques de rancissement. Tandis qu'un produit à haute teneur en matière grasse aurait une valeur énergétique plus élevée et favoriserait l'oxydation. Ceci pourrait expliquer les valeurs énergétiques plus élevées pour les farines FMaGR22,5 (466,6 ± 9,32 Kcal/100gMS) et FMaGR25 (466,86 ± 9,32). De plus, les valeurs énergétiques obtenues dans cette étude sont plus élevées que celles de Sika *et al.* (2019) pour l'enrichissement des maïs au safou (391,94 à 400,86 Kcal/100gMS). Aussi, ces valeurs sont-elles supérieures aux recommandations de l'OMS pour l'aliments de sevrage (400 Kcal/100g MS) (Lutter *et al.*, 2003). Cependant, une baisse de la teneur en glucide est observée. Cette baisse consécutive pourrait être due à la faible teneur en sucre des larves de *R. phoenicis* et *O. owariensis* (Niaba *et al.*, 2014 ; Koffi *et al.*, 2017). De plus, un régime à base d'insectes peut réduire l'apport calorique entraînant une perte de poids souhaité (Kappagoda *et al.*, 2004). Des recherches récentes ont révélé que les insectes contiendraient des quantités considérables de polysaccharides qui pourraient améliorer la fonction immunitaire du corps humain (Long

*et al.*, 2007). En dehors de la FMaGR25 et FMaGO20 ; les farines élaborées présentent des teneurs proches de la norme de 68% établies par le Codex Alimentarius (CAC/G208-1991). De façon générale, les insectes comestibles amélioreraient la qualité nutritionnelle de la farine de maïs. Ces résultats sont corroborés par Assielou *et al.* (2015) ; Niaba *et al.* (2014). Cependant, seule la farine (FMaGO20) a une composition biochimique la plus proches du standard (FAO/OMS2006/2008). Les propriétés fonctionnelles sont très importantes dans les formulations alimentaires (Oyarekua & Adeyere, 2008). La capacité d'absorption en eau (210,72 ± 1,02) et la capacité d'absorption en huile (176,18 ± 9,17) de *O. owariensis* est supérieure à celle du *R. phoenicis*. Cela peut être dû à la présence de constituants hydrophiles. En effet, les farines à haute capacité d'absorption d'eau ont plus de constituants hydrophiles comme les polysaccharides. Aussi, une faible teneur en humidité de ces larves séchées a également amélioré leur CAE (Aremu *et al.*, 2009). Assielou *et al.* (2015) et Koffi *et al.* (2017) ont obtenu une CAE plus élevée pour l'espèce *O. owariensis* (220,33%) et *R. phoenicis* (281,73%). Selon Assielou *et al.* (2015), la capacité d'absorption en huile élevée est due à la présence d'acides aminés apolaires dans les farines de *O. owariensis*. Cette CAH indique que la vitesse à laquelle la protéine se lie aux graisses dans la formulation des aliments. La capacité d'absorption en huile du *R. phoenicis* et celle de *O. owariensis* est inférieure à celle obtenue par Koffi *et al.* (2017) respectivement 139% ; 265,90%. Toutefois, elle reste très utile dans la formulation des aliments tels que les saucisses et produits boulangers (Adebowale & Lawal, 2004). L'incorporation de la poudre d'insecte impacte significativement l'ensemble des propriétés fonctionnelles de la farine de maïs. Selon Nelson-Quartey *et al.* (2007), la présence des lipides en grande quantité dans la farine réduit la capacité de liaison de l'eau à des substances particulières limitant ainsi la CAE. Raison qui explique la diminution progressive de la capacité d'absorption en eau des différentes formulations, vue leur enrichissement en lipide. D'autre part, Oti & Akobundu (2008) rapportent que, plus le niveau de protéine dénaturé est bas, plus il faut le temps pour se mouiller ou s'imprégner d'eau. La capacité d'absorption en eau des farines formulées (91,41% à 109,44%) est inférieure à celles des farines d'igname Niébé (128%) et de pois chiche (136%) obtenu par Ghavidel et Prakash (2006), Kaur & Singh (2005). La capacité d'absorption en huile augmente avec l'incorporation de la poudre des larves d'insectes comestibles passant de 109,38% pour le Maïs

germé pour un maximum de 170,95% pour la FMGO25. Cette CAH, est supérieure à celle de Ojinnaka et al. (2016) lors de l'enrichissement du Maïs au *R. phoenicis* (104 à 139%). La capacité d'absorption en huile est importante dans la conception des aliments effectivement la matière grasse agit comme un agent de conservation de la saveur et augmente la palatabilité des aliments (Aremu et al., 2009). Pour Adebowale & Lawal (2004) les variations de la présence des chaînes latérales non polaires, qui pourraient lier les chaînes latérales d'hydrocarbures du pétrole parmi les farines expliqueraient les différences de capacité de liaison d'huile des farines. Ainsi, les farines formulées pourraient être de bon conservateur de saveur et d'arôme lors de la fabrication de produit alimentaire. Une augmentation de l'activité émulsifiante et de la stabilité de l'émulsion est aussi observée lors de l'incorporation des larves d'insectes surtout au niveau des farines enrichies avec *O.*

*owariensis*. Cette augmentation est probablement dû aux propriétés des protéines à conserver la mousse. Ceci peut donc s'avérer bénéfique pour la consistance et l'appétence des aliments (Akubor et al., 2000). L'évaluation de la qualité microbiologique des farines élaborées a présenté des résultats satisfaisants. En effet, aucune colonie de *Salmonella* n'a été observée. De plus, les charges des moisissures et des levures, ainsi que celles des coliformes totaux enregistrés dans certaines farines étaient inférieures à la norme microbiologique respectivement de  $10^5$  UFC/g et de  $10^3$  UFC/g pour les farines du codex Stan (74-1981). Cette faible charge pourrait s'expliquer par le faible taux d'humidité dû à un séchage préalable des matrices utilisées (*R. phoenicis*, *O. owariensis* et maïs germé) (Niaba et al., 2014 ; Sika et al., 2019). Ainsi, Ces résultats pourraient traduire le respect des bonnes pratiques d'hygiène au cours de la fabrication des farines.

## CONCLUSION ET APPLICATION DES RÉSULTATS

Cette étude a permis de montrer que les larves de *Rhynchophorus phoenicis* et *Oryctes owariensis* sont de véritables sources d'éléments nutritifs. Cette source nutritionnelle est constituée de protéines (35,64% à 47,31%) ; de matière grasses (23,31% à 29,79%), de cendre (1,46% à 10,98%) d'où leur richesse en minéraux et leur bonne valeur énergétique allant jusqu'à 490,99 Kcal/100g MS. Leur incorporation à différent proportion (20% ; 22,5% et 25%) a permis d'élaborer des farines de maïs germé enrichies aux insectes comestibles avec une valeur énergétique variant de 368,23 à 466,89 Kcal/100g MS. En dehors de la qualité nutritionnelle ces

farines ont présenté une qualité fonctionnelle et microbiologique satisfaisante pouvant permettre la formulation d'aliment de bonne qualité organoleptique. Ainsi, ces formulations pourraient être des composants du régime alimentaire de populations pour lesquelles les régimes alimentaires seraient constamment déficients en protéines et en matière grasse. Toutefois seule la farine FMaGO20 présente des valeurs proches de celle de la farine standard (FAO/OMS 2008) pour les farines infantiles. De ce fait, elle pourrait être recommandée pour les nourrissons afin de réduire des maladies liées aux carences nutritives.

## REFERENCES

- AACC, 1984. Damaged starch method 76–30A. In: Approved methods of the American Ass of Cereal Chemists. 8<sup>th</sup> ed. St. Paul, MN, p. 2.
- Adebowale KO, Lawal OS, 2004. Comparative study of the functional properties of bambara groundnut, jack bean and mucuna bean flours. *Food Research International* 37 : 355–364.
- Adegunwa MO, Ganiyu AA, Bakare HA., Adebowale, A. A. (2014). Quality evaluation of composite millet-wheat Chin-chin. *Agriculture Biology Journal of North America*, 5(1) : 33-39.
- Aiyesanmi AF, Oguntokun MO, 1996. Nutrient composition of *Dioclea reflex* a seed – an underutilized edible legume. *La Rivista Italiana Delle Sostanze Grasse*, 73 : 521-523.
- Ajayi OE, 2012. Biochemical analyses and nutritional content of flour castes of subterranean termites, *Macrotermes subhyalims* (Rambur) (Isoptera : termitidae) : differences in digestibility and anti nutrient contents among castes. *International journal of biology* 4 (4) : 54-59.
- Akubor PI, Isolokwu PC, Ugbane O, Onimawo IA, 2000. Proximate composition and functional properties of African breadfruit kernel and wheat flour blends. *Food Research International* 33 : 707-712.
- AOAC, 1990. *Official methods of Analysis of the Association of Analytical Chemists* (15<sup>th</sup> Edition) AOAC. Washington, DC, USA, 648 p.
- AOAC, 2000. *Official Methods of Analysis of the Association of Analytical Chemists* (17<sup>th</sup> Edition) AOAC Washington, DC, USA.
- Aremu MO, Basu SK, Gyar SD, Goyal A., Bhowmik PK., Datta BS, 2009. Proximate composition and

- functional properties of mushroom flours from *Ganoderma* spp., *Omphalotus olearius* (DC.) Sing. and *Hebeloma mesophaeum* (Pers.) Qué. used in Nasarawa state, Nigeria. *Malaysian Journal of Nutrition*, 15(2) : 233–241.
- Assiérou B, Due EA, Koffi MD, Dabonné S, Kouamé PL, 2015. *Oryctes owariensis* Larvae as good alternative protein source : nutritional and functional properties. *Annual Research and Review in Biology*, 8(3) : 1-9.
- Atwater WO, Benedict FA, 1902. Experiments on the metabolism of Matter and Energy in the Human Body.
- Banjo AD, Lawal OA, Songonuga EA, 2006. The nutritional value of fourteen species of edible insects in southwestern Nigeria. *African Journal of Biotechnology* 5 : 298-301.
- BIPEA, 1976. Recueil des méthodes d'analyse des communautés européennes. Bureau Interprofessionnel d'Études Analytiques, Gennevilliers. France.
- CODEX ALIMENTARIUS, 1991. Organisation des Nations unies pour la santé. Rome.
- Codex Alimentarius, 1981. Standard for processed cereal based from infant and young student.
- EDS-MICS, 2012. MEASURE DHS, ICF International Calverton, Maryland, USA.
- Ehounou G, Ouali-N'goran S, Niassy S, 2018. Evaluation de l'entomophagie à Abidjan (Côte d'Ivoire, Afrique de l'Ouest). *African Journal Food Science*. 12(1) : 6-14.
- Elgamouz S, 2016. Monitoring the content of vitamin C in an industrial juice. Master thesis, Sciences and Techniques : CMBA chemistry of bioactive molecules, from Sidi Mohammed Ben Abdellah University, Morocco ;
- FAO, 2019. Rapport sur l'état de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde.
- FAO, FIDA, OMS, PAM, UNICEF, 2019. The State of Food Security and Nutrition in the World. Guard against economic slowdowns and downturns. Rome.
- FAO/OMS, 2006. Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires. Rapport de la vingt-septième session du comité du codex sur la nutrition et les aliments diététiques ou de régime. FAO/OMS. ALINORM 06/29/26. 105p.
- Fasasi OS, 2009. Proximate, Antinutritional factors and functional properties of processed pear millet. *Journal of Food Technology*, 7 : 92-97.
- Food and Nutrition Board, 1980. Recommended Dietary Allowances 9th ed. National Academy of Sciences/National Research Council, National Academy Press, Washington D.C.
- Ghavidel RA, Prakash J, 2006. Effect of germination and dehulling on functional properties of legumes flours. *Journal of Science of Food and Agriculture*, 86 : 1189-1195.
- Idolo I, 2010. Nutritional and Quality Attributes of Wheat Buns Enriched with the Larvae of *Rhynchophorus phoenicis* F. *Pakistan Journal of Nutrition*, 9(11) : 1043-1046.
- INS et ICF, 2012. *Enquête Démographique Et De Santé Et à Indicateurs Multiples De Côte d'Ivoire 2011-2012*. Calverton, Maryland, USA : Institut National de la Statistique et ICF International.
- ISO 4832, 2006. Microbiologie des aliments, méthode horizontale pour le dénombrement des coliformes. Méthode par comptage des colonies. International Standardization Organization.
- ISO 4833, 2003. Microbiologie des aliments. Méthode horizontale pour le dénombrement des micro-organismes ; technique de comptage des colonies à 30 °C. International Standardization Organization.
- ISO 7937, 2004. Microbiologie des aliments. Méthode horizontale pour le dénombrement de *Clostridium perfringens* ; Technique par comptage des colonies. International Standardization Organization.
- Kappagoda TC, Hyson AD, Amsterdam AE, 2004. Low-carbohydrate–high-protein diets is there a place for them in clinical cardiology?. *Journal of the American College of Cardiology* 43(5) :725-730.
- Kaur M, Singh N, 2005. Studies on functional, thermal and pasting properties of flours from different chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Journal of Food Chemistry*, 91 : 403-411
- Kinyuru JN, Kenji GM, Njoroge MS, 2009. Process development, nutrition and sensory qualities of wheat buns enriched with edible termites (*Macrotermes subhylanus*) from Lake Victoria region, Kenya. *African Journal of Food Agriculture Nutrition and Development*, 9(8) : 1739-1750.
- Koffi DM, Cissé M, Koua GA, Niamke SL, 2017. Nutritional and functional properties of flour from the palm (*Elaeis guineensis*) weevil *Rhynchophorus phoenicis* larvae consumed as

- protein source in south Côte d'Ivoire. *The Annals of the University Dunarea de Jos of Galati Fascicle VI- Food Technology*, 41(1), 9-19
- Kone S, Soro D, Koffi KE, 2019. Formulation and physicochemical characterization of infant flour compound : Attiéké - Cashew kernel flour. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 25 : 700-708.
- Le Gall P, 2015. Les insectes comestibles : des pratiques ancestrales à un enjeu d'avenir pour la sécurité alimentaire et l'économie en Afrique Subsaharienne. AAIS 21ème Conférence de Association Africaine des Entomologistes, 19-23 octobre 2015 Cotonou, Bénin.
- Lin MJY, Humbert ES, Sosulski FW, 1974. Certain functional properties of sunflower meal products. *Journal of Food Science*, 39 : 368-370.
- Long S, Ying F, Zhao H, Tao M, Xin Z, 2007. Studies on alkaline solution extraction of polysaccharide from silkworm pupa and its immunomodulating activities. *Forest Research*, 20(6) : 782-786.
- Lutter CK, Dewey KG, 2003. Proposed Nutrient Composition for Fortified Complementary Foods. *Journal of Nutrition*, 133 : 3011-3020.
- Monrose GS, 2009. Standardization of a Chadeque Jam Formulation and Assessment of Physicochemical, Microbiological and Sensory Parameters. State University of Haiti (UEH / FAMV) Agricultural Engineer.
- Nelson-Quartey FC, Amagloh FK, Oduro IN, Ellis WO, 2007. Formulation of an infant food based on breadfruit (*Artocarpus altilis*) and breadnut (*Artocarpus camansi*). *Acta horticultrae* 757 :215-224.
- NF V08-059, 2002. Microbiologie des aliments. Dénombrement des levures et moisissures par comptage des colonies à 25° C. Méthode de routine.
- NF V08-060, 2009. Microbiologie des aliments. Dénombrement des coliformes thermotolérants par comptage des colonies obtenues à 44 °C.
- NIABA KPV, 2014. Potentialités alimentaires et nutritionnelles de *Macrotermes subhyalinus* ailé en côte d'ivoire THESE Pour l'obtention du grade de Docteur en Sciences et Technologie des Aliments de l'Université Nangui Abrogoua 149p
- Ojinnaka MC, Odimegwu EN, Ilechukwu R, 2016. Functional properties of flour and starch from two cultivars of aerial yam (*Dioscorea bulbifera*) in South East Nigeria. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 9(8) :22-25.
- Oti E, Akobundu ENT, 2008. Potentials of cocoyam-soybean-crayfish mixtures in complementary feeding. *Nigerian. Agricultural Journal*, 39 : 137-145.
- Oyarekua MA, Adeyeye EI, 2008. Comparative evaluation of the nutritional quality, functional properties and amino acid profile of co-fermented maize/cowpea and sorghun/cowpea Ogi as infant complementary food. *Asian Journal of Clinical Nutrition*, 1: 31- 39.
- Shiriki D, Igyor MA, Gernah DI, 2015. Nutritional evaluation of complementary food formulations from maize, soybean and peanut fortified with *Moringa oleifera* leaf powder. *Food and Nutrition Sciences*, 6: 494-500.
- Sika AE, Kadji BRL, Dje M, Kone FTM, Dabonne S, Koffi-Nevry AR, 2019. Qualité nutritionnelle, microbiologique et organoleptique de farines composées à base de maïs (*Zea mays*) et de safou (*Dacryodes edulis*) produites en Côte d'Ivoire. *International Journal Biological and Chemical Sciences*, 13(1) : 325-337.
- Soro S, Konan G, Elleingand E, N'guessan D, Koffi E, 2013. Formulation d'aliments infantiles à base de farines d'igname enrichies au soja. *African Journal of Food Agriculture Nutrition and Development*, 3(5) : 8313-8339.
- Sosulski FW, 1962. La méthode de centrifugation pour la détermination de l'absorption de la farine de blé de force roux de printemps. *Cereal Chemistry*, 39 : 344-350.



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

## Evaluation de L'entomophagie dans Quatre Grandes Villes de Côte d'Ivoire

*Boko Adjoua Christiane Eunice*

Doctorante en Biochimie et Nutrition à l'Université Jean Lorougnon Guédé,  
Côte d'Ivoire

*Angaman Djédoux Maxime*

Enseignant-Chercheur en Biochimie à l'Université Jean Lorougnon Guédé,  
Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2021.v17n37p119](https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n37p119)

Submitted: 28 August 2021

Accepted: 14 October 2021

Published: 31 October 2021

Copyright 2021 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

*Cite As:*

Boko A.C.E., Angaman D. M.,(2021). Evaluation de L'entomophagie dans Quatre Grandes Villes de Côte d'Ivoire. European Scientific Journal, ESJ, 17(37), 1.

<https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n37p119>

### Résumé

L'entomophagie qui consiste à la consommation des insectes par l'Homme n'est pas un phénomène inaccoutumé. Elle est impulsée aujourd'hui par la FAO comme étant une source alternative durable de protéine animale pour la consommation humaine à cause de la forte croissance de la population mondiale d'ici à 2050 qui atteindra les 9 milliards d'habitants. Cependant, elle fait face à de nombreuses contraintes dues au manque d'information du secteur. Ainsi, dans l'intérêt de lever tout équivoque sur l'entomophagie, cette étude fut menée et dont l'objectif était d'identifier les différents types d'insectes et les stéréotypes liés à la consommation pour une meilleure valorisation afin de lutter contre l'insécurité alimentaire en Côte d'Ivoire. A cet effet, une enquête de terrain pilotée dans 4 villes différentes (Daloa, Man, Bouaké, Korhogo) auprès de la population a permis de mettre en lumière les freins et les motivations de sa consommation en Côte d'Ivoire. En effet, 1806 personnes ont été interrogées et il en ressort que 60,46% sont entomophages et sont constitués de personnes de tout âge, de toutes les professions. La consommation de ces insectes était fortement motivée par l'arôme (38%). Par ailleurs, l'indisponibilité (42,51%), l'aspect (37%) et ajoutés à la méconnaissance (12%) sont autant de facteurs limitant la pratique de l'entomophagie en Côte d'Ivoire. A l'état actuel, 11 espèces sont identifiées comme comestibles dont la plus prisée est la larve du Rhynchophorus

phoenicis et la plus consommée le termite ailé *Macrotermes subhyalinus* du fait de sa plus grande disponibilité.

---

**Mots clés:** Enquête, Insectes, Entomophagie, Côte d'Ivoire

## **Assessment of Entomophagy in Four Major Cities of Côte d'Ivoire**

*Boko Adjoua Christiane Eunice*

Doctorante en Biochimie et Nutrition à l'Université Jean Lorougnon Guédé,  
Côte d'Ivoire

*Angaman Djédoux Maxime*

Enseignant-Chercheur en Biochimie à l'Université Jean Lorougnon Guédé,  
Côte d'Ivoire

---

### **Abstract**

Entomophagy which consists in the consumption of insects by humans is not an unusual phenomenon. It is promoted today by the FAO as a sustainable alternative source of animal protein for human consumption because of the strong growth of the world population by 2050 which will reach 9 billion inhabitants. However, it faces many constraints due to the lack of information in the sector. Thus, in the interest of clearing up any ambiguity on entomophagy, this study was carried out, the objective of which was to identify the different types of insects and the stereotypes linked to consumption for a better valuation in order to fight against the food insecurity in Côte d'Ivoire. To this end, a field survey piloted in 4 different towns (Daloa, Man, Bouaké, Korhogo) among the population shed light on the obstacles and motivations for their consumption in Côte d'Ivoire. Indeed, 1806 people were interviewed and it emerged that 60.46% are entomophagous made up of people of all ages, from all professions. Consumption of these insects was strongly motivated by aroma (38%). In addition, unavailability (42.51%), appearance (37%) and added to ignorance (12%) are all factors limiting the practice of entomophagy in Côte d'Ivoire. At present, 11 species are identified as edible, the most popular of which is the larva of *Rhynchophorus phoenicis* and the most consumed is the winged termite *Macrotermes subhyalinus* due to its greater availability.

---

**Keywords:** Field Survey, Insects, Entomophagy, Côte d'Ivoire

## Introduction

La consommation d'insectes par les êtres humains est ancestrale, on observe de par le monde un grand nombre de peuples adeptes de l'entomophagie (van Huis, 2013). Plus de 300 peuples se nourrissent couramment d'insectes (Johnson, 2010). Dans certains cas les insectes sont consommés comme une nourriture en situation de pénurie alimentaire d'autre comme spécialité (Monzenga Lokela, 2015). Ainsi près 1500 à 2000 espèces d'insectes comestibles sont inventoriées dans plus de 113 pays dans le monde (Malaisse, 2003).

En Afrique, l'entomophagie est pratiquée dans de nombreuses régions comme un héritage traditionnel (Christensen *et al.*, 2006 ; Hoare, 2007). Les études sur les insectes comestibles africains ont commencé avant le XX<sup>e</sup> siècle (DeFoliart, 2002). Le nombre exact d'insectes comestibles présente des disparités d'une étude à une autre. Les auteurs van Huis *et al.* (2003) ont signalé 246 espèces d'insectes comestibles de 27 pays d'Afrique. Plus tard, Ramos-Elorduy (2005) a noté que l'Afrique abrite une des plus importantes biodiversités d'insectes comestibles dans le monde avec 524 espèces signalées dans 34 pays africains. Ces espèces représentent une source alternative de nourriture surtout pendant les périodes de saisons pluvieuses lorsque la chasse aux gibiers ou la pêche deviennent problématiques (van Huis *et al.*, 2013). Il a été établi que les chenilles et les termites sont les insectes les plus consommés et commercialisés en Afrique. Cependant, de nombreuses autres espèces sont localement plus importantes pour des raisons économiques, écologiques ou nutritionnelles.

En Côte d'Ivoire, la consommation d'insectes est une pratique existante avec des taux de consommation variant d'une localité à une autre. L'étude d'Ehounou *et al.* (2017) estime à 59,72% le taux de consommation d'insectes à Abidjan (Côte d'Ivoire). Aussi Boko *et al.* (2020) ont enregistré un taux de 63,7% de consommation pour la ville de Man. L'étude de l'entomophagie en Côte d'Ivoire a permis de répertorier neuf espèces comestibles regroupées en cinq ordres. Les insectes identifiés sont généralement consommés secs, en grillade, en sauce ou frit (Niaba, 2014 ; Boko *et al.*, 2020). Ces insectes ont fait l'objet de plusieurs études nutritionnelles (Foua Bi *et al.*, 2015 ; Assielou *et al.*, 2015 ; Koffi *et al.*, 2017). Il est bien de noter que la disponibilité des insectes est très saisonnière et très peu d'études font mention de l'état de l'entomophagie en Côte d'Ivoire. C'est dans cette optique que cette étude est entreprise pour actualiser les informations sur l'entomophagie en Côte d'Ivoire.

## 1. Matériel et Méthodes

### 1.1. Zones d'étude

Pour l'enquête sur le terrain, 4 zones d'étude ont été identifiées à savoir Daloa, Bouaké, Man et Korhogo (Figure 1). Ces villes ont été choisies en fonction de la gravité de la malnutrition mais aussi du taux et de la diversité de la population (RGPH, 2014). En effet, les villes de Bouaké et Daloa représentent respectivement les 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> villes de Côte d'Ivoire (RGPH, 2014). Également, la région de Korhogo a une prévalence de malnutrition (plus de 40%) considérée comme critique (Koffi *et al.*, 2009). Situées au Centre, au Centre-Ouest, à l'Ouest, au Nord de la Côte d'Ivoire, les villes de Bouaké, Daloa, Man et Korhogo accueillent de nombreuses populations de toutes les régions du pays aux langues vernaculaires telles que le Malinké, le Yacouba, le Bété qui représentent les peuples qui commercialisent le plus les insectes (Ehounou *et al.*, 2017).

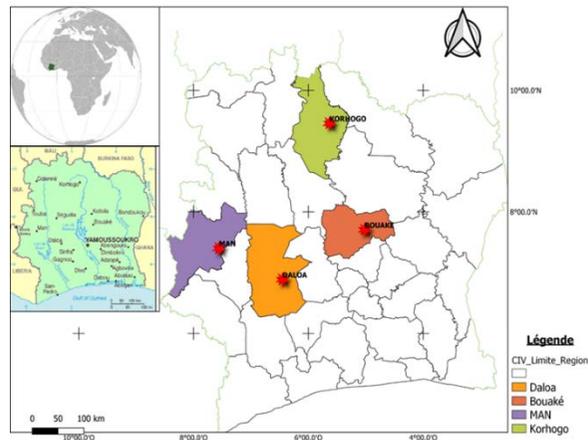


Figure 1. Zones enquêtées pour la détermination de l'entomophagie

### 1.2. Matériel

Le matériel d'échantillonnage est composé d'un appareil numérique pour la prise de vues des différentes espèces d'insectes, des bocaux stériles pour la collecte des différents échantillons et une glacière contenant de la glace pour transporter les échantillons. Les fiches d'enquête préalablement établies ont été utilisées pour la collecte d'informations lors de l'enquête.

### 1.3. Méthodes

L'enquête s'est déroulée dans quatre grandes villes de la Côte d'Ivoire à savoir Korhogo, Bouaké Daloa et Man. Cette enquête a été initiée pour évaluer entre autres le niveau de consommation des insectes dans le pays mais aussi pour connaître les espèces consommées, le mode de consommation, les facteurs motivants ou limitants ainsi que l'avenir de cette pratique. Elle a débuté dans le mois de Juillet 2018 et a pris fin en Février 2019 soit une durée

de 8 mois. Il s'agit d'une enquête de terrain notamment auprès des différentes personnes ressources (commerçants, consommateurs, agriculteurs, etc.). A cet effet un questionnaire à la fois ouvert et fermé avait été établi selon le modèle de Balinga *et al.* (2004) et soumis aux répondants. Pour ce faire, les personnes enquêtées étaient choisies de façon aléatoire au fur et à mesure qu'elles étaient rencontrées. Elles ont été des deux sexes et de toutes les couches sociales. Les entretiens ont été conduits individuellement en français en général et dans une langue locale avec l'appui d'un interprète le cas échéant. En plus du questionnaire, un GPS a été utilisé pour enregistrer les coordonnées géographiques de chaque localité échantillonnée.

#### **1.4. Analyse statistique**

Les données brutes de l'enquête ont été dépouillées avec le logiciel Sphinx Plus<sup>2</sup> V5, exportées dans le tableur Excel (pack Microsoft office 2016) et traitées avec le logiciel statistique R 4.1.0 dans Rstudio (<http://www.rstudio.com> ; <http://www.R-project.org/>) (R core team, 2021). Les statistiques inférentielle et descriptive, grâce aux packages questionr, gtsummary, ggplot2 ont permis de générer les tableaux de contingences, les boîtes à moustaches, les camemberts, et les histogrammes afin de ressortir les informations essentielles selon l'objectif initial de la présente étude. L'indépendance des variables a été réalisée à partir du test de  $\chi^2$ . De plus les résidus de  $\chi^2$  de Pearson ont permis de montrer avec précision les proportions affectées par les différences significatives. Au niveau des tableaux de contingence, il n'y a aucune différence significative (cases blanches) entre les proportions par contre dans les cases colorées la dépendance a été prouvée lorsque la case est en bleu ou plus précisément lorsque le résidus de  $\chi^2$  est  $>2$ .

## **2. Résultats**

### **2.1. Caractéristiques socio-démographiques des populations enquêtées**

Il ressort de la présente enquête que le sondage mené a rejoint des répondants de divers groupes socio-démographiques. Au total 1806 personnes ont été interviewées dans 4 villes dont 501 (27,7%) à Bouaké, 576 (32,1%) à Korhogo, 574 (31,8%) à Daloa et 152 (8,4%) à Man. L'ensemble de la population enquêtée était constitué de 46,2% de femmes et 53,8% d'hommes.

Aussi, l'observation de la répartition des âges des répondants montre-t-elle que la majorité des répondants est comprise dans la tranche d'âge de [19-35ans] soit 67% (Figure 2). Cette représentation était aussi observée au niveau de la distribution des âges en fonction des villes enquêtées (Figure 3).

Toutefois, le pourcentage restant était reparti entre les autres classes, 15% pour [36-50 ans] ; 13% pour moins de 18 ans et 4,6% pour 50 ans et plus.

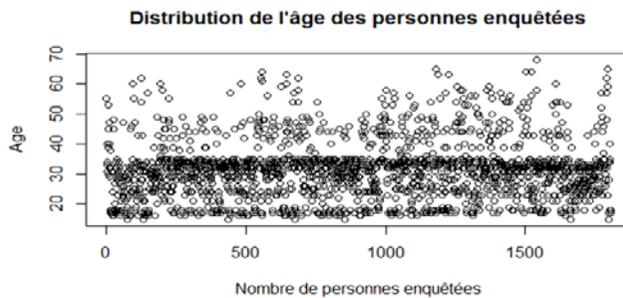


Figure 2. Distribution de l'âge des personnes enquêtées

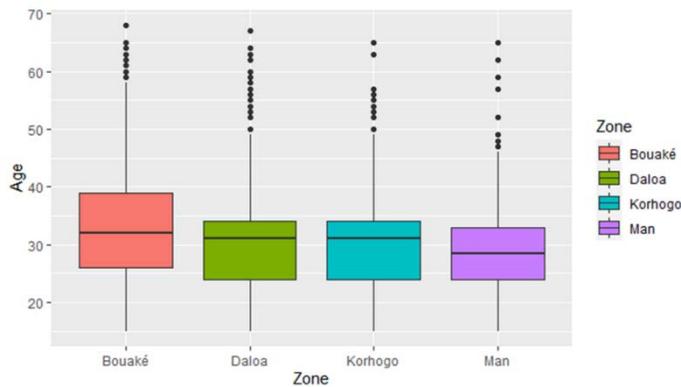


Figure 3. Distribution des âges des personnes enquêtées en fonction des villes (Bouaké, Daloa, Korhogo, Man)

Pour ce qui est de la situation professionnelle, une frange fulgurante des répondants est représentée par les élèves et étudiants (49%) à plein temps (Figure 4). Les autres parts sont constituées de commerçants (16%) et de sans-emplois (10%). Dans un même temps le niveau d'éducation enregistré (Figure 4) est subdivisé en 4 groupes dont 14 % d'analphabètes, 15% avec un niveau d'étude primaire, 35 % avec un niveau secondaire et 36 % avec un niveau supérieur. En ce qui concerne les groupes ethniques, les secteurs majoritairement observés étaient respectivement de 34% d'Akans ; 34% de Mandés et 20% de Voltaïques. Le pourcentage restant est affilié aux Krous (10 %) et Etrangers (1 %) (Figure 5).

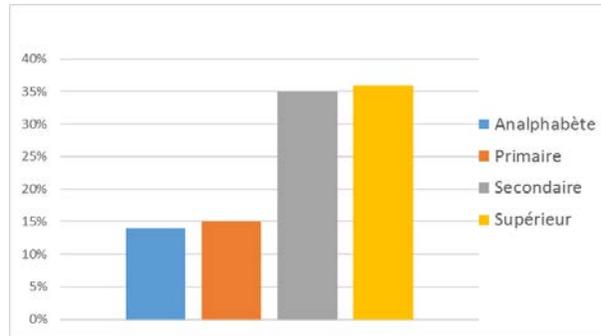


Figure 4. Histogramme du niveau d'éducation des personnes enquêtées

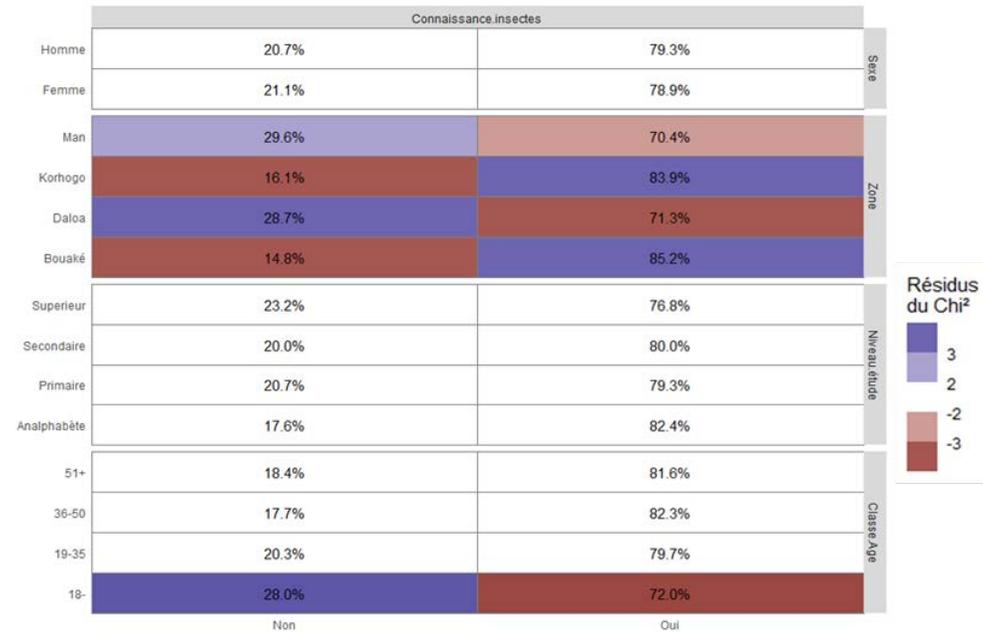


Figure 5. Diagramme de secteur des groupes ethniques représentés au cours de l'enquête sur l'entomophagie

## 2.2. Connaissance de l'entomophagie par la population dans les villes enquêtées

La réalisation de tableaux croisés dynamiques à l'aide des données du sondage à partir du logiciel R version 4.1.0 a permis de mettre en relief certaines caractéristiques : la connaissance en fonction du sexe, de la zone, du niveau d'étude et de la classe d'âge (Tableau I). Ainsi l'exploration générale des données nous indique que 79,12 % des enquêtés connaissent les insectes comestibles contre 20,88 % qui en témoignent le contraire. L'analyse du tableau de contingence de tri croisé présente une différence significative du taux de connaissance de l'entomophagie en fonction des villes ( $Khi^2 = 47,964$  ;  $df = 3$  ;  $p\text{-value} = 2,167 \cdot 10^{-10}$ ). La population enquêtée à Bouaké a une connaissance plus élevée de l'entomophagie avec un taux de 85,5 % contre 83,9 % à Korhogo. Pour ces deux villes les résidus de  $khi^2$  des personnes connaissant les insectes sont supérieurs à 2 donc les effectifs sont plus élevés que ceux attendus d'où la surreprésentation de ces cases (bleu). Quant à Daloa et Man les proportions des personnes ne connaissant pas les insectes sont surreprésentées par rapport à celles attendues. Également, la connaissance des insectes était liée à la classe d'âge ( $khi^2 = 9,6156$  ;  $df = 3$  ;  $p\text{-value} = 0,02213$ ).

Les informations recueillies avec la tranche d'âge de 18 ans et moins ont montré une différence significative par rapport aux autres classes d'âge. En effet, le résidu de  $\chi^2$  est surreprésenté chez ceux qui ne connaissent pas les insectes. Cependant cette connaissance de l'entomophagie n'est significativement pas influencée par le sexe, la profession, le niveau d'étude (p-value > 0,05 et résidus de  $\chi^2$  compris entre -2 et 2).



**Tableau I.** Niveau de connaissance de l'entomophagie par la population enquêtée

Parmi les personnes ayant déjà sustentés les insectes, une proportion de 70,32% a déjà consommé contre 29,68% qui n'a jamais porter dans la bouche les insectes. Le test de Pearson's  $\chi^2$  montre que la zone (ville dans laquelle réside les enquêtés) influence les personnes qui ont déjà consommé les insectes ( $\chi^2= 87,99$ ,  $df = 3$ , p-value <  $2,2 \cdot 10^{-16}$ ), ainsi la plus grande influence a été constaté au niveau de la ville de Bouaké. Les populations de Daloa ont montré une forte propension à n'avoir jamais consommé les insectes. Aussi la classe d'âge de 18 ans et moins semble n'avoir jamais eu à pratiquer l'entomophagie (Tableau II).

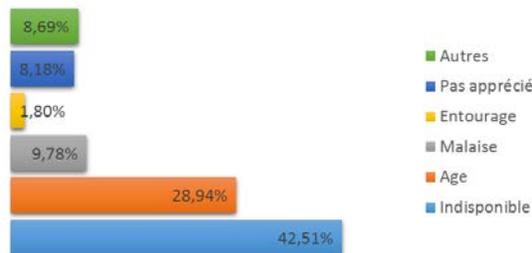
**Tableau II.** Niveau de consommation des insectes par les populations enquêtées

	Déjà consommé		
Homme	28.8%	71.2%	Sexe
Femme	30.7%	69.3%	
Man	32.2%	67.8%	Zone
Korhogo	28.2%	71.8%	
Daloa	38.3%	61.7%	
Bouaké	20.8%	79.2%	Niveau étude
Supérieur	31.3%	68.7%	
Secondaire	29.8%	70.2%	
Primaire	28.8%	71.2%	
Analphabète	26.4%	73.6%	Classe Age
51+	24.1%	75.9%	
36-50	27.7%	72.3%	
19-35	29.3%	70.7%	
18-	35.8%	64.2%	
	Non	Oui	

Résidus du Chi<sup>2</sup>

- 3
- 2
- 2
- 3

Pour ceux qui n'en consomment plus les principales raisons évoquées étaient entre autres l'indisponibilité des insectes (42,51%), l'âge (28,94%) et les malaises (9,78 %) ressentis après consommation (Figure 38). Les principaux malaises ressentis étaient les démangeaisons, la diarrhée et la nausée (Figure 39).



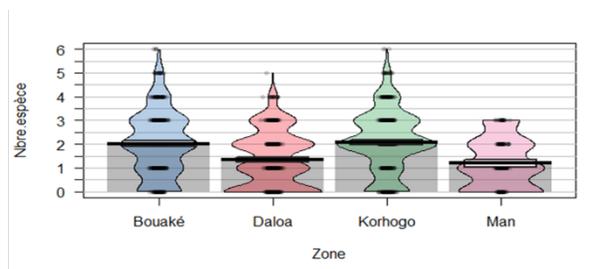
### Inventaire des espèces comestibles dans les villes enquêtées

L'inventaire dressé après dépouillement des résultats de l'enquête révèle que 11 espèces d'insectes appartenant à 5 Ordres distincts et 8 familles sont consommés (Tableau III). Les ordres des Lépidoptères et des Coléoptères sont les plus représentés avec respectivement 5 et 3 espèces répertoriées. L'application du test de Pearson's  $\chi^2$  montre que le nombre d'espèces comestibles est significativement lié à la zone enquêtée ( $\chi^2 = 162,09$  ;  $df = 18$  ;  $p\text{-value} < 2.2e-16$ ). Ainsi, une panoplie d'espèces a été citée dans la ville

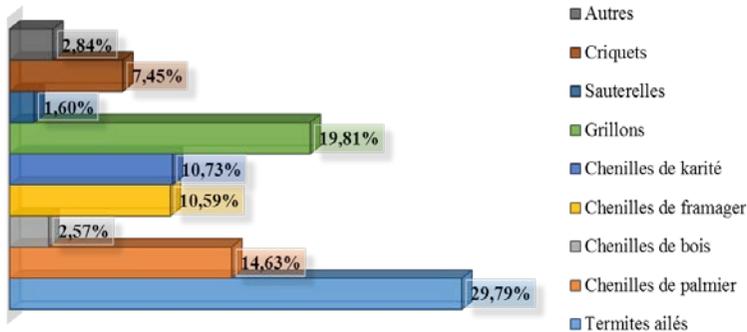
de Korhogo et Bouaké (Figure 6). Au niveau des différents secteurs, la proportion des espèces citées est plus importante chez les voltaïques et chez la tranche d'âges de 19-35 ans. Les espèces majoritairement consommées (Figure 7) sont les termites ailés *Macrotermes subhyalinus* (29,79%), les grillons *Acheta domesticus* (19,81%) et les chenilles du palmier *Rhynchophorus phoenicis* (14,63%). Ces espèces sont généralement consommées en grillade (40%) accompagnées de semoule de manioc « Attiéké, 39,5% ». Par contre, 20,32% des personnes enquêtées préfèrent les consommer sans accompagnement. Il est bien de noter que, tous les insectes consommés sont récoltés dans la nature et ne sont pas élevés pour la consommation.

**Tableau III.** Espèces comestibles en Côte d'Ivoire

Ordres	Familles	Espèces	Noms communs	Stade de consommation
Lépidoptères	Saturniidae	<i>Imbrasia oyemensis</i>	Chenille du fromager	Larve
		<i>Cirina butyrospermi</i>	Chenille du karité	Larve
		<i>Nudaurelia dione</i>		Larve
	Cossidae	<i>Cossus cossus</i>	Chenille de bois altéré	Larve
Coléoptères	Curculionidae	<i>Rhynchophorus phoenicis</i>	Chenille de palmier	Larve et Adulte
		<i>Rhynchophorus ferrugineus</i>	Chenille de palmier	Larve et Adulte
	Dynastidae	<i>Oryctes owariensis</i>	Chenille du raphia	Larve
Isoptères	Macrotermitidae	<i>Macrotermes subhyalinus</i>	Termite ailé	Adulte
Orthoptères	Acrididae	<i>Zonocerus variégatus</i>	Criquet	Adulte
	Grillydae	<i>Acheta domesticus</i>	Grillon	Adulte
Hyménoptères	Apidae	<i>Apis mellifera</i>	Abeille	Larve



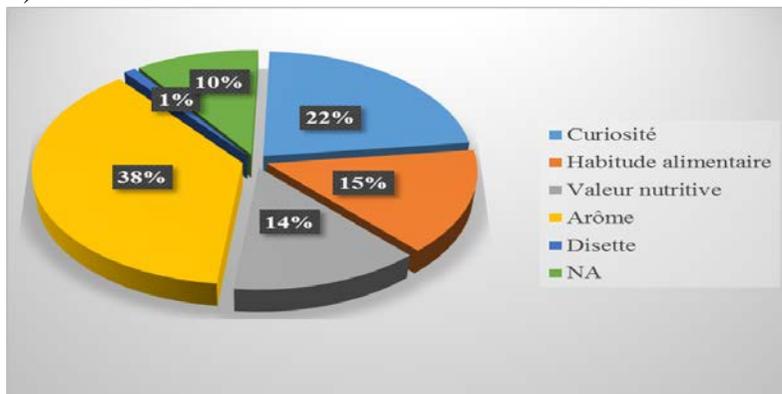
**Figure 6.** Nombre d'espèces consommées en fonction des zones enquêtées



**Figure 7.** Pourcentages des espèces consommées par les populations enquêtées

### 2.3. Facteurs motivant ou limitant la consommation des insectes.

L'enquête a révélé de multiples raisons motivant la consommation des insectes (Figure 8). La majorité des entomophages a été motivée par l'arôme (38%) et la curiosité (22%). Au total 15% ont consommé par habitude alimentaire et 14 % furent motivés par la connaissance de la valeur nutritive (protéines, lipides et vitamines). Uniquement, 1% a été contraint d'en consommer par le manque de nourriture (période de disette). Par contre en ce qui concerne les facteurs limitants la consommation (Figure 8), l'aspect des insectes était principalement énoncé par 37% des non-entomophages. Aussi 12 % ignoraient-ils leur consommation et encore 12% avaient évoqué la peur d'en consommer. L'habitude alimentaire (6 %) et le caractère nocif (2%) représentaient des facteurs minoritaires limitant la consommation des insectes (Figure 9).



**Figure 8 .** Sources de motivation à la consommation des insectes

NA= non précisé

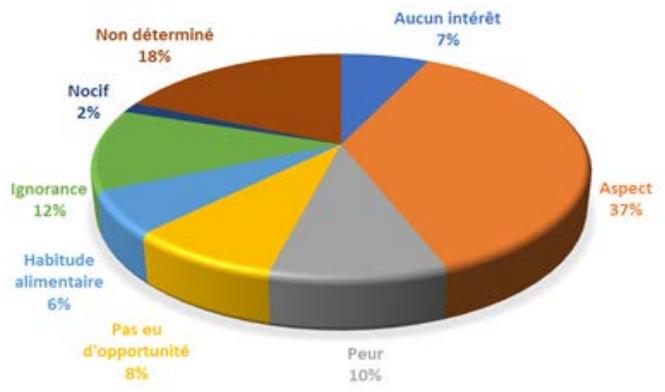


Figure 9. Facteurs limitants la consommation des insectes.

### 3. Discussion

#### 3.1. Evaluation de l'entomophagie et impact sociodémographique

L'entomophagie est une pratique existante en Côte d'Ivoire et représentée variablement dans tous les groupes ethniques. En effet, 60,46% des populations enquêtées sont toujours entomophages contre 70,32% qui ont déjà eu à consommer les insectes. Ce taux rejoint considérablement celui d'Ehounou *et al.* (2019) qui a obtenu un taux de 65,4% d'entomophages sur l'ensemble de la population enquêtée en Côte d'Ivoire. Aussi, Balinga *et al.* (2004) ont enregistré 65,8% d'entomophages au Cameroun. Aussi des proportions plus élevées ont-elles été enregistrées au Congo (85 %). En plus, il a été estimé que l'entomophagie est pratiquée dans au moins 113 pays en Afrique (Jongema, 2017), et les Nations Unies ont recommandé cette pratique comme solution potentielle à la pénurie de denrées alimentaires dans le monde (van Huis *et al.*, 2013).

Selon Sobal et Bisogni (2009), le système alimentaire de chaque groupe ethnique est établi sur la base de certains facteurs sociaux, économiques et environnementaux. Ceci pourrait expliquer la variation des taux d'un peuple à l'autre ou la variabilité des taux dans les zones enquêtées. Aussi, pour Cicatiello *et al.* (2016), les facteurs socio-démographiques jouent-ils un rôle important dans le choix de la pratique de l'entomophagie. Toutefois, cette étude révèle que le sexe, la profession et le niveau d'étude ne présentent aucune influence significative sur la pratique de l'entomophagie. Ces résultats sont contraires à ceux d'Anakware *et al.* (2017), Ehounou *et al.* (2019). Pour ces auteurs, les femmes, les enfants et les sans-emplois sont plus favorables à la consommation des insectes (Meyer-Rochow, 2009). Néanmoins, certains auteurs (Nonaka, 2005 ; Looy et Wood, 2006 ; Van Huis *et al.*, 2013) s'accordent sur le fait que l'éducation jouerait un rôle dans l'augmentation de l'attitude positive envers les insectes comestibles. Au total, 11 espèces appartenant à cinq ordres ont été identifiées comme comestibles en Côte

d'Ivoire. Ces résultats diffèrent de ceux d'Ehounou *et al.* (2019) par l'identification de l'espèce *Nudaurelia dione* mentionnée pour la première fois en Côte d'Ivoire comme insecte comestible. Cet insecte comestible a déjà été rapporté en Angola, en Afrique du sud et au Congo. Anankwa *et al.* (2016), Payne *et al.* (2016) ont quant à eux identifié 10 espèces pour le Ghana et la République Démocratique du Congo (RDC). Le Nigeria a enregistré un nombre plus élevé avec 17 espèces comestibles (Banjo *et al.*, 2006). Cependant, *Macrotermes subhyalinus* reste de loin l'espèce la plus consommée dans cette étude. Kelemu *et al.* (2015) ont aussi argué que les termites sont les plus consommés en Afrique australe. Pour Malaisse (2003), les termites sont les plus connus après les chenilles. Par contre, Au Burkina Faso, l'insecte le plus comestible est la chenille du karité (*Cirina butyrospermi*), qui est considérée comme un ravageur des plantations d'arbres cultivés pour la production de beurre de karité (Anvo *et al.*, 2016). La consommation des termites peut être justifiée par leur qualité organoleptique mais également par leur disponibilité sur les marchés (Niaba *et al.*, 2014 ; Ehounou *et al.*, 2018). En effet, les chenilles de *Cirina butyrospermi*, *Imbrasia oyemensis* et les termites ailés de *Macrotermes subhyalinus* sont les plus commercialisés sur les marchés ivoiriens. Ces résultats abondent dans le même sens que ceux de Taméssé *et al.* (2015) qui ont montré que les larves des Lépidoptères (34,36 %) et d'Isoptères (42,94 %) sont les insectes les plus commercialisés sur les marchés Camerounais. Bien qu'étant absentes sur le marché, les larves du genre *Rhynchophorus* sont incontestablement les plus prisées par les consommateurs.

Les insectes comestibles sont soumis à des traitements culinaires divers et variés. Ils sont généralement séchés afin de faciliter leur conservation. Dans certains pays africains, les enfants sont nourris avec de la farine à base de chenilles séchées pour lutter contre la malnutrition (FAO, 2004). Néanmoins les personnes interviewées les consommaient grillées accompagnées de semoule de manioc ou pas. Ce résultat est aussi mis en relief, par Ekpo et Oningbinde (2007) au Nigeria. Selon ces auteurs les insectes sont cuits étant grillés dans leur propre graisse et consommés avec des bâtons de manioc. Selon, van Huis (2003) en Afrique Subsaharienne, *R. phoenicis* est souvent grillé ou frit sur des charbons carbonisés. La cuisson améliore l'appétence des insectes et la disponibilité des éléments nutritives. Néanmoins, la littérature a excipé des consommations d'insectes à l'état cru. Certaines ont tendance à associer la consommation des insectes à diverses pratiques médicinales au-delà de la nutrition (Raheem *et al.*, 2018). En illustration, Chen *et al.* (2019) dénotent que les chenilles ont des propriétés immunostimulantes et anticancéreuses. Dans la médecine traditionnelle Chinoise, *Antheraea pernyi* mâle est prescrit comme aphrodisiaque (Chen *et al.*, 2009). Aussi, les termites sont suggérés pour leurs effets immunostimulants (Chen *et al.*, 2009).

Dans un même temps, les femmes enceintes et allaitantes ainsi que les anémiques sont encouragées à manger des chenilles pour améliorer leur protéine (Illgner et Nel, 2000)

### **3.2. Facteurs incitant ou limitant la consommation des insectes**

L'arôme, est représenté dans la présente étude comme étant la principale source de motivation à la consommation des insectes en Côte d'Ivoire. Abordant dans le même sens, diverses études dans d'autres pays en développement rapportent que l'arôme est le motif majeur de consommation d'insectes (Obopile et Seeletso, 2013). En dehors de l'arôme, la curiosité (22 %) et la connaissance de la valeur nutritive (15%) sont aussi énumérées comme sources de motivation à la consommation. Ces facteurs sont rapportés par Ehounou *et al.* (2017) en raison de 49,39% pour le goût, 12,20 % pour la teneur en protéines et 17,43% par curiosité. En revanche, Obopile & Seeletso (2013) ont découvert, dans leur étude au Botswana, que la valeur nutritive est indiquée par seulement 5% des répondants comme facteur motivant. Il est donc pertinent de noter que ces facteurs varient d'un peuple à l'autre.

La pratique de l'entomophagie fait face à plusieurs contraintes dont les principales évoquées dans cette étude sont la non-disponibilité et l'inaccessibilité aux insectes (Obopile et Seeletso, 2013). En effet, les espèces consommées sont collectées dans leur habitat naturel dans des zones difficilement accessibles aussi leur disponibilité est-elle saisonnière. De plus, la surexploitation et la déforestation par l'homme reste également un sérieux défi pour la pratique actuelle et future de l'entomophagie (Hoare, 2007). Par conséquent, un approvisionnement accru de ces espèces aura le potentiel de résoudre les problèmes de sécurité alimentaire à la fois en augmentant, le taux de consommation et les revenus des personnes impliquées dans la collecte et la commercialisation des insectes (N'gasse, 2004 ; Ehounou *et al.*, 2017). En dehors de la non-disponibilité, les insectes sont aussi perçus dans cette étude comme étant sales et impropres à la consommation et pas culturels par certaines personnes (van Huis, 2013). Toutefois, Tan *et al.* (2015) ont conclu que c'était « l'expérience individuelle plutôt que culturelle » qui déterminait les attitudes à l'égard de la consommation d'insectes et que « les jugements étaient fondés sur des souvenirs d'alimentation passée.

### **Conclusion**

L'entomophagie est déclinée comme étant une solution idoine à la demande croissante de ressource protéique contemporaine et future. Cependant, celle-ci connaît des entraves du fait d'un manque criard de connaissance scientifique sur les risques et barrières sociétales. Ainsi, dans une dynamique de valorisation par l'amélioration des connaissances de ce secteur, ce travail de recherche a permis d'évaluer l'état de l'entomophagie en

Côte d'Ivoire afin de mettre en évidence le potentiel et les risques liés à de telles pratiques alimentaires. La consommation des insectes est une pratique existante en Côte d'Ivoire et est représentée variablement par les différents groupes ethniques. En effet, l'enquête réalisée auprès d'une frange de la population est supputée à 60,31 % le taux moyen d'entomophages. Ces entomophages étaient constitués de personnes de tout âge, de toutes les professions. La consommation de ces insectes était fortement motivée par l'arôme (38%), la curiosité (22%), l'habitude alimentaire (15%). Par ailleurs, l'indisponibilité (42,51%), l'aspect (37%) et la méconnaissance (12%) sont autant de facteurs limitants la pratique de l'entomophagie en Côte d'Ivoire. A l'état actuel, 11 espèces sont identifiées comme comestibles dont la plus prisée est la larve du *Rhynchophorus phoenicis*. Cette espèce sont très peu représentée sur le marché soit quasi inexistante. L'approvisionnement se fait par collecte dans leur état naturel et souvent dans les zones difficilement accessibles.

### References:

1. Anankware, J.P., Osekre, E.A., Obeng-Ofori, D., & Khamala, C.M. (2016). Factors that affect entomophagical practices in Ghana. *Journal of insects of Food and feed*, 1: 1-10.
2. Anvo, M., Toguyen, A., & Otchoumou A. (2016). Nutritional qualities of edible caterpillars *Cirina butyrospermi* in southwestern of Burkina Faso. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 18(2): 639-645.
3. Assielou, B., Dué, E., Koffi, M., Dabonne, S., & Kouamé, P. (2015). *Oryctes owariensis* Larvae as Good Alternative Protein Source: Nutritional and Functional Properties. *Annual Research & Review in Biology*, 8(3): 1-9.
4. Balinga, M.P., Mapunzu, P.M., Moussa, J.B., & N'gasse G. (2004). Contribution of forest insects to food security: The example of caterpillars of Central Africa. Vol. 1. *FAO Non-Wood Forest Products Rome*.
5. Banjo AD, Songonuga EA. (2006). The nutritional value of fourteen species of edible insects in Southwestern Nigeria. *African Journal of Biotechnology*, 5:298-301.
6. Boko, A.C.E, Angaman, D.M. & Blei, S.H. (2020). Entomophagy evaluation and nutritional potential of two edible insects sold in the markets of the city of Man (Côte d'Ivoire). *International Journal of Food and Nutritional Science*, 9:10-15.
7. Cicatiello, C., Franc, o S., Pancino, B., & Blasi F. (2016). The value of food waste: An exploratory study on retailing. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 30: 96-104.

8. Chen, X., Feng, Y., & Chen, Z. (2009). Common edible insects and their utilization in China. *Entomological Research*, 39(5): 299–303.
9. Christensen, D.L., Oreh, F.O., Mungai, M.N., Laren, T., Friis, H., & Aagaard-Hansen, J. (2006). Entomophagy among the Luo of Kenya: a potential mineral source?. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 57(3-4): 198-203.
10. DeFoliart, G.R. (2002). The human use of insects as food resource: à bibliographic account in progress. Wisconsin, USA, Department of Entomology, University of Wisconsin Madison.
11. Ehounou, G.P., Ouali-N'goran, S.W., & Niassy, S. (2017). Assessment of entomophagy in Abidjan (Côte D'ivoire, West Africa). *African Journal of Food Science*, 12:6-14.
12. Ehounou, G.P., Ouali-N'goran S.W & Niassy S. (2018). Evaluation de l'entomophagie à Abidjan (Côte Divoire, Afrique de l'Ouest). *African Journal of Food Science*, 12(1): 6-14.
13. Ekpo, K.E., & Onigbinde, A.O. (2005). Nutritional potentials of the larva of *rhynchophorus phoenicis* (F). *Pakistan Journal of Nutrition*, 4(5): 287–290.
14. FAO (2004). *Etat l'insécurité alimentaire dans le monde ; Suivi des progrès accomplis en vue de la réalisation du Sommet mondial de l'alimentation et de la Déclaration du Millénaire*. 43p .
15. Foua Bi, F.G., Meite, A., Dally, T., Ouattara, H., Kouame, K.G., & Kati-Coulibaly, S. (2015). Biochemical and nutritional study of powder from caterpillars *Embrasai oyemensis* eaten in West of Côte d'Ivoire. *Journal of Biochemical Research*, 5(3): 24-30.
16. Hoare A.L. 2007. The use of non-timber forest products in the Congo Basin: Constraints and Opportunities. Rainforest Foundation. 56P.
17. Illgner, P. & Nel, E. (2000). The geography of edible insects in sub-Saharan Africa: a study of the mopane caterpillar. 166: 336–351.
18. Johnson, D.V. (2010). The contribution of edible forest insects to human nutrition and to forest management. In: Durst, P.B., Johnson, D. V., Leslie, R.N., Shono, K. eds. *Forest Insects as Food: Humans Bite Back*. FAO, Bangkok, 5–22.
19. Kelemu, S., Niassy, S., Torto, B., Fiaboe, K., Affognon, H., Tonnang, H., Maniania, N. K., & Ekesi, S. (2015). Insectes comestibles africains pour l'alimentation humaine et animale : inventaire, diversité, points communs et contribution à la sécurité alimentaire. *Journal de nourriture pour insectes*, 1 :103-119.
20. Koffi, A. (2009). The contradictions of targeting policies in poverty reduction projects in the mountainous west of Côte d'Ivoire. DEA Université de Bouaké.

21. Koffi, D.M., Cissé, M., Koua, G.A., & Niamké, S.L. (2017). Nutritional and functional properties of flour from the palm (*Elaeis guineensis*) weevil *Rhynchophorus phoenicis* larvae consumed as protein source in south Côte d'Ivoire. *The Annals of the University Dunarea de Jos of Galati Fascicle VI- Food Technology*, 41(1) : 9-19.
22. Looy, H., & Wood, J.R. (2006). Attitudes toward Invertebrates: Are Educational "Bug Banquets" Effective?. *Journal of Environmental Education*, 37(2): 37-48.
23. Malaisse, F., Lognay, G., & Motte Florac, E. (2003). Edible caterpillars from tropical Africa. In: Thomas, editors. *Insects in Tradition Oral*. Vol. 5. Paris: Peeters-Selaf, Ethnoscience. p.295.
24. Meyer-Rochow, B.L. (2009). Food taboos: their origins and purpose. *Journal of ethnobiology and Ethnomedicine*, 5(18): 1-10.
25. Monzenga Lokela., J.-C. (2015). Ecologie appliquée de *Rhynchophorus phoenicis* Fabricius (Dryophthoridae : Coleoptera) : phénologie et optimisation des conditions d'élevage à Kisangani, R.D. Congo. <https://dial.uclouvain.be/pr/boreal/object/boreal:15758>
26. N'gasse, G.(2003). Contribution of edible caterpillars / larvae to reduction food insecurity in the Central African Republic. *Products non-timber foresters. Working Document No. 1. Program of FAO non-wood forest products.*
27. Niaba K.P.V. (2014). Potentialités alimentaires et nutritionnelles de *Macrotermes subhyalinus* ailé en Côte d'Ivoire THESE Pour l'obtention du grade de Docteur en Sciences et Technologie des Aliments de l'Université Nangui Abrogoua 149p.
28. Nonaka, I., & Toyama, R. (2005). The theory of the knowledge-creating firm: Subjectivity, objectivity and synthesis. *Industrial and Corporate Change*, 14(3):419-436.
29. Obopile, M., & Seeletso, T.G. (2013). Eat or not eat: An analysis of the status of entomophagy in Botswana. *Food security*, 5(6):817-824.
30. Payne, C.L.R., Scarborough, P., Rayner, M., & Nonaka, K. (2016). Are edible insects more and less "healthy" than commonly consumed meat? A comparison using two nutrient profiling models developed to combat over and undernutrition. *European Journal of Clinical Nutrition*, 70(3): 285-291.
31. Quin P.J. (1959). *Foods and Feeding Habits of the Pedi*, Witwatersrand University (Johannesbourg) :278 p.
32. R Core team (2021). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
33. Raheem, D., Carrascosa, C., Oluwole, O.B., Nieuwland, M., Saraiva, A., Millan, R., & Raposo, A. (2018). Traditional consumption of and

- rearing edible insects in Africa, Asia and Europe. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 39(4): 521-540.
34. Ramos-Elorduy, J. (2005) Insects: a hopeful food source. In *Ecological Implications of Minilivestock: Potential of Insects, Rodents, Frogs and Snails for Sustainable Development* (edited by M. G. Paoletti). Science Publishers Inc., Enfield, NH. pp. 263–291.
  35. RGPH (2014). Côte d'Ivoire has 23 million inhabitants. Article by the APA agency; 2014. Available from: <http://Abidjan.net>. [Last accessed on 2020 Jan 21]
  36. Sobal, J., & Bisogni, C.A. (2009). Constructing food choice decisions. *Annals of Behavioral Medicine*, 38 (1): 37-46.
  37. Taméssé, J.L., Kekeunou, S., Tchatchouang, L.J., Ndegue, O.L., Aissatou, L.M., & Tombouck C. (2015). Consumption and marketing of insects by populations in the western and southern regions of Cameroon. AAIS 21st Conference of the African Association of Entomologists. Cotonou, Benin; 2015. p. 28.
  38. Tan, H.S.G., Fischer, A.R.H., Tinchan, P., Stieger, M., Steembekkers, L.P.A., van Trijp, H.C.M. (2015). Insects as food: Exploring cultural exposure and individual experience as determinants of acceptance. *Food Quality and Preference*, 42: 78-89.
  39. Van Huis, A. (2003). Medical and stimulating properties ascribed to arthropods and their products in sub-Saharan Africa. In É. Motte-Florac & J.M.C. Thomas, eds. *Insects in oral literature and traditions*, Paris, Peeters, pp. 367–382.
  40. Van Huis, A., Itterbeeck, V.J., Klunder, H., Mertens, E., Italloran, A., Mui, R.G., & Vantomme, P. (2013). *Edible Insects: future prospects for food security*, FAO, Forestry, Rome (171): 67- 105.



# Nutritional Quality of Six African Edible Insects

Boko Adjoua Christiane Eunice, Angaman Djédoux Maxime\*

Department of Biochemistry and Microbiology, Agroforestry Training and Research Unit, Jean Lorougnon Guédé University, Daloa, Côte d'Ivoire

## Email address:

euniceboko@gmail.com (B. A. C. Eunice), angaman@ujlg.edu.ci (A. D. Maxime)

\*Corresponding author

## To cite this article:

Boko Adjoua Christiane Eunice, Angaman Djédoux Maxime. Nutritional Quality of Six African Edible Insects. *International Journal of Food Science and Biotechnology*. Vol. 6, No. 4, 2021, pp. 96-106. doi: 10.11648/j.ijfsb.20210604.12

**Received:** September 29, 2021; **Accepted:** October 22, 2021; **Published:** November 5, 2021

**Abstract:** Protein-energy malnutrition affects approximately 170 million children under 5, with a prevalence of 40% in South Asia and 50% in sub-Saharan Africa. In Côte d'Ivoire nearly 30% of children suffer from chronic malnutrition, 8% are wasted and 15% are underweight. FAO sees insects as a sustainable alternative to animal protein in the face of dwindling natural resources and environmental pressures. Thus, insects appear more and more as a solution of the future. To date, the consumption of insects indicated by the term entomophagy has generated enormous interest. In such a context, an evaluation of nutritional parameters of insects seems essential. To do this, laboratory analyzes for the physicochemical and functional characterizations were performed. The nutritional profile established on six species of insects collected confirms that they are real sources of nutrients (proteins, lipids and minerals) capable of compensating for the nutritional deficiencies of populations, especially pregnant women and children. These insects are very rich in magnesium, calcium, potassium, sodium. Apart from their nutritional potential, the functional properties such as water and oil absorption capacity observed make them suitable for the formulation of foods.

**Keywords:** Edible Insects, Physicochemical Parameters, Minerals, Fatty Acid Profile, Functional Properties

## 1. Introduction

The State of Food Security and Nutrition in the World, jointly released by FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO in 2019, puts the number of people in food insecurity situation in the world [1]. The most serious form of these nutritional problems is protein-energy malnutrition, which currently affects over one billion people [2]. It is currently very present in poor countries, especially on the African continent, where it affects about one in five people. In Côte d'Ivoire for example, the results of the SMART 2011-2012 survey reveal 29.8% of children suffering from chronic malnutrition and 7.5% of children suffering from wasting [3]. The main cause of this malnutrition is linked to an imbalance in energy, protein and/or nutrient intake. In fact, the diet is not very diversified, essentially based on tubers, roots and cereals which contribute more than 65% to daily dietary energy intake [3]. These foods are generally poor in certain nutrients such as proteins, fats, minerals and vitamins which are essential to ensure the nutritional balance of the body. One of the most viable ways to meet these nutritional needs is to fortify the energy

foods with complementary ones rich in protein, fat, vitamins and minerals. Among these complementary foods, the edible insects recommended by the FAO to feed the world by 2050 are proving to be a suitable alternative.

Edible insects are generally described as being a true source of nutritional elements such as fat, protein, calories, vitamins and minerals [4-6]. These nutritional elements are very variable in particular because of the great variety of species of edible insects, their stage of development but also external factors such as climate, food, habitat, method of preparation [7]. Insects are often described as being low in carbohydrates [7]. In Côte d'Ivoire, insects are consumed by a segment of the population as a replacement for meat and fish [8]. The objective of this study is to assess the nutritional properties of edible insects from Côte d'Ivoire.

## 2. Material and Methods

### 2.1. Sample Collection

Insects were collected from the wild and identified with the

entomologists of Jean Lorougnon Guédé University (Côte d'Ivoire). Samples were at larval stage for *Rhynchophorus phoenicis* (Coleoptera, Curculionidae) *Oryctes owariensis* (Coleoptera, Scarabaeidae), *Imbrasia oyemensis* (Lepidoptera, Saturniidae), *Cirina bytuospermi* (Lepidoptera, Saturniidae), *Nudaurelia dione* (Lepidoptera, Saturniidae), excepting those of *Macrotermes subhyalinus* (Isoptera, Termitidae) and *Zonocerus variegatus* (Orthoptera, Pyrgomorphidae) which were at adult form. Samples were freeze-dried and ground in the lab with the aid of a mortar before using.

## 2.2. Chemical Composition

### 2.2.1. pH

The pH was determined according to AOAC [9]. Five grams of sample were weighed into a 50 ml tube and then added with 20 ml of distilled water. The whole was centrifuged and then 10 ml of the supernatant was taken into a beaker for pH measurement by pHmeter SevenEasy S20 (Mississauga, Canada).

### 2.2.2. Titratable Acidity

The titratable acidity (mEq/100g) was determined according to the colorimetric method described by the French standard NF V05-101 [10]. A quantity of 5 g of sample was weighed into a 50 ml tube and then added with 20 ml of distilled water. The whole was centrifuged and then 5 ml of the supernatant was taken. A titration was carried out with sodium hydroxide (NaOH at N1=0.1N) after adding 2 drops of phenolphthalein.

$$A^{\circ} \left( \frac{mEq}{100g} \right) = \frac{N_1 \cdot V_1 \cdot 10^5}{m \times V_0} \quad (1)$$

### 2.2.3. Brix Degree

The determination of the soluble solids content was carried out according to Dadzie [11]. using a refractometer. One drop of filtrate temperate at 20°C was placed on the prism of a refractometer Atago N-1α, model N (Saitama, Japan) which was then pointed in the direction of a light source for the reading of the degree Brix corresponding to the rate of dry extract of the sample. The value read was multiplied by the dilution factor of this solution.

$$RI = M \times f \quad (2)$$

$M$  is the value read on the refractometer and  $f$  is the dilution factor,  $RI$  is the refractive index.

### 2.2.4. Moisture

The moisture was determined according to the method of AACC [12]. The vacuum crucible was first cleaned, dried and weighed ( $M_0$ ). Then, the crucible containing the sample (1g) was weighed again ( $M_1$ ) and then placed in an oven at 105°C for 24 h. After this drying time, the crucible is taken out of the oven, then cooled before being weighed ( $M_2$ ) again.

$$\text{Moisture (\%)} = (M_1 - M_2) / (M_1 - M_0) \times 100 \quad (3)$$

### 2.2.5. Dry Matter

Dry matter (DM) was obtained by the method described by

[13]. Knowing the percentage of the water content, the dry matter was deduced.

### 2.2.6. Ashes and Minerals

The ash constitutes the total quantity of mineral matter obtained after incineration of the samples in an oven according [13]. To do this, 1 g of insect flour was put in a porcelain crucible of mass  $M_0$  and was placed in a muffle furnace at 550° C for 8 hours then removed and weighed after cooling.

$$\text{Ashes (\%)} = (M_2 - M_0) / (M_1 - M_0) \quad (4)$$

Minerals (copper, zinc, iron, selenium, manganese, molybdenum, calcium, potassium, magnesium and sodium) were quantified by mineralizing 0.5 g of dry samples in 5 mL of aqua regia [1:3 v:v (nitric acid: chloridric acid)] for 2 h under reflux. A dilution of 1% was made (0.5 g in 50 ml) before analyzing the samples. Concentrations were obtained with an atomic absorption spectrometer (AAS) (Perkinelmer AAnalyst2001, Waltham, Massachusetts, USA). All dosages were performed from calibration curves.

### 2.2.7. Vitamin C

Vitamin C content was determined by colorimetric assay of Kolthoff [14] with small modifications. For each sample 5 g were weighed into a 50 ml tube and then added with 20 ml of distilled water. The homogenate was centrifuged and then 5 ml of the supernatant was taken and supplemented with 5 ml of a iodine solution at  $5 \cdot 10^{-3}$  N. After stirring, this blackish blue solution with the addition of a few drops of starch. starch was titrated with sodium thiosulfate at  $5 \cdot 10^{-3}$  N to equivalence.

$$m = (C_{I_2} V_{I_2} - \frac{1}{2} C_{th} V_E) M \quad (5)$$

$m$ : Mass of vitamin C contained in 5 mL of solution;  $C_{I_2}$ : Concentration of iodine used;  $V_{I_2}$ : Volume of diode added to the solution;  $C_{th}$ : Concentration of sodium thiosulfate used;  $V_E$ : Volume of sodium thiosulfate poured in;  $M$ : Molecular weight of ascorbic acid

### 2.2.8. Carbohydrates

Carbohydrate content was described by Antia [15] method. The percentage is deduced after calculating the sum of the percentage of lipids, protein, ash, humidity.

$$\text{Carbohydrates (\%)} = 100 - (\text{Proteins (\%)} + \text{Lipids (\%)} + \text{Ashes (\%)} + \text{Moisture (\%)}) \quad (6)$$

### 2.2.9. Lipid Extraction

#### (i) Determination of Total Lipids

Insect samples (larvae and adult) have been freeze-dried (LABFREEZ FD 12-R, BeiJing, China) and ground in a mortar. Fat content was extracted by the method of Folch [16].

#### (ii) Chemical Characterization of the Extracted Fat

##### a. Peroxide Index

The principle of determining this index is based on the oxidation of the iodide by the active oxygen of the peroxides

contained in the oils, in an acidic medium. The iodine released is then dosed back with the titrated sodium thiosulphate. One (01) g of fat was weighed in an Erlenmeyer flask and 10 ml of chloroform is added thereto. Then, 15 ml of acetic acid and then 1 ml of a solution of potassium iodide (KI) were introduced. After this step, the Erlenmeyer flask is stoppered and placed in the dark for 5 min and at a temperature between 15 and 25°C. Finally, 75 ml of distilled water was added and the iodine was titrated with stirring with sodium thiosulfate in the presence of starch as an indicator. A blank test was carried out in the same way. The peroxide number (PI) expressed in mEq of oxygen/kg of fat was calculated by the mathematical expression:

$$PI = \frac{(V-V_0) \times C}{P} \times 100 \quad (7)$$

V<sub>0</sub>: Volume of sodium thiosulfate (mL) required for the blank test; V: Volume of sodium thiosulfate (mL) for the sample; C: Exact concentration, in moles per liter, of the standard sodium thiosulphate solution used; P: Test portion (g).

#### b. Iodine index

A test portion of 1 g of the fat was weighed and placed in a flask. Fifteen (15) mL of the carbon tetrachloride and 25 mL of the Wijs reagent were added thereto. After capping and shaking, the flask was wrapped with aluminum foil and allowed to stand for one hour. Then, 20 mL of instantaneously prepared 10% potassium iodide and 150 mL of distilled water were added to the solution. Titration was carried out with 0.1 N sodium thiosulfate solution until the yellow color due to iodine had almost disappeared. Then a few drops of starch were added before continuing the titration until the blue-violet color disappeared; the solution then became transparent. A blank test was carried out in the same way. The iodine number (II) is given by formula (8):

$$II(\text{g iodine}/100 \text{ g}) = \frac{V_0 - V}{P} \times 126,9 \times N \quad (8)$$

V<sub>0</sub>: Volume in (mL) of (0.1 N) sodium thiosulfate required to titrate the blank test; V: Volume in (mL) (0.1 N) sodium thiosulfate required to titrate the sample; P: Test portion (g); 126.9: Molar mass of iodine (g/mol); N: Normality of sodium thiosulfate is 0.1.

#### c. Acid Index

The acid index of an oil measures the amount of free fatty acids (FFA) present in that body. This involves dissolving the fat in hot neutralized ethanol, then titrating the GLA present by means of a standard solution of KOH in the presence of phenolphthalein as indicator. Therefore, 1 g of fatty substance was introduced into a glass Erlenmeyer flask. Five milliliters (5 ml) of 95% ethanol and 5 drops of 0.2% phenolphthalein were added and neutralized with an ethanoic KOH solution (0.1 M) until a color was obtained. persistent pink.

$$AI = \frac{V \times 56,1 \times N}{P} (\text{mg KOH} / \text{g}) \quad (9)$$

V: Volume of KOH (0.1 M) in ml; N: Normality of the KOH solution (0.1 M); P: Weight of the test sample in g; 56.1: Relative molecular mass of KOH (g/mol)

#### (iii) Determination of Fatty Acids Profile

Fatty acid composition was determined by GC-MS. Fatty acids of 10.0 mg of lipids were converted into fatty acid methyl esters with boron trifluoride (Sigma-Aldrich, Overijse, Belgium) and methanol (VWR, Oud-Heverlee, Belgium). Fatty acid methyl esters were diluted in 8 mL of hexane (VWR) and analysed with a model 6890n GC System/5973 Mass Selective Detector (Agilent Technologies, Santa Clara, USA), which was fitted with a split/splitless injector (240.0°C) in splitless mode (splitless time: 0.85 min) and a flame ionization detector (250.0°C). A Carbowax DA column (Restek Corp., Bellefonte, PA, USA) (30.00 m × 0.25 μm × 0.25 mm in length × thickness × diameter) was used for the analysis. The temperature program was as follows: hold at 55.0°C for 1 min, increase to 250.0°C at 10.0°C/min and hold at 250.0°C for 5 min. As chromatographic conditions were similar, fatty acid methyl esters were identified based on their retention data compared to a reference mixture of 37 key fatty acid methyl esters (Supelco 37 component FAME mix, Sigma-Aldrich, Overijse, Belgium). Fatty acids were also identified by their retention index and their recorded mass spectra, which were compared with the National Institute of Standards and Technology (NIST) and Wiley spectral databases. The relative percentage of each compound was realized by comparing individual peak area with the sum of peak areas of all identified compounds, using Chemstation software (Agilent Technologies, Palo Alto, CA, USA). Non-deuterated methyl esters were identified on the basis of their retention index, according to their mass spectrum in comparison with a library and according to their mass fragments.

The representation of fatty acid abundance was performed in RStudio with ade4 package by table. value function.

#### 2.2.10. Protein and Energy value

Protein content was determined using a Dumas Elementar Rapid N cube (Donastrasse, Germany). A quantity of 200 mg of insect flour sample were protected in paper and pressed in pellet form. The wrapped samples were placed onto a carousel. Samples were then transferred to the combustion tube and the nitrogen determination was based on the quantitative digestion of the sample at approximately 960°C, in presence of excess oxygen [17]. The bound nitrogen was converted into nitric oxides and molecular nitrogen. The gases were transmitted with CO<sub>2</sub>, by way of a catalytic post combustion zone, to a reduction zone. At this stage, the nitric oxides were transformed into nitrogen. The gas mixture flows to the thermo conductivity detector via an electronic flow controller. Through a connected personal computer (PC), the nitrogen concentration was determined from the thermo conductivity detector signal of the N<sub>2</sub> in the CO<sub>2</sub> and from the sample weight.

The energy value was calculated multiplying the average values of carbohydrates, lipids and proteins by the Atwater factors of 4; 9 and 4 respectively [18].

### 2.3. Functional Properties

#### 2.3.1. Water Absorption Capacity

The water absorption capacity (WAC) of flours was measured by the centrifugation method of Sosulski [19]. An amount of one (1) gram of flour is weighed per sample and placed in a centrifuge tube. The tubes containing the flour were weighed. Afterwards 10 mL of water were added to each tube and were stirred for 30 min. A Final centrifugation was carried out for 25 min at 3000 rpm (SIGMA 2-16P, Germany). The supernatant was poured and water absorption capacity was calculated according to the formula (10):

$$\text{WAC (\%)} = [(M' - M) / M_s] \times 100 \quad (10)$$

M: Mass of the tube containing the flour before centrifugation (g), M': New mass from the tube containing the flour after centrifugation (g), M<sub>s</sub>: mass of the sample (g).

#### 2.3.2. Oil Absorption Capacity

The determination of oil absorption capacity (OAC) was performed according to the method of Lin [20] with a slight modification. An amount of 0.5 g of flour is weighed and introduced into a centrifuge tube. Afterwards 6 mL of sunflower oil was added and stirred for 30 min. Finally, the centrifugation was carried out for 25 minutes at 5000 rpm (SIGMA 2-16P, Germany). The supernatant was poured. The tubes are oven-dried (at 50°C) for 45 min. The OAC was calculated according to the formula:

$$\text{OAC (\%)} = [(M' - M) / M_s] \times 100 \quad (11)$$

M: Mass of the tube containing the flour before centrifugation (g), M': New mass from the tube containing the flour after centrifugation (g), M<sub>s</sub>: mass of the sample (g).

#### 2.3.3. Foaming Properties

The foaming capacity (FC) and foam stability (FS) were determined according to the method of Guo [21]. A quantity of 20 mL of a 1% sample was homogenized in a high shear homogenizer mixer (Binatone BLG 452, UK) at a speed of 14,000 rpm for 2 min. The whipped sample was immediately transferred into a cylinder. The total volume was read at time zero and 30 min after homogenization. The foaming capacity and foam stability were calculated from the formula (12) and (13):

$$\text{Foaming capacity (FC) (\%)} = [(V_0 - V) / V] \times 100 \quad (12)$$

$$\text{Foam stability (FS) (\%)} = (V_{30} / V_0) \times 100 \quad (13)$$

V: volume before whipping (ml), V<sub>0</sub>: volume after whipping (ml), V<sub>30</sub>: volume after standing (ml).

#### 2.3.4. Emulsifying Properties

Emulsifying properties were determined according to the method of Wu [22] with a slight modification. The samples were dispersed in distilled water (1% w/v) and 15 ml of the dispersion were homogenized (Binatone BLG 452, UK) with 15 ml of vegetable oil at a speed of 15,000 rpm for 3 min. Afterwards, the samples were centrifuged at 3000 g for 5 min

and the volume of the individual layers were read. Emulsion stability was evaluated by heating the emulsion for 30 min at 80°C. Then, the samples were centrifuged at 3000 g for 5 min. Emulsion activity and emulsion stability were calculated from the formula (14) and (15):

$$\text{Emulsion capacity or activity (EC) (\%)} = (V_e / V) \times 100 \quad (14)$$

$$\text{Emulsion stability (ES) (\%)} = (V_{30} / V_e) \times 100 \quad (15)$$

V: total volume of tube contents, V<sub>e</sub>: volume of the emulsified layer, V<sub>30</sub>: volume of the emulsified layer after heating.

### 2.4. Principal Component Analysis

The results of Physicochemical and functional properties were assessed using PCA Biplot with R. 4.1.0. with FactomineR and factoextra packages (R core team, 2021).

### 2.5. Kohonen Self-Organizing Map (SOM)

The results of minerals were performed by MATLAB 6.1 for classifying density of mineral in species (map size: 8x6, final quantization error: 0.002, final topographic error: 0.000).

### 2.6. Statistical Analysis

All experiments and/or measurements were replicated three times. The analyses were conducted with RStudio from R (Version 4.1.0, Boston, USA). The results were presented as the mean and the standard error of the mean (±SE). The accepted level of significance was 5% in all analyses. As data were not normally distributed and/or did not have homogeneous variances, Welch's ANOVA were used to evaluate the influence of species on the physicochemical, functional properties and fatty acid composition.

## 3. Results and Discussion

### 3.1. Nutritional Potential of Edible Insects

The analysis highlighted the potential and nutritional quality of edible insects collected in different cities of Côte d'Ivoire (Table 1). Relatively low moisture contents were obtained in the samples [4, 23] except *Zonocerus variegatus* (55.09%). A low moisture content is desirable in order to facilitate storage and avoid the risk of microbial deterioration of edible insects over a long period [24, 25]. Carbohydrates were the main source of energy, besides fat, to fuel muscle and organs. Carbohydrates varied from 1.70 to 32.13 g/100g DM [26, 27]. Edible insects are true sources of protein [28-30]. The high protein content could help fight protein deficiency in Africa [31]. Indeed, the fat content was in the range from 8.944 to 46.065 g/100g DM and *M. subhyalinus* displayed the higher amount [32].

According to PCA Biplot analysis of the physicochemical parameters the first two dimensions expressed 69.91% of the total dataset inertia; that means that 69.91% of the individuals (or variables) cloud total variability is explained by the plane

(Figure 1). This percentage is relatively high and thus the first plane well represents the data variability. This value is strongly greater than the reference value that equals to 42.08%, the variability explained by this plane is thus highly

significant (the reference value is the 0.95-quantile of the inertia percentages distribution obtained by simulating 2168 data tables of equivalent size on the basis of a normal distribution).

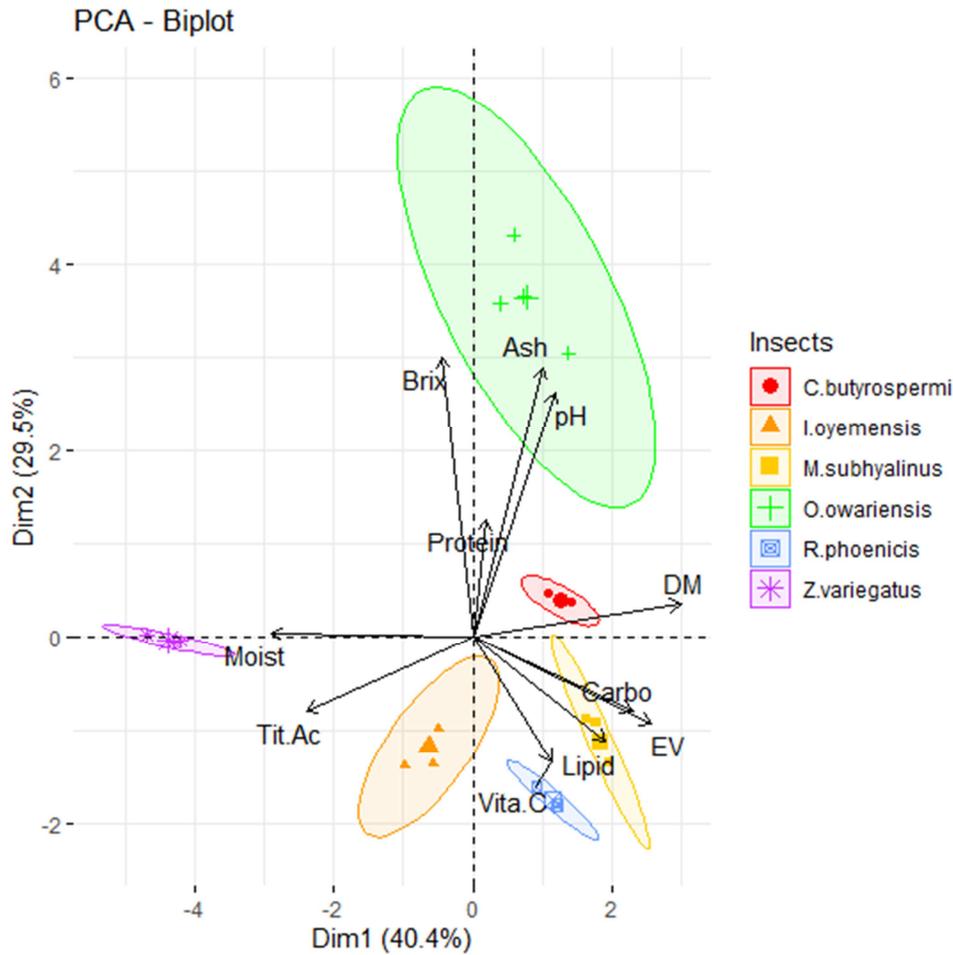


Figure 1. Biplot PCA between the physicochemical composition and the edible insects.

Table 1. Physicochemical parameters of edible insects lyophilized.

Physicochemical Parameters	<i>C. butyrospermi</i>	<i>I. oyemensis</i>	<i>M. subhyalinus</i>	<i>O. owariensis</i>	<i>R. phoenicis</i>	<i>Z. variegatus</i>
pH	6.18±0.01 <sup>c</sup>	5.41±0.01 <sup>a</sup>	6.36±0.01 <sup>d</sup>	7.41±0.03 <sup>e</sup>	5.83±0.03 <sup>b</sup>	5.80±0.01 <sup>b</sup>
Titrateable acidity (meq/L)	3.07±0.83 <sup>a</sup>	43.60±3.47 <sup>d</sup>	19.33±0.11 <sup>c</sup>	10.80±1.42 <sup>b</sup>	6.93±0.92 <sup>ab</sup>	42.67±1.15 <sup>d</sup>
Brix degree (°B)	5.90±0.10 <sup>b</sup>	4.13±0.15 <sup>a</sup>	4.33±0.21 <sup>a</sup>	8.87±0.26 <sup>c</sup>	3.97±0.06 <sup>a</sup>	6.23±0.06 <sup>b</sup>
Dry matter (%)	92.86±0.55 <sup>c</sup>	74.85±11.96 <sup>b</sup>	94.03±2.71 <sup>c</sup>	90.89±2.27 <sup>c</sup>	86.97±2.04 <sup>bc</sup>	44.89±5.20 <sup>a</sup>
Moisture (%)	7.14±0.55 <sup>b</sup>	7.48±0.80 <sup>b</sup>	0.88±0.20 <sup>a</sup>	9.11±2.27 <sup>bc</sup>	13.02±2.04 <sup>c</sup>	55.09±1.85 <sup>d</sup>
Vitamin C (mg/100gDM)	267.52±12.32 <sup>b</sup>	136.67±3.72 <sup>a</sup>	138.13±3.79 <sup>a</sup>	114.84±10.02 <sup>a</sup>	415.07±22.58 <sup>c</sup>	126.00±6.81 <sup>a</sup>
Ash (g/100g DM)	4.73±0.83 <sup>b</sup>	1.26±0.59 <sup>a</sup>	2.57±0.58 <sup>ab</sup>	10.98±1.37 <sup>c</sup>	1.46±0.93 <sup>a</sup>	0.96±0.01 <sup>a</sup>
Lipid (g/100g DM)	17.94±0.18 <sup>ab</sup>	33.40±7.07 <sup>cd</sup>	46.06±8.32 <sup>d</sup>	23.31±1.97 <sup>bc</sup>	29.79±6.59 <sup>bc</sup>	8.94±2.86 <sup>a</sup>
Protein (g/100g DM)	44.49±4.72 <sup>bc</sup>	51.55±0.03 <sup>c</sup>	32.75±2.38 <sup>a</sup>	47.31±7.07 <sup>c</sup>	35.64±0.14 <sup>ab</sup>	34.59±0.51 <sup>ab</sup>
Carbohydrate (g/100g DM)	25.69±3.89 <sup>c</sup>	6.41±0.03 <sup>ab</sup>	19.11±2.38 <sup>bc</sup>	9.32±3.60 <sup>ab</sup>	20.08±3.94 <sup>bc</sup>	1.71±0.51 <sup>a</sup>
Energy value (kcal/100g DM)	442.19±5.00 <sup>b</sup>	533.11±1.53 <sup>d</sup>	619.86±2.08 <sup>e</sup>	436.20±19.17 <sup>b</sup>	490.99±25.03 <sup>c</sup>	216.46±1.00 <sup>a</sup>

Values with different alphabetic letters on the same row are statistically different (p-value <0.05).

*C. butyrospermi*=*Cirina butyrospermi*; *I. oyemensis*=*Imbrasia oyemensis*; *M. subhyalinus*=*Macrotermes subhyalinus*; *O. owariensis*=*Oryctes owariensis*; *R. phoenicis*=*Rhynchophorus phoenicis*; *Z. variegatus*=*Zonocerus variegatus*

The Wilks test p-value indicates that insect species are variable which one explain the best the distance between individuals. The dimension 1 opposes *O. owariensis* to *Z. variegatus*. *Oryctes owariensis* had high values for Ash, pH,

Brix degree, protein and dry matter and low values for titrateable acidity. However the dry matter and *Z. variegatus* are highly correlated with this dimension (respective correlation of 0.94, 0.96). These variables could therefore summarize

themselves the dimension 1.

The dimension 2 opposes *O. owariensis* to *R. phoenicis*. The *R. phoenicis* species shared high values for lipid, vitamin C, carbohydrate and Energy values. The dimension 3 opposes *I. oyemensis* to *C. butyrospermi*. *Imbrasia oyemensis* showed high values for titratable acidity and protein while *C. butyrospermi* was characterized by a negative coordinate on the axis with high values for vitamin C, carbohydrate, Brix degree and moisture.

### 3.2. Fat Indices

These differences are also observed at the level of the principal component analysis carried out from dimensions 1 and 2. The first 2 axes of the analysis express 93.99% of the total inertia. This is a very high percentage, so the

foreground represents extremely well the variability contained in the whole dataset. Dimension 1 opposes the species *Imbrasia oyemensis* (on the right of the graph) characterized by strongly positive coordinates on the axis to the species *Rhynchophorus phoenicis* (on the left) which has strongly negative coordinates on the axis. The *I. oyemensis* species has high values for peroxide and acid indices and low values for iodine index. In contrast, *R. phoenicis* is characterized by a high iodine index and a low acid value. *Cirina butyrospermi* is extremely correlated with dimension 1 (correlation of 0.9) and could summarize this axis on its own. The species *R. phoenicis*, *O. owariensis* and *C. butyrospermi* formed a group around a common component which is the iodine index.

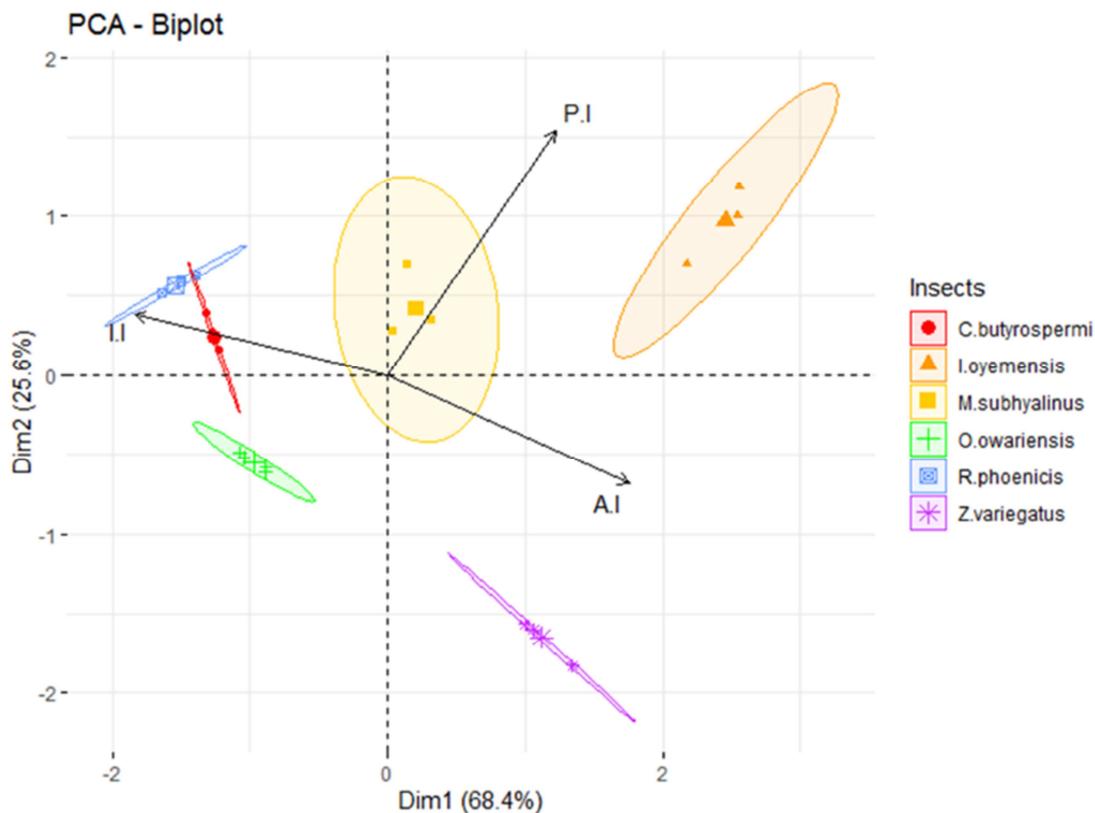


Figure 2. Biplot PCA between the fat parameters and the edible insects.

### 3.3. Characterization of Fatty Acids

The profile of fatty acids in the lipids of insects is presented in Table 3. In total, 23 fatty acids belonging to three different categories, including saturated, monounsaturated and polyunsaturated have been identified. Among the saturated fatty acids in the lipids of insects the highest share was palmitic acid (C16:0), and was followed by stearic acid (C18:0). The predominant monounsaturated fatty acid was oleic acid (C18:1) and polyunsaturated with high amounts was  $\alpha$ -linolenic acid (C18:3) followed by linoleic acid (C18:2). The recommended amount of PUFA/SFA ratio in the diet should be higher than 0.40. Lepidoptera (*I. oyemensis*, *C.*

*butyrospermi*) and *Z. variegatus* have therefore a better fat quality than *R. phoenicis*, *O. owariensis* and *M. subhyalinus*.

The quality of the fat depends on the fatty acid composition. In general, the insects analyzed had a level of saturated fatty acid (SFA) higher than unsaturated fatty acids (UFA) except *Z. variegatus* which evolved in the opposite direction (Table 3) [30]. Figure 3 is a great representation of fatty acids in the samples. Alpha-linolenic acid (up to 28.08 g/100g DM in *C. butyrospermi*) is the most important polyunsaturated fatty acids (PUFA) and present in all of Lepidoptera of this study [33]. Coleoptera (*R. phoenicis*, *O. owariensis*), Isoptera (*Macrotermes subhyalinus*) were characterized by oleic acid as monounsaturated fatty acid (MUFA). Palmitic acid is the most saturated fatty acid (SFA) in all species.

**Table 2.** Fat indices of edible insects lyophilized.

Index	<i>C. butyrospermi</i>	<i>I. oyemensis</i>	<i>M. subhyalinus</i>	<i>O. owariensis</i>	<i>R. phoenicis</i>	<i>Z. variegatus</i>
Peroxyde (meq O <sub>2</sub> /kg fat)	3,07±0,22a	10,77±1,04b	5,70±0,75c	1,06±0,06d	4,12±0,40a	0,99±0,14d
Acidity (KOH/g fat)	1,65±0,58a	8,45±0,36b	4,08±0,19c	3,21±0,51d	3,133±0,37e	67,60±3,15f
Iodine (I <sub>2</sub> /100g fat)	112,28±3,26a	55,76±2,28b	85,97±5,04c	102,12±1,37d	142,49±1,07e	67,60±3,15f

Values with different alphabetic letters on the same row are statistically different (p-value <0.05).

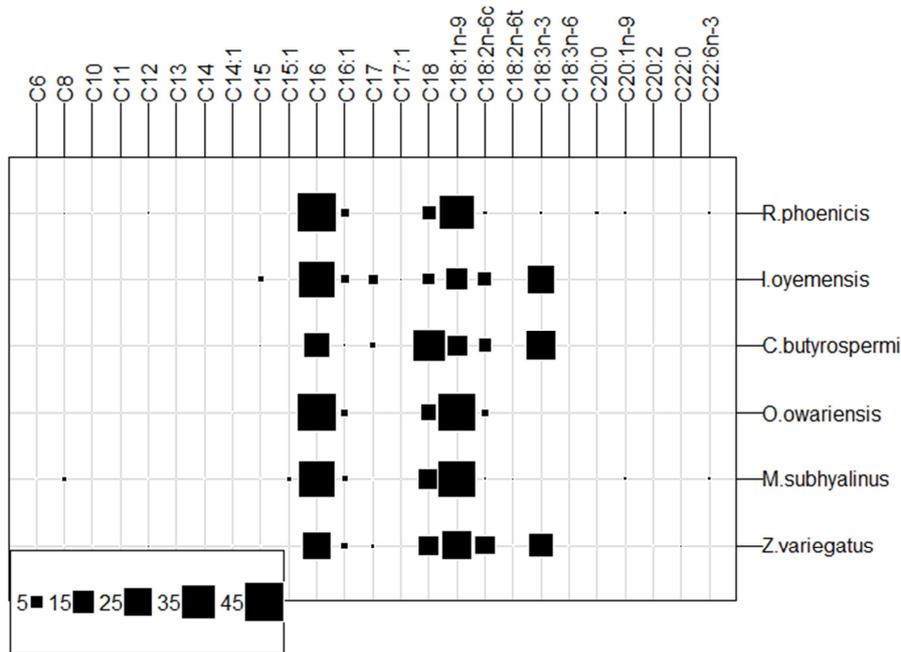
*C. butyrospermi*: *Cirina butyrospermi*; *I. oyemensis*: *Imbrasia oyemensis*; *M. subhyalinus*: *Macrotermes subhyalinus*; *O. owariensis*: *Oryctes owariensis*; *R. phoenicis*: *Rhynchophorus phoenicis*; *Z. variegatus*: *Zonocerus variegatus*

**Table 3.** Functional properties of edible insects.

	<i>C. butyrospermi</i>	<i>I. oyemensis</i>	<i>M. subhyalinus</i>	<i>O. owariensis</i>	<i>R. phoenicis</i>	<i>Z. variegatus</i>
WAC (%)	71.16±0.93 <sup>b</sup>	170.87±14.71 <sup>c</sup>	155.39±6.84 <sup>c</sup>	176.18±9.17 <sup>c</sup>	6.67±1.65 <sup>a</sup>	177.66±25.90 <sup>c</sup>
OAC (%)	121.36±2.95 <sup>a</sup>	128.46±3.63 <sup>a</sup>	135.79±4.78 <sup>a</sup>	210.73±1.02 <sup>b</sup>	129.74±20.63 <sup>a</sup>	235.14±22.79 <sup>b</sup>
FC (%)	2.56±0.46 <sup>a</sup>	6.93±0.62 <sup>ab</sup>	9.51±0.70 <sup>ab</sup>	16.55±3.58 <sup>c</sup>	12.77±0.01 <sup>bc</sup>	27.76±4.95 <sup>d</sup>
FS (%)	2.13±0.19 <sup>a</sup>	2.02±0.16 <sup>a</sup>	8.46±1.53 <sup>a</sup>	601.12±37.19 <sup>b</sup>	766.79±0.18 <sup>b</sup>	31.47±1.47 <sup>a</sup>
EC (%)	25.02±3.71 <sup>a</sup>	66.04±4.20 <sup>a</sup>	39.63±3.58 <sup>a</sup>	21±0.95 <sup>a</sup>	21.50±1.92 <sup>a</sup>	49.28±4.58 <sup>a</sup>
ES (%)	102.29±0.78 <sup>d</sup>	103.32±0.61 <sup>d</sup>	89.47±4.14 <sup>bc</sup>	91.48±6.81 <sup>c</sup>	81.12±3.89 <sup>b</sup>	12.57±1.7 <sup>a</sup>

Values with different alphabetic letters on the same row are statistically different (P <0.05).

*C. butyrospermi*=*Cirina butyrospermi*; *I. oyemensis*=*Imbrasia oyemensis*; *M. subhyalinus*=*Macrotermes subhyalinus*; *O. owariensis*=*Oryctes owariensis*; *R. phoenicis*=*Rhynchophorus phoenicis*; *Z. variegatus*=*Zonocerus variegatus*; *N. dione*=*Nudaurelia dione*; WAC: Water absorption capacity; OAC: Oil absorption capacity; FC: Foaming capacity; FS: Foam stability; EC: Emulsifying capacity, ES: Emulsion stability



**Figure 3.** Abundance of Fatty acids (g/100 g DM) of six edible insects.

Unsaturated fatty acids play an important role in human nutrition as it considerably reduces the occurrence and effects of cardiovascular, hypertensive, inflammatory, auto-inflammatory disorders, immune systems, depression and certain neurological functions [34, 35]. Oleic acid made *Macrotermes subhyalinus* (40.71±1.119g / 100g MS); *Oryctes owariensis* (43.915±0.918g / 100g DM) and *Rhynchophorus phoenicis* (39.524±0.869) ideal candidates in the formulation of food for people with hypercholesterolemia or a report of cholesterol imbalance [36, 37].

**3.4. Micronutrients of Edible Insects**

The high ash content (0.96±0.01 to 10.98±1.37%) observed

reflects the large quantity of minerals that constitute the species analyzed. Indeed, 10 minerals including Ca, Mg, K, Na, Cu, Zn, Fe, Mn, Mo and Se were determined from ashes of insects. Hence, potassium (6658.20 to 32527.24 mg/kg DM), calcium (2305.4 to 8669.33 mg/kg DM), magnesium (977.18 to 4879.89 mg/kg DM) and sodium (415.46 to 4350.11 mg/kg DM) which have been proven to be the most abundant micronutrients. In addition, the abundance of potassium is beneficial for the proper functioning of the organism, according to [38], potassium is the main cation of the intracellular fluid and participates in the acid-base balance, in the regulation of the pressure osmotic, conduction of nerve impulses, muscle contraction, as well as in the reduction of kidney stones. In addition, the high levels of

calcium and magnesium in the insects analyzed could satisfy the appetites compared to the reference values [39] whose needs are recommended in adults at 10 mg/kg/day for calcium and 5 to 7 mg/kg/day for magnesium. From a medical point of view, calcium is important in the fight against osteoporosis and several other chronic diseases such as hypertension and colon cancer [40]. It helps maintain acid-base balance in the body and helps control energy metabolism [41]. Its abundance in *Oryctes owariensis* (3559,206) makes it a food of choice. Like calcium, magnesium acts on various organs of the cardiovascular and neuromuscular systems [42]. It is a cofactor that participates in more than 300 enzymatic reactions, making it an essential element for the synthesis of carbohydrates, fats, nucleic acids and proteins. It should also be noted that micronutrients are beneficial for the body, in fact they are involved in strengthening the bones of adults. Also, they play a role of bio-activator and osmotic balance in cell metabolism. They also promote the growth of children [43]. Zinc is an integral part of many enzymes and is important for the human body [44]. Zinc deficiency is a major public health problem, especially for children and nursing mothers. Thus, *Rhynchophorus phoenicis* (209 mg/kg DM); *Oryctes owariensis* (147 mg/kg DM) richer in zinc would be adequate to reduce growth retardation and skin lesions as well as

its increased susceptibility to infections mediated by immune system defects linked to zinc deficiency [45]. Zinc is a component of about 100 enzymes which catalyze activation, cell division, and immune action [46]. Zinc content of oyster is 132 mg/kg, *R. phoenicis* and *O. owariensis* were higher than that of oyster [47]. Copper is a component of various oxidizing enzymes which contributes to oxidation–reduction reactions. Major dietary copper content of beef liver is 53 mg/kg [48]. Copper concentrations of *M. subhyalinus* (60 g/kg DM) and *Z. variegatus* (67 g/kg DM) were slightly higher than that of beef liver [49]. Likewise, the high iron content for these species, particularly for *Zonocerus variegatus* [4], is useful for the proper functioning of cells (especially in anemic people) because iron is an essential constituent for red blood cells [50]. Some chemical analyses [51, 52] obtained significant amounts of iron for *Zonocerus variegatus* (910 mg/100g); *Imbrasia oyemensis* (70.21 mg/100g); *Cirina butyrospermi* (13 mg/100g) and *Oryctes owariensis* (20,26 mg/100g). Considering the fact that iron content of beef liver, a good food source for iron, is 50–80 mg/kg [53], iron content of *Z. variegatus* was higher at 432 mg/kg dry weight. Thus, all edible insects studied may be a main source of iron. This study found that mineral content differed with type of edible insects.

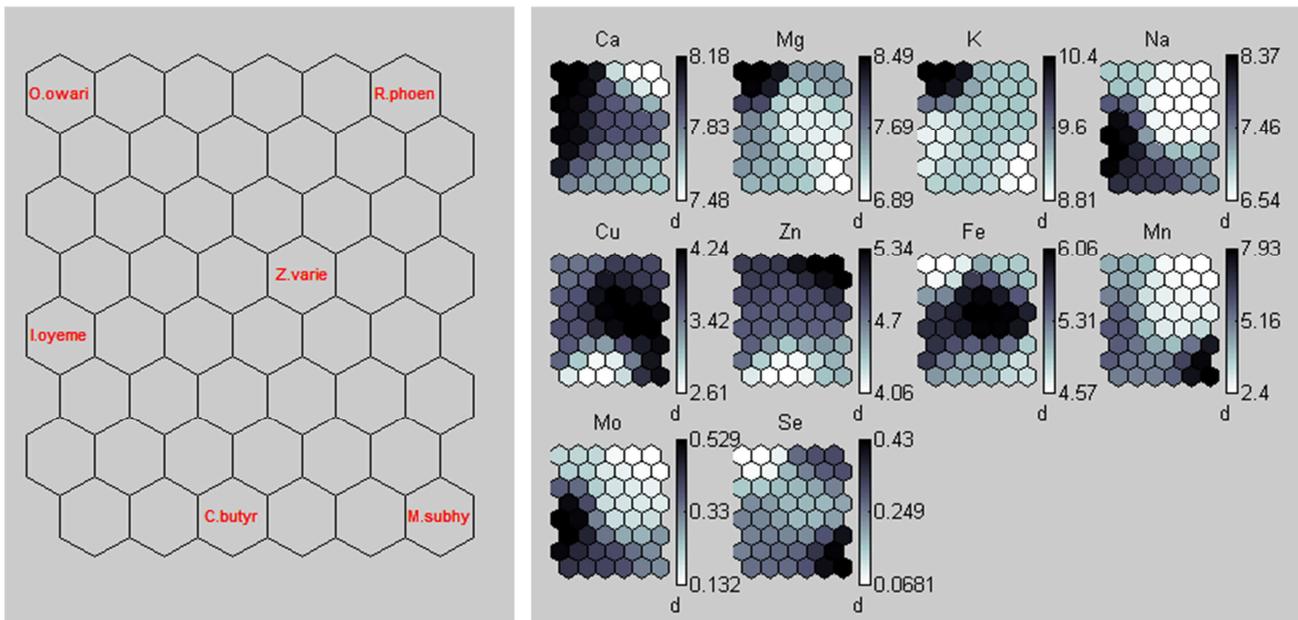


Figure 4. Relative abundance of minerals in six edible insects.

### 3.5. Functional Properties

Apart from the nutritional quality, the functional properties of insects were also determined (Table 3). Indeed, water absorption capacity (WAC) is an important property in food products that require water binding to improve the thickening as well as the viscosity of the food [54]. In addition, oil absorption capacity (OAC) is important in food applications with the aim of improving palatability and mouthfeel, as well as flavor preservation [55, 56]. Foam capacity (FC) and foam stability (FS) were in the respective ranges of 2.55 to 27.757%

and 2.02 to 76.67%. The highest values of FP and FS were detected respectively in *Z. variegatus* and *R. phoenicis*. However, FS in *Z. variegatus* remains much higher [57]. The first two dimensions of Figure 5 related to the functional properties express 74.91% of the total dataset inertia. This percentage is high and thus the first plane represents an important part of the data variability. This value is greater than the reference value that equals 57.7%, the variability explained by this plane is thus significant (the reference value is the 0.95-quantile of the inertia percentages distribution obtained by simulating 2221 data tables of equivalent size on the basis of a normal distribution).

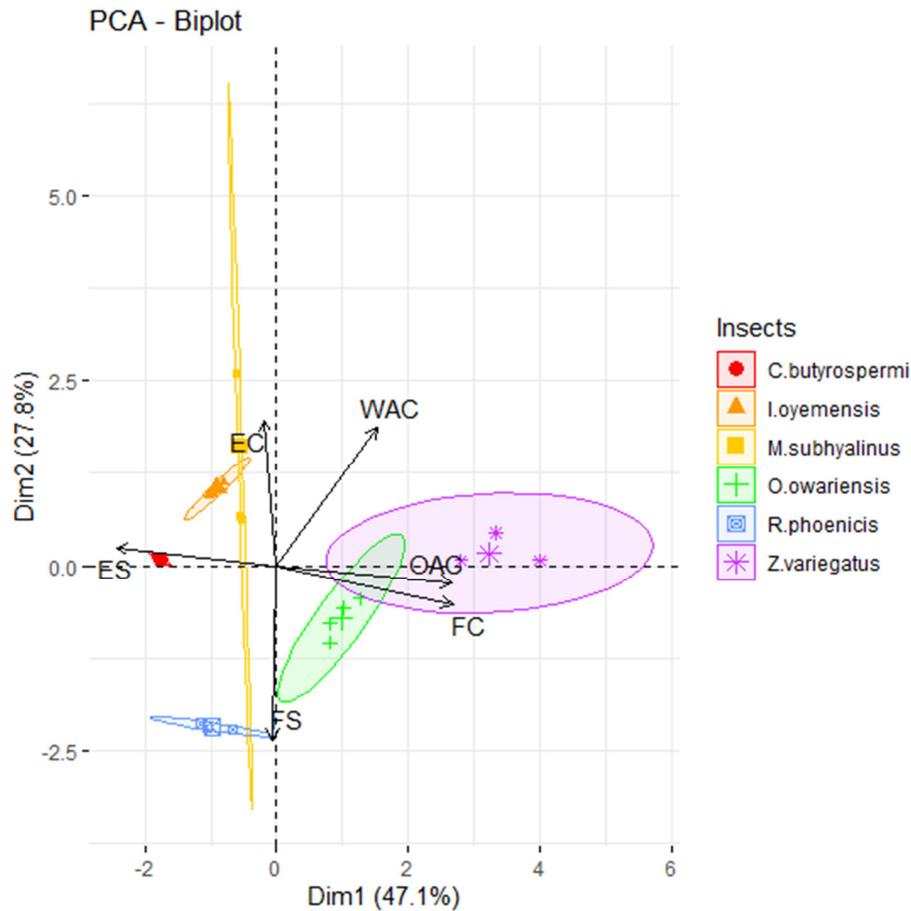


Figure 5. Biplot PCA between the functional properties and the edible insects.

## 4. Conclusion

The nutritional profile established on six species of insects collected confirms that they are real sources of nutrients (proteins, lipids and minerals) capable of compensating for the nutritional deficiencies of populations, especially pregnant women and children. Having regard to the protein content which varied from 32.75g/100g DM to 51.55g/100g DM in *Imbrasia oyemensis*. In addition, lipid contents observed in *Macrotermes subhyalinus* were up to 46.06 g/100g DM. The recorded energy value was between 216.46±1.00 kcal/100g DM to 619.86±2.08 kcal/100g DM for the species analyzed. Regarding minerals, these insects are very rich in magnesium, calcium, potassium, sodium. Apart from their nutritional potential, the functional properties such as water and oil absorption capacity observed make them suitable for the formulation of certain foods and in many other.

## Acknowledgements

The authors thank Prof. Frédéric Francis, the Dean of Gembloux Agro Bio Tech-University of liege (Belgium) for his precious assistance in the analyses performed. We also thank Prof. Philippe Maesen for his help in minerals analysis.

## References

- [1] FAO/IFAD/UNICEF/WFP/WHO. (2021). The State of Food Security and Nutrition in the World 2021. Transforming food systems for food security, improved nutrition and affordable healthy diets for all. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb4474en>.
- [2] Michaelsen, K. F., Hoppe, C., Roos, N., Kaestel, P., Stougaard, M., Lauritzen, L. and Mølgaard, C., 2009. Choice of foods and ingredients for moderately malnourished children 6 months to 5 years of age. Food and Nutrition Bulletin. 30, 343-404.
- [3] EDS-MICS., 2012. Côte d'Ivoire: Enquête démographique et de santé à indicateurs multiples. 591 p.
- [4] Banjo, A. D., Lawa, O. A., Songonuga, E. A., 2006. The nutritional value of fourteen species of edible insects in Southwestern Nigeria. African Journal of Biotechnology. 5, 298-301.
- [5] Jonathan, S. G., Popoola, K. O. K., Olawuyi, O. J., Ajiboye, M., Oyelakan, A. O., 2012. Insect and fungal pests of some mushrooms collected from university of Ibadan, Nigeria campus. Nature and Science. 10 (9), 142-147.
- [6] Boko, A. C E., Angaman, D. M., Blei, S. H., 2020. Entomophagy evaluation and nutritional potential of two edible insects sold in the markets of the city of Man (Côte d'Ivoire). International Journal of Food and Nutritional Science. 9, 10-15.

- [7] Chen, X., Feng, Y., Chen, Z., 2009. Common edible insects and their utilization in China. *Entomological Research*. 39 (5), 299–303.
- [8] Ehounou, G. P., Ouali-N'goran, S. W., Niassy, S., 2018. Evaluation de l'entomophagie à Abidjan (Côte Divoire, Afrique de l'Ouest). *African Journal of Food Science*. 12 (1), 6-14.
- [9] AOAC., 1984. Méthodes officielles d'analyse de l'association des fonctionnaireschimistes analytiques (14e éd.). Washington DC.
- [10] AOAC., 1985. Méthodes officielles d'analyse de l'association des fonctionnaireschimistes analytiques (14e éd.). Washington DC.
- [11] Dadzie, B. K., Orchard, J. E., 1997. Routine post-harvest screening of Banana/Plantain hybrids: criteria and methods. *Inibap technical guidelines*, 1-75.
- [12] AACC. (1990). *Approved methods of the American association of cereal chemists*. MN: Author.
- [13] AOAC., 1990. *Official methods of Analysis of the Association of Analytical Chemists (15 th Edition)* AOAC. Washington, DC, USA, 648 p.
- [14] Kolthoff, I. M., Sandell, E. B., 1936. Micro determination of iodine by a catalytic method. *Microchimica Acta*. 1, 9–25.
- [15] Antia, B. S., Akpan, E. J., Okon, Pennsylvanie., Umoren, I. U., 2006. Évaluation nutritionnelle et antinutritionnelle des feuilles de patate douce (*Ipomoea batatas*). *Pakistan J. Nutr.*, 5 (2): 166-168.
- [16] Folch, J., Lees, M., Sloane, S. G. H., 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *The Journal of Biological Chemistry*. 226, 497-509.
- [17] Saint-Denis, T., Goupy, J., 2004. Optimization of a nitrogen analyser based on the Dumas method. *Analytica Chimica Acta*, Amsterdam. 515, 191- 198.
- [18] Habtamu, G. F., Ratta, N., Haki, G. D., Woldegiorgis, A. Z., Beyene, F., 2015. Nutritional Quality and Health Benefits of Okra (*Abelmoschus esculentus*): A Review. *J Food Process Technol*. 6,458.
- [19] Sosulski, F. W., 1962. The centrifuge method for determining flour absorption in hard red spring wheats. *Cereal Chemistry*. 39, 344-350.
- [20] Lin, M. J. Y., Humbert, E. S., Sosulski, F. W., 1974. Certain functional properties of sunflower meal products. *J. Food Sci*. 39, 368-370.
- [21] Guo, F., Xiong, Y. L., Qin, F., Jian, H., Huang, X., Chen, J. 2015. Surface properties of heat-induced soluble soy protein aggregates of different molecular masses. *Journal of Food Science*. 80 (2), 279–287.
- [22] Wu, H., Wang, Q., Ma, T., Ren, J., 2009. Comparative studies on the functional properties of various protein concentrate preparations of peanut protein. *Food Research International*. 42 (3), 343–348.
- [23] Rumpold, B. A., Schlüter, O. K., 2013. Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Mol Nutr Food Res*. 57, 802–823.
- [24] Siulapwa, N., Mwambungu, A., Lungu, E., Sichilima, W., 2014. Nutritional value of four common edible insects in Zambia. *Int J Sci Res*. 3,876–884.
- [25] Manditsera, F. A., Lakemond, C. M. M., Fogliano, V., Zvidzai, C. J., Luning, P. A., 2018. Consumption patterns of edible insects in rural and urban areas of Zimbabwe: taste, nutritional value and availability are key elements for keeping the insect eating habit. *Food Security*. 10 (3), 561–570.
- [26] Foua Bi, F. G., Meite, A., Dally, T., Ouattara, H., Kouame, K. G., Kati-Coulibaly, S., 2015.- Etude de la qualité biochimique et nutritionnelle de la poudre séchée d'*Imbiasia oyemensis*, chemilles consommées au centre-ouest de la côte d'Ivoire. *J. Appl. Biosci*. 96, 9039- 9048.
- [27] Musundire, R., Zvidzai, C. J., Chidewe, C., Samende, B. K., Chemura, A. 2016. Habitats and nutritional composition of selected edible insects in Zimbabwe. *Journal of Insects as Food and Feed*. 2 (3), 189-198.
- [28] FAO., 2013. *Edible insects. Future prospects for food and feed security*. FAO Forestry Paper 171. Rome, FAO. p. 201.
- [29] Van Huis, A., Itterbeeck, V. J., Klunder, H., Mertens, E., Italloran, A., Mui, R. G., Vantomme, P., 2013. *Edible Insects: future prospects for food security*, FAO, Forestry, Rome. 171, 67-105.
- [30] Ghosh, S., Lee, S. M., Jung, C., Meyer-Rochow, V. B., 2017. Nutritional composition of five commercial edible insects in South Korea. *Journal of Asia-Pacific Entomology*. 20 (2), 686-694.
- [31] FAO., 2014. *State-of-the-art on use of insects as animal feed*. *Animal Feed Science and Technology*. 197, 1-33.
- [32] Niaba, K. P. V., Gbogouri, G. A., BEUGRE, A. G., Ocho-Anin A. A. L., GNAKRI, D., 2011. Potentialités nutritionnelles du reproducteur ailé du termite *Macrotermes subhyalinus* capturé à Abobodoumé, Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*. 40, 2706-2714.
- [33] Guil-Guerrero, J. L., Ramos-Bueno, R. P., González-Fernández, M. J., Fabrikov, D., Sánchez-Muros, M. J., & Barroso, F. G. 2018. Insects as Food: Fatty Acid Profiles, Lipid Classes, and sn-2 Fatty Acid Distribution of Lepidoptera Larvae. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 120 (6), 170-391.
- [34] Christensen, M., Larsen, H. O., 2005. How can Collection of Wild Edible Fungi Contribute to Livelihoods in Rural Areas of Nepal? Beech boys View Project Preliminary Study On Mushrooms Of Sundarijal, Kathmandu Nepal View project How can Collection of Wild Edible Fungi Contribute to Livelihoods in Rural Areas of Nepal? *Journal of Forest and Livelihood*. 4 (2).
- [35] Ferrucci, L., Cherubini, A., Bandinelli, S., Bartali, B., Corsi, A., Lauretani, F., Martin, A., Andres-Lacueva, C., Senin, U., Guralnik, J. M., 2006. Relationship of plasma polyunsaturated fatty acids to circulating inflammatory markers. *J. Clin. Endocrinol. Metab*. 91, 439-446.
- [36] Dommels, Y. E. M., Alink, G. M., Bladeren, P. J. V., Ommen, B. V., 2002. Dietary n-6 and n-3 polyunsaturated fatty acid and colorectal carcinogenesis: result from cultured colon cells, animal models and human studies. *Environmental toxicology and pharmacology*. 11, 297-308.
- [37] Corbett, P., 2003. It is time for an oil change! Opportunities for high-oleic vegetables oils. *Inform*. 14, 480-481.
- [38] IPI., 2013. *Nutrition and health: the importance of potassium*. P. Imas. 15 p.

- [39] EFSA. 2015. Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. *EFSA Journal*, 13 (10), 60p.
- [40] NAMS (North American Menopause Society). 2001. The role of calcium in peri- and postmenopausal women: consensus opinion of the North American Menopause Society. *Menopause* 8, 84-95.
- [41] FAO., 2019. FAOSTAT – Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2019. (selection criteria: grapes, all countries, production quantity, 2017).
- [42] Chen, L. da, Gillenson, M. L., Sherrell, D. L. (2002). Enticing online consumers: An extended technology acceptance perspective. *Information and Management*, 39 (8), 705-719.
- [43] Schapira, M., Scott, C. F., Colman, R. W. (2002). Protection of human plasma kallikrein from inactivation by c.hivin. 1 inhibitor and other protease inhibitors. The role of high molecular weight kininogen. *Biochemistry*, 20 (10), 2738-2743.
- [44] Roohani N, Hurrell R, Kelishadi R, Schulin R., 2013. Zinc and its importance for human health: An integrative review. *Journal of Research in Medical Sciences*. 18, 144-157.
- [45] FAO/WHO., 2001. Evaluation of Health and Nutritional Properties of Probiotics in Food Including Powder Milk with Live Acid Bacteria. Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation, Córdoba, Argentina. [http://www.who.int/foodsafety/publications/fs\\_management/en/probiotics.pdf?ua=1](http://www.who.int/foodsafety/publications/fs_management/en/probiotics.pdf?ua=1).
- [46] King, J. C., Shames, D. M., Woodhouse, L. R., 2000. Zinc homeostasis in humans. *Journal of Nutrition*. 130, 1360–1366.
- [47] Shantibala, T., Lokeshwari, R., Thingnam, G., & Somkuwar, B. G., 2012. MEIMAN: Database exploring medicinal and edible insects of Manipur. *Bioinformation*. 8, 489–491.
- [48] Halfdanarson, T. R., Kumar, N., Li, C.-Y., Phyliky, R. L., Hogan, W. J., 2008. Hematological manifestations of copper deficiency: A retrospective review. *European Journal of Haematology*. 80, 523–531.
- [49] Rural Development Administration, National Institute of Agricultural Science. 2011. Food composition table. Seoul: Kwangmundang Press.
- [50] FAO., 2004. Vitamin and mineral requirements in human nutrition: re-port of a joint FAO/WHO expert consultation, Bangkok, Thailand, 21–30 September.
- [51] Assielou, B., Dué, E., Koffi, M., Dabonne, S., Kouamé, P., 2015. *Oryctes owariensis* Larvae as Good Alternative Protein Source: Nutritional and Functional Properties. *Annual Research & Review in Biology*. 8 (3), 1-9.
- [52] Anvo, M., Toguyen, A., Otchoumou A., 2016. Nutritional qualities of edible caterpillars *Cirina butyrospermi* in southwestern of Burkina Faso. *International Journal of Innovation and Applied Studies*. 18 (2), 639-645.
- [53] United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service. 2015. USDA national nutrient database for standard reference, release 28. Washington, DC: Department of Agriculture.
- [54] Seena, S., Sridhar, K. R., 2005. Physicochemical, functional and cooking properties of under explored legumes, *Canavalia* of the southwest coast of India. *Food Research International*. 38 (7), 803–814.
- [55] El Nasri, N. A., El Tinay, A. H., 2007. Functional properties of fenugreek (*Trigonella foenum graecum*) protein concentrate. *Food Chemistry*. 103, 582–589.
- [56] Aremu, M. O., Basu, S. K., Gyar, S. D., Goyal, A., Bhowmik, P. K., Datta, B., 2009. Proximate composition and functional properties of mushroom flours from *Ganoderma* spp., *Omphalotus olearius* (DC.) sing. and *Hebeloma mesophaeum* (pers.) quél. used in Nasarawa State, Nigeria. *Malaysian Journal of Nutrition*. 15 (2), 233-241.
- [57] Adeyeye, S. A. O., Oyewole, O. B., Obadina, A. O. and Omemu, A. M., 2015. “Influence of smoking methods on quality of traditional smoked Bonga Shad (*Ethmalosa fimbriata*) fish from Lagos State, Nigeria”, *African Journal of Microbiological Research*. 9 (4), 200-207.

# Evaluation of the Mineral Content and Their Bioavailability in *Macrotermes subhyalinus* (Winged, Queen and Soldier)

Angaman Djédoux Maxime\*, Boko Adjoua Christiane Eunice, Kambou Sansan

Department of Biochemistry and Microbiology, Agroforestry Training and Research Unit, Jean Lorougnon Guédé University, Daloa, Côte d'Ivoire

## Email address:

angaman@ujlg.edu.ci (A. D. Maxime), euniceboko@gmail.com (B. A. C. Eunice), sansankambou2@gmail.com (K. Sansan)

\*Corresponding author

## To cite this article:

Angaman Djédoux Maxime, Boko Adjoua Christiane Eunice, Kambou Sansan. Evaluation of the Mineral Content and Their Bioavailability in *Macrotermes subhyalinus* (Winged, Queen and Soldier). *Journal of Food and Nutrition Sciences*. Vol. 10, No. 1, 2022, pp. 1-7.

doi: 10.11648/j.jfns.20221001.11

**Received:** December 2, 2021; **Accepted:** December 20, 2021; **Published:** January 8, 2022

---

**Abstract:** Edible insects are an important source of nutrients that can help to cover certain nutritional deficiencies. This is the case with *Macrotermes subhyalinus*, a species of termite widely consumed in Côte d'Ivoire. This study was carried out to assess the mineral content and their bioavailability in the different castes (winged, queen and soldier) of this species. For this, the levels of antinutritional factors, the levels of minerals and their bioavailability were determined. Magnesium and potassium contents vary respectively from 977.18 mg/100g DM to 1405.45 mg/100g DM and from 6658.20 mg/100g DM to 9879.38 mg/100g DM. The winged *M. subhyalinus* had the higher levels of copper (62 mg/100g DM) and manganese (2867 mg/100g DM). While the queen had the highest values for sodium (2158.9 mg/100g DM) and selenium (0.67 mg/100g DM). As for *M. subhyalinus* soldier, it was rich in calcium (3323.4 mg/100g DM), zinc (127 mg/100g DM), iron (2657 mg/100g DM) and molybdenum (0.48 mg/100g DM). Regarding the content of antinutritional factors, the highest values are observed with *M. subhyalinus* soldier in phytate ( $451.85 \pm 28.49$  mg/100g DM) and in tannins ( $35.32 \pm 0.98$  mg/100g DM). *M. subhyalinus* queen has the highest oxalate content ( $12.57 \pm 0.48$  mg/100g DM). The calculated molar ratios vary from 0.02 to 0.9 with oxalate and from 0.09 to 35.57 with phytates. These insects could be recommended for children suffering from micronutrient deficiency malnutrition.

**Keywords:** Edible Insects, *Macrotermes subhyalinus*, Mineral Content, Bioavailability, Antinutritional Factors

---

## 1. Introduction

Food insecurity in Côte d'Ivoire remains a central issue of national concerns. Despite the integration of the fight against malnutrition into national programs designed to promote and support good infant nutrition, the nutritional situation of Ivorian children is deteriorating alarmingly [1]. This phenomenon is perceived in several forms including the chronic and acute form, underweight and mainly micronutrient deficiencies such as iron, zinc, iodine, etc. [2]. This latter form of malnutrition causes weakened immune systems and anemia in children. According to the Demographic Health Survey (2012), three children aged from 6 to 59 months out of four (75%) are anemic: 25% in mild form, 46% in moderate form and 3% in severe form [3]. The causes of these nutritional disorders are linked to the poorly

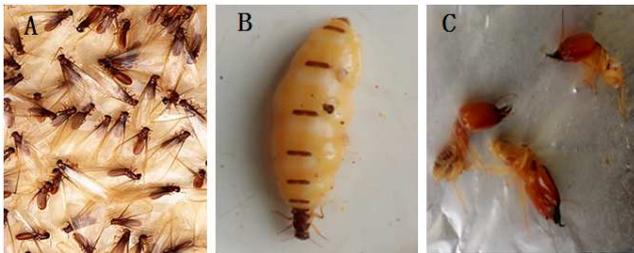
diversified diet, based essentially on tubers, roots and cereals which contribute more than 65% to the daily dietary energy intake [4]. It is moreover to fill these nutrient deficiencies that the country has integrated fortification programs into national policies aimed at strengthening micronutrient fortification strategies, as was the case with the National Multisectoral Nutrition Plan (PNMN) 2019-2020. Besides this, consuming other local foods rich in micronutrients could also help in diet diversification in order to prevent nutritional deficiencies and anemia problems. These include edible insects considered by FAO as viable alternatives to conventional animal proteins [5]. In Côte d'Ivoire 11 species of insects are eaten by more than 60% of the population [6, 7]. Winged adults of *Macrotermes subhyalinus* are the most consumed (29.79%) due to their availability [8]. In the social organization of the species, we also find the queen and the

soldiers prized by a section of the population of the country. Unlike the adults which have been the subject of some studies [9], the latter two castes receive less scientific attention. This study aims to evaluate the richness in minerals and their bioavailability in the different castes of *Macrotermes subhyalinus* in order to contribute to their nutritional valuation.

## 2. Material and Methods

### 2.1. Material

The sampling equipment consists of a pickaxe for breaking up termite mounds, a digital camera for taking pictures and sterile boxes for collecting the different samples. The biological material is made up of the different social categories of the species *Macrotermes subhyalinus* namely the winged adult, the queen and the soldiers as illustrated in Figure 1.



A: winged; B: queen; C: soldiers

Figure 1. Different castes of *Macrotermes subhyalinus*.

### 2.2. Methods

#### 2.2.1. Determination of Mineral Content

The mineral content was estimated by dry incineration of a sample of dried powder (5g) in a muffle furnace. Then, the different minerals (copper, zinc, iron, selenium, manganese, molybdenum, calcium, potassium, magnesium and sodium) were quantified by mineralizing 0.5g of the ash obtained in 5 mL of HNO<sub>3</sub>/HCl [1:3v:v (nitric acid:hydrochloric acid)] for 2 h under reflux. A 1% dilution was made (0.5g in 50 ml) before analyzing the samples. The concentrations were obtained with an atomic absorption spectrometer (AAS) (Perkinelmer A Analyst 2001, Waltham, Massachusetts, USA). All the assays were carried out from calibration curves.

#### 2.2.2. Determination of Antinutritional Compounds

##### (i). Determination of Phytate

Phytates were assayed using Wade's reagent [10]. To do this, one (1) g of dried and ground sample was homogenized in 20 mL of HCl (0.65 N) with stirring, for 12 h at room temperature. After centrifugation of the mixture at 12,000 rpm for 40 min, 5 ml of the supernatant was removed and then added to 3 ml of Wade's reagent. Then, this solution was left to stand for 15 min and the Optical Density (OD) was read at 490 nm on a spectrophotometer against a control. A calibration range with sodium phytate at 10 µg/mL was

performed.

$$\text{Phytate (mg/100g)} = (OD \times 4) / (0.033 \times me) \quad (1)$$

##### (ii). Determination of Oxalate Content

The oxalate content was determined according to the method of Day and Underwood [11]. One gram (1g) of sample was weighed and 75ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0.1N) was added. The contents of the mixture were mixed thoroughly for an hour of extraction and stirred constantly using a mechanical stirrer. Then the solution is filtered and 25 ml of the filtrate is titrated with 0.1N hot KMnO<sub>4</sub> (80–90°C) until a purple color is observed at the end point. The titer value was then multiplied by 0.9004 to give the result expressed in mg/g. The calculation of the oxalate content was as shown in the equation below:

$$\text{Oxalate (mg/100g)} = \text{Title value} \times 0.9004 \quad (2)$$

##### (iii). Determination of Tannins

The total tannins of the samples were determined according to the Folin-Denis method [12]. To do this, the Folin-Denis reagent was boiled for 2 hours. After cooling, the solution was transferred to a 1L volumetric flask and the volume was adjusted. This solution is then filtered through a 0.45 µm syringe and stored in a brown bottle. At this step, the standard curve modeling solutions were prepared from a series of 7 dilutions of tannic acid in water using a stock of 0.05 mg/ml solution. Also 0.2 g of sample is suspended in 5 ml of solution B in a plastic tube. The tubes are shaken for 40 minutes and the suspension is filtered. One ml of the filtrate is added to 2.5 ml of Folin-Denis reagent, 5 ml of solution A then the total volume is made up to 50 ml with Milli-Q water. The solutions were incubated for 30 minutes at room temperature and the absorbance is read at 700 nm using a spectrophotometer.

#### 2.2.3. Calculation of Phytate/Mineral and Oxalate/Mineral Molar Ratios

The phytate/mineral and oxalate/mineral molar ratios are considered to be good predictors of the bioavailability of minerals in food [13]. This availability is illustrated through the calculation of these different ratios.

#### 2.2.4. Statistical Analysis

All measurements were performed in triplicate and data averages were statistically analyzed using R software (R × 64 4.1.2). One-way analysis of variance (ANOVA) was performed to compare the means. The differences were considered significant for p values ≤ 0.05.

## 3. Results and Discussion

### 3.1. Mineral Content

Figure 2 below shows the PCA Biplot analysis of the mineral content of the different samples. The first two dimensions of the figure express 100% of the total inertias of the set of data; this means that the variability of individuals (or variables) is very well represented by the plan. In the

foreground of the figure with respect to the y-axis, we observe a correlation of winged *M. subhyalinus* with Manganese (Mn) and Copper (Cu), which means that this category is distinguished from others by its Manganese (2867 mg/100g DM) and Copper (62 mg / 100g DM). The contents obtained are higher than those [14] which are  $3250.1 \pm 0.07$  mg/kg for manganese and 47 mg/kg for copper on flour of the same caste (*M. subhyalinus* winged). As for *M. subhyalinus* queen, it is more correlated with Sodium (Na) and Selenium (Se) with respective contents of 2158.9 mg/100g DM and 0.67 mg/100g DM. Compared to the nutritional reference values [15] whose needs are recommended at 1500 mg/kg/day for sodium and 0.3 mg/kg/day for selenium, *M. subhyalinus* queen could provide a sufficient nutritional amount of these minerals. The analysis of Figure 2 shows that *M. subhyalinus* soldier is very rich in Calcium (3323.4 mg/100g DM), Iron (2657 mg/100g DM), Zinc (127 mg/100g DM) and Molybdenum (0.48 mg/100g DM). These values are higher than those obtained by the previous study [16] on raw *Macrotermes bellicosus* which are  $152.11 \pm 0.98$  mg/100g DM for calcium,  $7.9 \pm 0.62$  mg/100g DM for iron and  $19.70 \pm 0.32$  mg/100g DM for zinc. This result

highlights the importance of *M. subhyalinus* soldier in the food sector in view of the essential role that these different minerals play in the body. Indeed, calcium is the most abundant mineral in the body, 99% of which is located in the bones and teeth [17]. It provides bone accretion, nerve conduction, muscle contraction and hemostasis [18]. Iron has a major role in the functioning of cells. It is a major constituent of hemoglobin, a protein in red blood cells responsible for transporting oxygen from the lungs to the body's cells. Its deficiency is common worldwide, especially in pregnant women and people with anemia [19]. Consuming *M. subhyalinus* soldier could easily help to compensate for these iron deficiencies in order to provide a solution to the problems of anemia. Zinc for its part, has an essential role for the functionality of more than 300 enzymes, for the stabilization of DNA and for the expression of genes. Zinc deficiency leads to slower growth and development in newborns and children [20]. For this high zinc content (127 mg/100g DM) this category of *M. subhyalinus* could be recommended for children who have shown growth retardation.

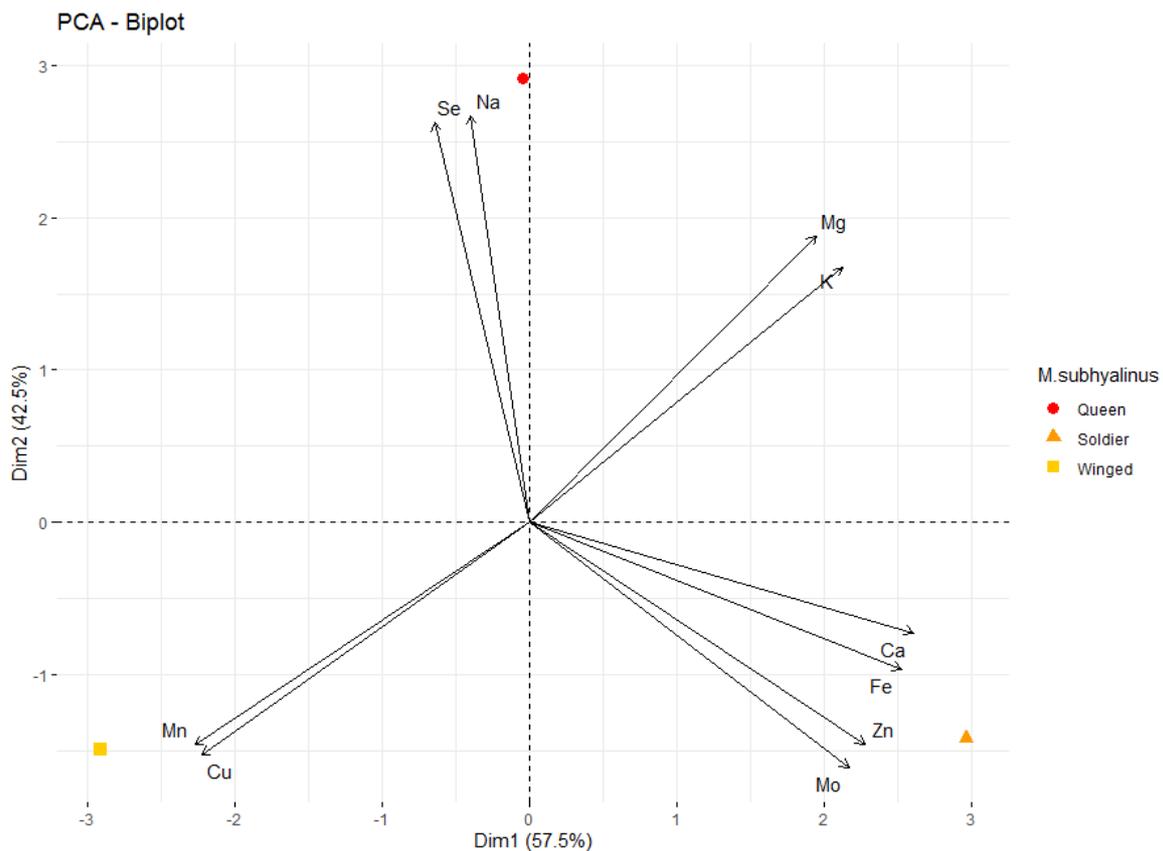


Figure 2. PCA-Biplot analysis of the mineral content of the different samples.

### 3.2. Antinutritional Factor Levels and Mineral Availability

The levels of antinutritional compounds of the different castes of *M. subhyalinus* are shown in Figures 3, 4 and 5. The phytate/mineral and oxalate/mineral molar ratios are considered to be good predictors of the bioavailability of

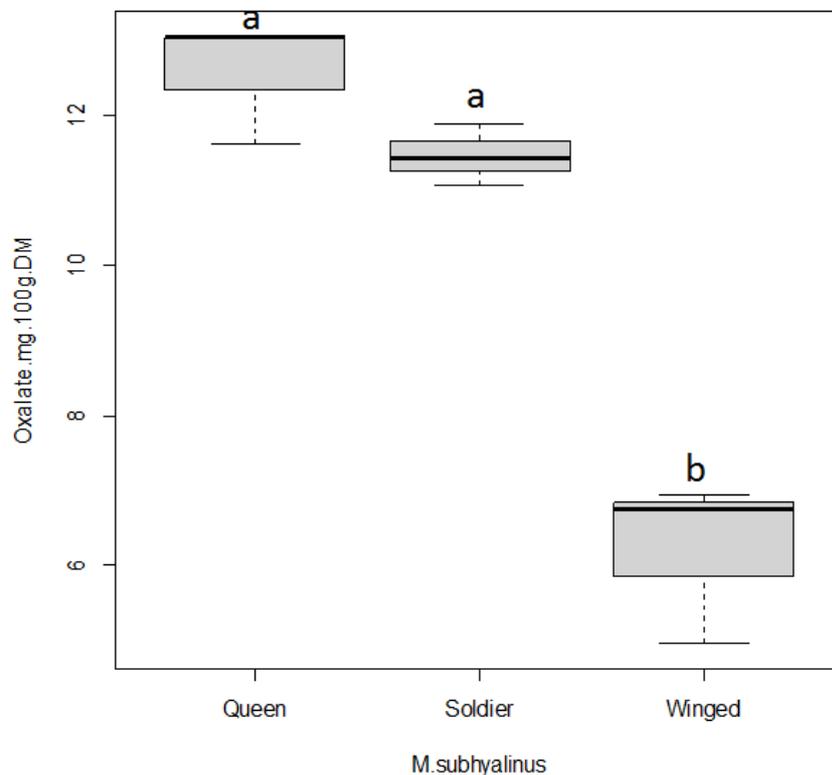
minerals in food [13]. This availability is illustrated by Table 1 below through the calculation of these different ratios. The oxalate content of the different samples are relatively low and vary from  $6.21 \pm 1.09$  mg/100g DM for *M. subhyalinus* winged to  $12.57 \pm 0.83$  mg/100g DM for *M. subhyalinus* queen. The one-way Anova test ( $p \leq 0.05$ ) shows identical levels for *M.*

*subhyalinus* queen ( $12.57 \pm 0.83$  mg/100g DM) and *M. subhyalinus* soldier ( $11.46 \pm 0.41$  mg/100g DM) (Figure 3). These values are lower than those obtained by [21] on the most consumed leafy vegetables in the city of Daloa (Center-West, Côte d'Ivoire) which vary from  $44.20 \pm 1.27$  mg/100g DM to  $64.75 \pm 0.52$  mg/100g DM. In addition, all calculated [oxalate]/[minerals] molar ratios were below the maximum critical values (Table 1). This result shows that the oxalate contents of the samples analyzed cannot influence the bioavailability of the minerals contained in these foods [22]. In terms of phytate content, *M. subhyalinus* queen ( $92.19 \pm 6.19$  mg/100g DM) and *M. subhyalinus* winged ( $94.14 \pm 3.16$  mg/100g DM) have statistically identical levels ( $p \geq 0.05$ ). A high value is observed with *M. subhyalinus* soldier ( $451.8 \pm 28.49$  mg/100g DM) (Figure 4). These contents remain lower than those obtained by the previous study [23] in cereals which are 762 mg/100 DM for corn, 1084 mg/100g DM for rice and 925 mg/100g DM for sorghum. The [Phytate]/[Fe] and [Phytate]/[Mg] molar ratios of the three samples vary respectively from 1.70 to 7.97 and from 0.65 to 3.46 (Table 1). These ratios are greater than the maximum critical values defined by [24] which are 0.40 for [Phytate]/[Fe] and 0.24 for [Phytate]/[Mg]. This indicates a low bioavailability of the two minerals (Iron and Magnesium) despite their high contents in the samples. With the exception of *M. subhyalinus* soldier, the other samples have [Phytate]/[Zn], [Phytate]/[Ca] and [Phytate]/[K] ratios lower than the maximum critical values defined by [23, 24]. Therefore these minerals (Zinc, Calcium and Potassium) from *M. subhyalinus* Winged and *M. subhyalinus* Reine have a high bioavailability and would be easily absorbed by the body. On the other hand, the minerals of

*M. subhyalinus* soldier would be difficult for the body to absorb because of the high phytate content of this caste of *M. subhyalinus*. The tannin contents differ from sample to sample (Figure 5). *M. subhyalinus* soldier shows the highest content ( $35.32 \pm 1.49$  mg/100g DM) followed by *M. subhyalinus* queen ( $26.98 \pm 0.27$  mg/100g DM) and winged *M. subhyalinus* ( $08.01 \pm 0.44$  mg/100g DM). These contents are relatively high and could constitute an unfavorable factor absorption of certain nutrients such as protein and iron. Indeed, tannins can form complexes with proteins to reduce their digestibility and negatively impact the absorption of minerals such as iron, copper and zinc as well as their reserves [25, 26]. However, these insect tannins should attract much more attention as several researchers have claimed that the polyphenols are mainly of plant origin [27, 28]. They can be tested in the medical field as is the case with vegetable tannins in the fight against wounds, hemorrhoids, diarrhea and gastroenteritis [29].

**Table 1.** Phytate/mineral and oxalate/mineral molar ratios of *Macrotermes subhyalinus*.

	Winged	Queen	Soldiers	*Critical value
[Phytate]/[Fe]	7.97	1.98	1.70	0.15
[Phytate]/[Zn]	10.82	10.97	35.57	15.00
[Phytate]/[Ca]	0.43	0.37	1.35	0.50
[Phytate]/[Mg]	0.96	0.65	3.46	0.24
[Phytate]/[K]	0.14	0.09	0.47	0.25
[Oxalate]/[Fe]	0.52	0.24	0.04	2.5
[Oxalate]/[Zn]	0.71	1.49	0.90	2.5
[Oxalate]/[Ca]	0.02	0.05	0.03	2.5
[Oxalate]/[Mg]	0.06	0.08	0.08	2.5
[Oxalate]/[K]	0.02	0.05	0.03	2.5



**Figure 3.** Oxalate content of different castes of *M. subhyalinus*.

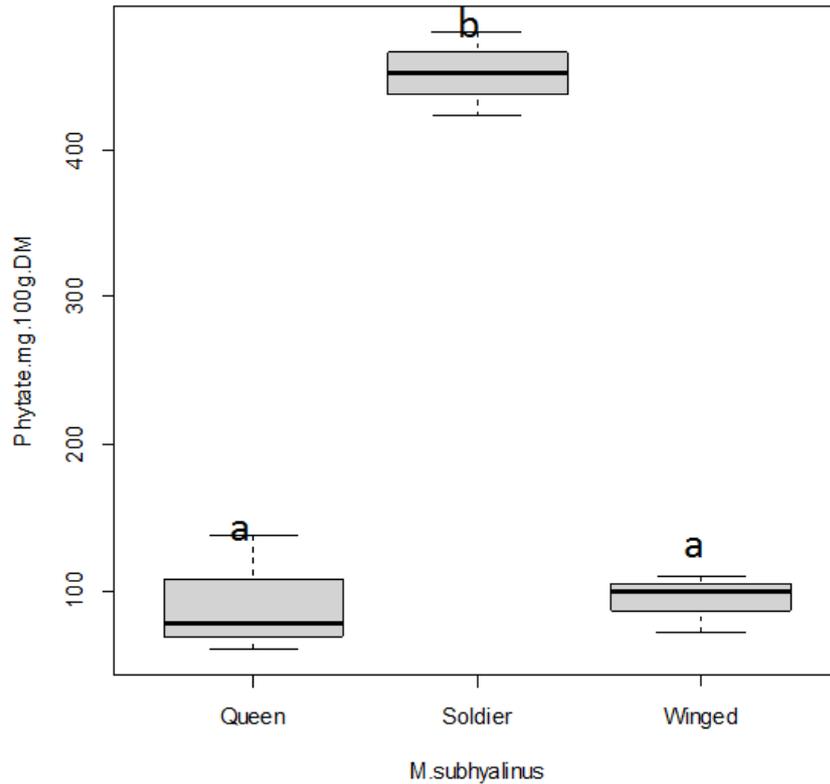


Figure 4. Phytate content of different castes of *M. subhyalinus*.

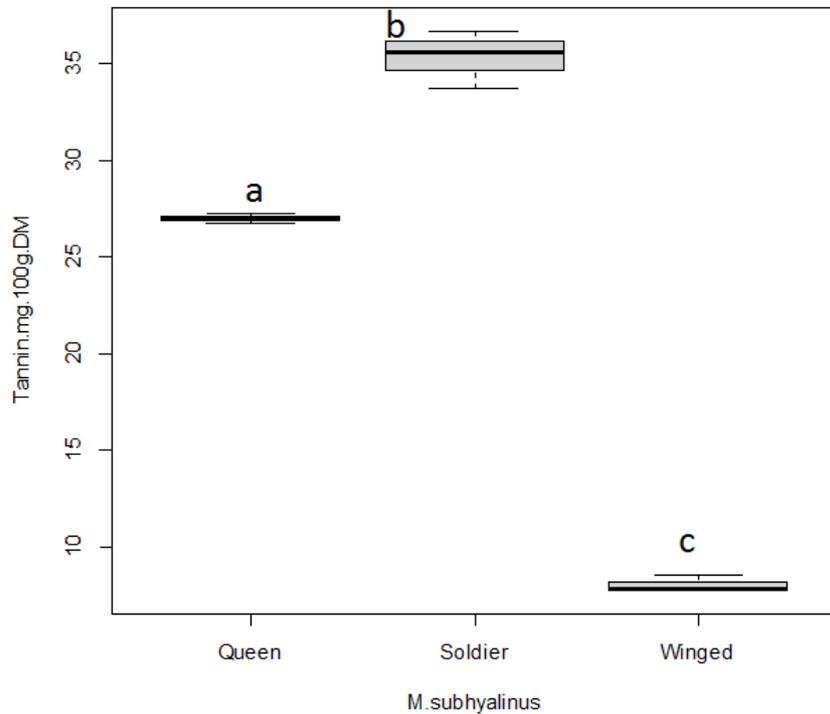


Figure 5. Tannins content of different castes of *M. subhyalinus*.

## 4. Conclusion

The present study on the edible termite species *Macrotermes subhyalinus* was carried out with the objective of evaluating the mineral richness and their bioavailability in

the different castes (winged, queen and soldier) of this species. For this, the levels of antinutritional factors, the levels of minerals and their bioavailability were determined. It emerges from this study that the different categories of *Macrotermes subhyalinus* (winged, queen and soldier) have a high mineral content which varies according to the castes. The winged *M.*

*subhyalinus* caste is distinguished by its richness in copper and manganese with respective contents of 62 mg/100g DM and 2867 mg/100g DM. The Queen's caste has the highest values for sodium (2158.9 mg/100g DM) and selenium (0.67 mg/100g DM). As for *M. subhyalinus* soldier, it is rich in calcium (3323.4 mg/100g DM), zinc (127 mg/100g DM), iron (2657 mg/100g DM) and molybdenum (0.48 mg/100g DM). The magnesium and potassium contents of the three castes vary respectively from 977.18 mg/100g DM to 1405.45 mg/100g DM and from 6658.20 mg/100g DM to 9879.38 mg/100g DM. Regarding the content of anti-nutritional factors, the highest values are observed with *M. subhyalinus* soldier in phytate ( $451.85 \pm 28.49$  mg/100g DM) and *M. subhyalinus* queen in oxalate ( $12.57 \pm 0.48$  mg/100g DM). The calculated molar ratios are relatively low, which implies availability of minerals at the level of the samples studied. These insects could be recommended for children suffering from micronutrient deficiency malnutrition. Formulations of cereal flour enriched with these insects could be developed and characterized.

## References

- [1] Akindès, F., Sedia, G., Kouakou, G., Berchon, A. & Bricas N. (2016). Considérer autrement les mères pour mieux comprendre l'alimentation infantile.
- [2] PNMN. (2016). Plan National Multisectoriel de Nutrition 2016 – 2020. République de Côte d'Ivoire. 37 pages.
- [3] EDS-MICS. (2012). Cote d'Ivoire: Enquête démographique et de sante a indicateurs multiples. 591 p.
- [4] INS. (2012). Enquête Démographique Et De Santé Et à Indicateurs Multiples De Côte d'Ivoire 2011-2012. Calverton, Maryland, USA: Institut National de la Statistique et ICF International.
- [5] FAO. (2014). Insectes comestibles: Perspectives pour la sécurité alimentaire et l'alimentation animale. Etude FAO forêts n°171, 207p.
- [6] Ehounou, G. P., Ouali-N'goran, S. W. & Niassy, S. (2018). Evaluation de l'entomophagie à Abidjan (Côte d'Ivoire, Afrique de l'Ouest). *African Journal of Food Science*. 12 (1), 6-14.
- [7] Boko, A. C. E. & Angaman, D. M. (2021). Evaluation de l'entomophagie dans Quatre Grandes Villes de Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal, ESJ*, 17 (37), 1. <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n37p119>
- [8] Boko, A. C. E & Angaman, D. M. (2021). Nutritional Quality of Six African Edible Insects. *International Journal of Food Science and Biotechnology*. Vol. 6, No. 4, 2021, pp. 96-106. doi: 10.11648/j.ijfsb.20210604.12.
- [9] Niaba, K. P. V., Gbogouri, G. A., BEUGRE, A. G., Ocho-Anin A. A. L. & GNAKRI. D. (2011). Potentialités nutritionnelles du reproducteur ailé du termite *Macrotermes subhyalinus* capturé à Abobodoume, Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*. 40, 2706-2714.
- [10] Latta, M. & Eskin, M. (1980). A simple method for phytate determination. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 28, 1313-1315pp.
- [11] Day, R. A. & Underwood, A. L. (1986). Quantitative analysis. In: Prentice-Hall. 701 P.
- [12] Polshettiwar, S. A., Ganjiwale, R. O., Wadher, S. J., & Yeole, P. G. (2007). Spectrophotometric estimation of total tannins in some ayurvedic eye drops. *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 69 (4), 574.
- [13] Gibson, R. S., Bailey, K. B., Gibbs, M., and Ferguson, E. L. (2010). Phytate, iron, zinc, and calcium concentrations in plant-based complementary foods used in low-income countries and implications for bioavailability. *Food and Nutrition Bulletin* 31, 134-146.
- [14] Niaba, K. P. V. (2014). Potentialités alimentaires et nutritionnelles de *Macrotermes subhyalinus* ailé en côte d'ivoire THESE Pour l'obtention du grade de Docteur en Sciences et Technologie des Aliments de l'Université Nangui Abrogoua 149p.
- [15] de l'Anses, A. (2021). Les références nutritionnelles en vitamines et minéraux.
- [16] Badanaro, F., Houndji, B. V. S., Melila, M., Amevo, K., & Amouzou, S. K. E. (2018). Potentiel nutritionnel de *Macrotermes bellicosus* (Smeathman, 1781)(isoptera: termitidae), une des especes d'insectes comestibles les plus commercialisées au Togo. *Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé*, 20 (3), 41-50.
- [17] Saulais, C. (2000). Calcium et magnésium dans l'organisme humain: trois sites d'action comparés; ostéogénèse, fonction rénale, influx nerveux (Doctoral dissertation, UHP-Université Henri Poincaré).
- [18] Casciaro, M., Di Salvo, E., Pace, E., Ventura-Spagnolo, E., Navarra, M., & Gangemi, S. (2017). Chlorinative stress in age-related diseases: a literature review. *Immunity & Ageing*, 14 (1), 1-7.
- [19] OMS, (1985). Besoin énergétique et besoin en protéines, Rapports d'une consultation conjointe d'expert Fao/OMS/UNU, Série de rapports technique Genève (Suisse) 724.
- [20] Roohani, N., Hurrell, R., Wegmueller, R., & Schulin, R. (2012). Zinc and phytic acid in major foods consumed by a rural and a suburban population in central Iran. *Journal of Food Composition and Analysis*, 28 (1), 8-15.
- [21] Yao, N. B., Kpata-Konan, N. E., Guetandé, K. L. & Tano, K. (2020) Caractérisation De Quelques Légumes-Feuilles Les Plus Consommés Dans La Ville De Daloa (Centre-Ouest, Côte d'Ivoire). *European Scientific Journal, ESJ*, 16 (36), 1. <https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n36p257>
- [22] Gemedé, H. F., Haki, G. D., Beyene, F., Woldegiorgis, A. Z. & Rakshit, S. K. (2016). Proximate, mineral, and antinutrient compositions of indigenous Okra (*Abelmoschus esculentus*) pod accessions: implications for mineral bioavailability. *Food Science & Nutrition* 4, 223–233.
- [23] Lestienne, I. (2004). Contribution à l'étude de la biodisponibilité du fer et du zinc dans le grain de mil et conditions d'amélioration dans les aliments de complément. *Université Montpellier II*.
- [24] Al-Hasan, S. M., Hassan, M., Saha, S., Islam, M., Billah, M. & Islam, S. (2016). Dietary phytate intake inhibits the bioavailability of iron and calcium in the diets of pregnant women in rural Bangladesh: a cross-sectional study. *BMC Nutrition* 24.

- [25] Petroski, W., & Minich, D. M. (2020). Is There Such a Thing as “Anti-Nutrients”? A Narrative Review of Perceived Problematic Plant Compounds. *Nutrients*, 12 (10), 2929.
- [26] Nadal, A., Alonso-Magdalena, P., Soriano, S., Quesada, I., & Ropero, A. B. (2009). The pancreatic  $\beta$ -cell as a target of estrogens and xenoestrogens: implications for blood glucose homeostasis and diabetes. *Molecular and cellular endocrinology*, 304 (1-2), 63-68.
- [27] Özcan, M. A. (2014). New Alternative Protein Sources Used in Poultry Nutrition. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 2 (2), 66-70.
- [28] Bruneton, J. "Pharmacognosie-Phytochimie, plantes médicinales, 4e éd., revue et augmentée, Paris, Technologie & Document. Éditions médicales internationales." (2009): 7430-1188.
- [29] Sérémé, A., Millogo-Rasolodimby, J., Guinko, S., & Nacro, M. (2008). Concentration en tanins des organes de plantes tannifères du Burkina Faso. *Journal de la Société ouest-africaine de chimie*, 25 (1), 55-61.