



# **CONSUMPTION PATTERNS OF EDIBLE INSECTS AND FUTURE PROSPECTS TO ENHANCE THE SECTOR IN THE DEMOCRATIC REPUBLIC OF CONGO**

**Papy NSEVOLO MIANKEBA**





Communauté Française de Belgique  
Université de Liège – Gembloux Agro-Bio Tech

CONSUMPTION PATTERNS OF EDIBLE INSECTS AND  
FUTURE PROSPECTS TO ENHANCE THE SECTOR IN  
THE DEMOCRATIC REPUBLIC OF CONGO

Papy NSEVOLO MIANKEBA

Dissertation originale en vue de l'obtention du grade de Docteur en Sciences  
Agronomiques et Ingénierie Biologique

Promoteur : Professeur Frédéric FRANCIS

Co-promoteur : Professeur KIATOKO NKOKA

Année civile : 2022

## Copyright

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

- Paternité (BY) : citer le nom de l’auteur original de la manière indiquée par l’auteur de l’œuvre ou le titulaire des droits qui vous confère cette autorisation (mais pas d’une manière qui suggérerait qu’ils vous soutiennent ou approuvent votre utilisation de l’œuvre) ;
- Pas d’utilisation commerciale (NC) : pas de droit d’utiliser cette création à des fins commerciales ;
- Partage des conditions initiales à l’identique (SA) : le droit de distribuer la création qui résulte de modifications, transformations ou adaptations de la création que sous un contrat identique à celui-ci.

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

© NSEVOLO MIANKEBA Papy

**NSEVOLO MIANKEBA Papy (2022).** Modes de consommation des insectes comestibles et perspectives d'avenir pour renforcer la filière en République Démocratique du Congo. (Thèse de doctorat). Gembloux Agro-Bio Tech, Université de Liège, Belgique.

222 Pages, 51 Figures, 37 Tableaux

## Résumé

Aussi loin que l'on puisse remonter dans l'histoire, les insectes paraissent avoir joué un rôle déterminant dans la nature en assurant un certain nombre de services écosystémiques essentiels. Les espèces comestibles de ces représentants d'Arthropodes ont également apporté à l'homme les nutriments nécessaires à ses fonctions vitales. Aujourd'hui encore, ces pratiques entomophages restent bien intégrées dans les habitudes alimentaires de nombreuses populations à travers le globe, contribuant significativement à la sécurité et à la résilience des systèmes alimentaires. Alors que se manifeste au grand jour l'empreinte écologique des modèles conventionnels de production, et que se présente le défi de nourrir une population mondiale croissante tout en préservant la planète – sur fond de la crise sanitaire (COVID-19) qui a bouleversé les systèmes alimentaires à l'échelle mondiale ; la biomasse que constituent les insectes comestibles, et les possibilités de production alimentaire durable de cette ressource biologique sont examinées plus attentivement. C'est dans ce contexte que s'inscrit la présente thèse qui s'intéresse de manière intime à ces invertébrés à six pattes et explore leur contribution dans le système alimentaire de la RDC.

Pour ce faire, une partie du travail dresse l'état des lieux des pratiques entomophages, mettant ainsi en lumière une importante biodiversité entomologique (148 espèces) répartie en 9 ordres - les principaux étant les Lépidoptères (Saturniidae, Sphingidae, Notodontidae) (60%), Orthoptères (Acrididae, Gryllidae, Pyrgomorphidae) (10%), Coléoptères (Cerambycidae, Dynastidae, Dryophthoridae) (8%) et Hyménoptères (Apidae, Formicidae) (8%). La biodiversité végétale (122 espèces de plantes hôtes pour 38 espèces d'insectes) est pour sa part représentée par 35 familles – dominées par les Fabaceae (*Brachystegia spp.*, *Albizia spp.*) (34%), Phyllanthaceae (*Uapaca spp.*) (11%), Meliaceae (*Entandrophragma spp.*) (5%) et Apocynaceae (*Funtumia spp.*) (4%). Par ailleurs, le travail d'inventaire national pointe des associations écologiques majeures – à l'exemple d'*Elaphrodes lactea* associé à 30 espèces de plantes, ou de *Julbernadia paniculata* associé à 17 insectes - tout en plaidant pour des actions de conservation afin de préserver les espèces comme *Prioria balsamifera* (ou *Austranella congolensis*) menacées (ou en danger critique) d'extinction.

Cet état des lieux est complété par une cartographie des pratiques entomophages convergentes (et spécifiques) qui font la richesse (et la diversité) de cette tradition endogène, puis par une documentation des modes de consommation passés et actuels. Le travail met ainsi en évidence la contribution significative des insectes à la sécurité alimentaire particulièrement pendant le confinement de la capitale du pays - période singulièrement difficile marquée par des mesures restrictives liées à l'émergence de la pandémie. En effet, pour 77,4% de répondants, les insectes (consommés en moyenne 6 jours/mois, avec 128,6 g/pers/jour) ont constitué une source importante de nutriments ; alors que pour la même période, des inégalités (entre consommateurs urbains, péri-urbains et ruraux) apparaissent dans l'utilisation des produits carnés. Ces résultats soutiennent également la contribution de ces invertébrés à la

résilience du système alimentaire local, rejoignant ainsi l'invitation lancée aux Etats (par la FAO) à promouvoir les ressources locales afin d'accroître la résilience des systèmes alimentaires aux chocs exogènes.

Considérant la problématique de la valeur nutritionnelle des insectes comestibles transformés suivant les méthodes traditionnelles ; une autre partie du travail documente la composition chimique de six espèces (dont *Imbrasia ertli*, *Cirina forda*, *E. lactea* - Lépidoptères). L'étude rapporte ainsi des teneurs significatives en protéines (46 – 53% en matière sèche), et des profils en acides aminés essentiels comparables au profil de la protéine idéale proposée par la FAO et l'OMS. Cette caractérisation chimique est ensuite complétée par une caractérisation morphologique de *Rhynchophorus phoenicis* (Coléoptères) - espèce de grand intérêt alimentaire et zootechnique en RDC. L'étude met ainsi en lumière la variabilité phénotypique entre 3 populations naturelles de ce Curculionioidea, puis propose un outil d'identification basé sur un ensemble de caractères morphométriques discriminants.

Le dernier volet de la thèse ajoute une dose supplémentaire d'originalité au travail en documentant une problématique latente en rapport avec l'adoption des produits d'élevage en masse par certains acteurs de la filière. S'agissant des commerçants, l'étude met en évidence des dispositions majoritairement défavorables (66,3%), soutenues par des préoccupations associées aux dimensions sécurité sanitaire, système de production ou psychologie (néophobie) - qui sont autant de leviers d'action pour un changement d'attitude parmi ces intervenants majeurs des chaînes d'approvisionnement. Pour leur part, les producteurs paraissent majoritairement favorables (78,6%) - les résultats suggérant toutefois 3 clusters distincts basés une combinaison du profil sociodémographique, des caractéristiques des activités de production et des dispositions face aux alternatives à la récolte *in natura*. Puisque les défis alimentaires collectifs sont tels que les consommateurs congolais sont appelés à dominer les réflexes culturels et à envisager des offres alimentaires nouvelles, cette partie du travail s'est projeté dans les perspectives du développement de l'entomoculture en RDC en proposant des stratégies pour accompagner producteurs et commerçants dans le processus d'adoption d'innovations durables.

La thèse apporte ainsi une masse d'informations convergeant particulièrement vers la valeur nutritionnelle, économique et culturelle des insectes comestibles en RDC. Elle invite non seulement à les déguster, mais également (i) à promouvoir les alternatives à la récolte *in natura* (élevage *ex situ*, sur substrats ou sur diètes artificielles), (ii) à réfléchir sur de nouveaux débouchés (formulations, produits à base d'insectes comestibles) et, (iii) à soutenir la filière par un cadre réglementaire spécifique - le plaisir de croquer ces savoureuses petites bêtes devant également être assuré aux générations qui viennent après nous.

**NSEVOLO MIANKEBA Papy (2022).** Consumption patterns of edible insects and future prospects to enhance the sector in the Democratic Republic of Congo. (PhD thesis). Gembloux Agro-Bio Tech, University of Liege, Belgium.

222 Pages, 51 Figures, 37 Tables

## Abstract

As far back as we can go in history, insects seem to have played a key role in nature by providing essential ecosystemic services. The edible species of these representatives of Arthropods have also provided humans with essential nutrients to vital functions. Up to now, entomophagy remains integrated in the eating habits of many populations around the world, as this practice contribute significantly to food security and resilience of food systems. Considering the ecological footprint of conventional production models, and the increasing challenge to feed a growing global population (while preserving the planet) – against the backdrop of the worldwide health crisis (COVID-19) that disrupted global food systems – the biomass of edible insects, and the potential for sustainable food production of this biological resource should be examined more closely. It is within this context that fits the present work, as it is intimately concerned with these six-legged invertebrates and explores their contribution to the food system in DRC.

To achieve this, the first part of the thesis drew up the inventory of species, and documented entomophagous habits across the country. The findings highlighted significant insect biodiversity (148 species) belonging to 9 orders - the main ones being the Lepidoptera (Saturniidae, Sphingidae, Notodontidae) (60%), Orthoptera (Acrididae, Gryllidae, Pyrgomorphidae) (10%), Coleoptera (Cerambycidae, Dynastidae, Dryophthoridae) (8%) and Hymenoptera (Apidae, Formicidae) (8%). The plant biodiversity (122 species of host plants for 38 species of insects) is dominated by the Fabaceae (*Brachystegia spp.*, *Albizia spp.*) (34%), Phyllanthaceae (*Uapaca spp.*) (11%), Meliaceae (*Entandrophragma spp.*) (5%) and Apocynaceae (*Funtumia spp.*) (4%). In addition, the national inventory pointed out major ecological associations - such as *Elaphrodes lactea* associated with 30 species of plants, or *Julbernardia paniculata* associated with 17 insects - while pleading for conservation actions in order to preserve species like *Prioria balsamifera* (or *Austranella congolensis*) threatened (or in danger of extinction).

This inventory is supplemented by a map of (converging and specific) entomophagous habits which make the richness (and diversity) of this endogenous tradition, then by documentation of past and current consumption patterns. The study highlights the significant contribution of edible insects to food security, particularly during the lockdown of the country's capital - a particular challenging period marked by restrictive measures due to the emergence of the COVID-19. In effect, for 77.4% of respondents, insects (consumed on average 6 days/month, with 128.6 g/pers/day) constituted an important source of nutrients; while for the same period, inequalities (between urban, peri-urban and rural consumers) appeared in the use of meat products. The results of the study also supported the contribution of these invertebrates to the resilience of the local food system, thus joining the invitation to states (by FAO) to promote local resources in order to increase the resilience of food systems to exogenous shocks.

Considering issues related to the nutritional value of edible insects processed according to traditional methods; another part of the study documented the chemical composition of six species (including *Imprasia ertli*, *Cirina forda*, *E. lactea* - Lepidoptera). The study reported significant protein contents (46 - 53% dry matter), and essential amino acid profiles comparable to the profile of the ideal protein proposed by FAO and WHO. This chemical characterization was followed by the morphological characterization of *Rhynchophorus phoenicis* (Coleoptera) – an edible species of zootechnic interest in DRC. The study reported the phenotypic variability between 3 natural populations of this Curculionioidea, and suggested an identification tool based on a set of discriminating morphometric characters.

The last part of the thesis added originality to the present study by documenting a latent issue in relation with the adoption of mass breeding products by two major actors (traders and farmers) in the sector. Regarding traders, the study highlighted mainly unfavorable attitudes (66.3%). These attitudes are supported by motivations (reasons) associated to health security, production or psychology system (neophobia). Therefore, the study suggested these concerns as levers of action for a change of attitude among these key actors in supply chains. Conversely, farmers seem to be globally favorable (78.6%) – although results suggested 3 distinct clusters based on a combination of the sociodemographic profile, the characteristics of production activities, and the dispositions towards innovation (*i.e.* alternatives to collection *in natura*). Since collective food challenges call Congolese consumers to dominate cultural reflexes and to consider new food offers, this part of the study has projected itself in the perspectives of the development of entomoculture in the DRC, and proposed strategies to support farmers and traders in the adoption process of sustainable innovations.

The thesis documented some important aspects related to entomophagy practices, and brought us to the conclusion of the nutritional, economic and cultural value of edible insects in DRC. However, the necessary steps towards mitigating food insecurity in DRC through edible insects will require (*i*) to promote alternatives to collection *in natura* (through mass-farming on substrates, or on artificial diets), (*ii*) to develop new products (formulations) with local edible species and, (*iii*) to support the sector by regulations and guidelines specifically addressing edible insects – since the pleasure to crunch these tasty little animals should also be guaranteed to generations to come.



## Remerciements

---

*... Car c'est une prophétie dont le temps est déjà fixé,  
Elle marche vers son terme, et elle ne mentira pas ;  
Si elle tarde, attends-la, Car elle s'accomplira, elle  
s'accomplira certainement.*

C'est une des trois belles paroles qui m'ont porté, qui m'ont aidé à me relever et à endurer ces nombreuses années. Mes remerciements s'adressent ainsi en premier à mon Père, pour son soutien pendant toutes ces années, ses conseils avisés et la discipline inculquée qui porte aujourd'hui ses fruits.

J'exprime également ma profonde gratitude à mon promoteur, le Professeur Frédéric FRANCIS, pour m'avoir offert l'opportunité de travailler dans son équipe. Merci pour son encadrement, ses directives et l'esprit ouvert avec lequel il motive chacun. J'adresse également ma profonde gratitude aux Professeurs KIATOKO NKOBA et KAMBASHI MUTIAKA, pour ce précieux encadrement et pour les conseils avisés qui m'ont été d'une aide inestimable. Merci d'avoir prêté oreille attentive alors que je traversais des périodes délicates. Je tiens également à remercier de manière particulière le Docteur Rudy CAPARROS MEGIDO, pour m'avoir accompagné de bout en bout. Merci pour ses nombreuses corrections et suggestions qui ont permis à ce travail d'avoir sa forme définitive. Merci aussi à tous les membres de mon comité d'encadrement - les Professeurs Yves BECKERS, Jérôme BINDELLE et Frédéric MARION-POLL dont l'accompagnement m'a été précieux. Merci au Professeur François MALAISSE pour sa particulière disponibilité à documenter et orienter nos recherches. Merci aussi au Professeur Célestin MUKALA pour avoir adopté et porté ce jeune étudiant vers de nouveaux statuts.

Que toute l'équipe de l'unité d'Entomologie fonctionnelle et évolutive trouve ici l'expression de ma gratitude - Taofic ALABI en particulier pour sa précieuse aide dans les analyses chimiques ; Nicolas PONCELET pour m'avoir initié avec patience aux analyses moléculaires ; Jeannine BORTELS pour sa contribution dans les aspects entomologiques, Papy KITUMBA, Sandra TORSIN, et Emilie BERA pour ses nombreux échanges pendant les manip - et sa patience face à mes "milliers" de questions. Merci à tous mes collègues et compagnons - Virginie KORANGI, Françoise MADAMO, Junior FINGU, Gloria NUMBI, Yangyang, Marcellin COKOLA et Armel GOUGBEDJI avec lesquels j'ai partagé tous ces moments de stress, mais également de belles expériences et des moments d'amitié.

J'exprime des remerciements particuliers à la Wallonie – Bruxelles (WBI) pour le financement de ces années de recherche et à toute son équipe pour la disponibilité sans faille - je pense particulièrement à Katherine BRAHY, à Rosette KABONA, à Austin EMEKA et à Michel-Ange VINTI dont l'aide m'a été inestimable. Je pense également à tout le CAVTK et à ses pôles d'expertise. Que Patrick RUPPOL trouve ici l'expression de toute ma gratitude – lui par qui la "belle nouvelle" est arrivée.

Merci aux amis et frères que l'UPN m'a donné - Sam NSIMBA, Djé KUNGULA, J.C TSHIDITETA, Xavier KUSAKANA, Denis BAWBA, Soleil KUSAKA, Doudou BEDZE. A Papi BADIBANGA – Dos, merci. A Manu MUKOMA, mon Général je n'ai pas de mots ... tu sais tout. A Rodrigue LUNDANDA, à qui une grande partie de ce travail revient ... j'ai toujours pu compter sur ta passion pour les insectes et sur ta disponibilité - merci de m'avoir suivi sur terrain pendant mes explorations de nos brousses et forêts.

A ma très chère église la Pierre Vivante (Gembloux) pour ces beaux moments de culte passés ensemble, A l'Ecodim du Centenaire (PIPKIN) - mes collègues moniteurs et monitrices toujours à genoux, aux pieds de la Croix du Christ ressuscité, A mes oncles et tantes MIANKÉBA pour avoir été là dans les passages difficiles de la vie, A toute la famille TSHIMBALANGA – Papa Paul et Mm Esther en particulier, A mes amis et à tous ceux que j'ai oublié malgré moi, J'adresse ici ma profonde reconnaissance et une gratitude que des mots ne suffiront pas à exprimer.

A mes familles NSEVOLO – Ya Sorel, Ya Nsa, Noah, Grâce, Dally, Emma, et NDOMBI – Mm Marie-José, Arnaud, Lysette, Nadège, Marthe, Hardie et Noah - auxquelles toutes les fibres de mon être restent attachées ...

A mon monde – mon petit tout,

Merci beaucoup chérie d'avoir été là toutes ces années. Keur, tu es mon exosquelette

Merci Yoan – Emmanuel pour avoir appris très tôt à être présent et responsable

Merci David – Gaël pour avoir découvert très tôt la médiation et la fraternité

Merci Ethan – Gabriel pour avoir développé l'esprit d'équipe et la complicité

Merci Raphael – Divin pour nous avoir tous unis et motivés par ton sourire

Sans le savoir, vous m'avez aidé plus que tout – car face à la tentation d'abandonner, je repensai à l'exemple que je vous aurai donné ...

Merci d'exister.

# Table des matières

---

<i>Résumé</i>	v
<i>Abstract</i>	vii
<i>Remerciements</i>	ix
<i>Table des matières</i>	xi
<i>Table des illustrations</i>	xiv

## Chapitre I.

<b>Introduction générale</b>	<b>1</b>
I.1. Entomophagie : Aperçu historique	3
I.2. Entomophagie : Motivations associées	3
I.3. Entomophagie : Intérêts et bénéfiques	5
I.3.1. Aspects nutritionnels	5
I.3.2. Aspects sécurité alimentaire	15
I.3.3. Aspects environnementaux	16
I.4. Entomophagie : Sécurité sanitaire	17
I.4.1. Dangers physiques	18
I.4.2. Dangers chimiques	19
I.4.3. Risques microbiologiques	22
I.4.4. Risques parasitaires	27
I.4.5. Risques allergiques	28
I.5. Entomophagie : Insectes et Biodiversité	30
I.5.1. Diversité d'espèces comestibles	30
I.5.2. Cas du modèle d'insecte	31

## Chapitre II.

<b>Objectifs et stratégies de recherche</b>	<b>35</b>
II.1. Objectifs de recherche	37
II.2. Stratégies de recherche	38

## Chapter III.

<b>Past and current patterns of consumption</b>	<b>41</b>
III.1. Reviewing entomophagy in DRC	44
III.1.1. Introduction	45
III.1.2. Study area, search procedure	47
III.1.3. Nationwide inventory of edible insects	49
III.1.4. Distribution of insect species and patterns	53
III.1.5. Consumer attitudes and motives	55
III.1.6. Inventory of plant species	56

III.1.7. Seasonality, harvesting and processing methods	59
III.1.8. National trade and related challenges	65
III.1.9. Ways forward	65
III.1.10. Conclusion	67
III.1.11. Annexes	68
III.2. Could entomophagy contribute to build resilient food system?	82
III.2.1. Introduction	83
III.2.2. Materials and methods	85
III.2.3. Results and discussion	86
III.2.4. Conclusion and perspectives	101

## Chapter IV.

### **Chemical and morphometrical characterization** **103**

IV.1. Protein content and amino acids profiles of selected insects	106
IV.1.1. Introduction	107
IV.1.2. Materials and methods	108
IV.1.3. Results	112
IV.1.4. Discussion	117
IV.1.5. Conclusions and perspectives	121
IV.1.6. References Index	124
IV.2. Analysis of sexual dimorphism and morphometric char.	125
IV.2.1. Introduction	126
IV.2.2. Material and methods	128
IV.2.3. Results	130
IV.2.4. Discussion	138
IV.2.5. Conclusion	141

## Chapter V.

### **Production prospects and related challenges** **143**

V.1. Freins et leviers pour la commercialisation des IPM	146
V.1. Introduction	147
V.2. Matériel et méthodes	148
V.3. Résultats	150
V.4. Discussion	159
V.5. Conclusions et perspectives	161
V.2. Who is collecting edible grubs from the wild? Typology	163
V.2.1. Introduction	164
V.2.2. Materials and methods	166
V.2.3. Results	166

V.2.4. Discussion _____	173
V.2.5. Conclusion _____	175

**Chapter VI.**

<b>Discussion générale, perspectives et conclusion _____</b>	<b>177</b>
VI.1. Discussion et perspectives _____	179
VI.2. Conclusions _____	190
VI.3. Références _____	191

**Chapter VII.**

<b>Scientific productions and publications _____</b>	<b>215</b>
VII.1. Articles in peer reviewed academic journals _____	217
VII.2. Peer reviewed abstracts _____	217
VII.3. Posters in international conferences _____	217
VII.4. Articles under review _____	217
VII.5. Other publications related to the thesis _____	218

**Chapitre VIII.**

<b>Index_noms scientifiques _____</b>	<b>219</b>
---------------------------------------	------------

# Table des illustrations

---

## A. Liste des tableaux

<b>Tableau 1.</b> Teneurs en protéines (%) et en AAs _____	6
<b>Tableau 2.</b> Teneurs en lipides (% MS) et en FAs (mg/g) _____	8
<b>Tableau 3.</b> Energie produite par divers Ordres d'insectes _____	12
<b>Tableau 4.</b> Matériaux et sources de dangers physiques _____	19
<b>Tableau 5.</b> Facteurs antinutritionnels (mg/kg) _____	22
<b>Tableau 6.</b> Champignons et bactéries identifiés sur quelques espèces _____	25
<b>Tableau 7.</b> Nombre de cas, type/espèce et stades de développement _____	27
<b>Table 1.</b> Inclusion/exclusion criteria used for data compilation _____	49
<b>Table 2.</b> Seasonal availability of selected edible insect species _____	60
<b>Table 3.</b> Processing and preparation techniques _____	63
<b>Table S1.</b> Inventory of edible insect species reported for DRC _____	70
<b>Table S2.</b> Recorded host plants for main edible Lepidopteran species _____	76
<b>Table 1.</b> Socio-demographic characteristics of the respondents _____	87
<b>Table 2.</b> Frequencies (as percentage) of the EICP and quantities _____	89
<b>Table 3.</b> Motives of insect consumption following sociodemographic _____	92
<b>Table 4.</b> Frequencies of cited edible species following ... areas _____	94
<b>Table 5.</b> Insect-eating habit and perception of disruption _____	96
<b>Table 5.</b> Consumption patterns of animal-based foodstuffs/areas _____	97
<b>Table 1.</b> Nomenclature of sampled edible insect species _____	110
<b>Table 2.</b> Protein content on dry matter basis for selected food sources _____	111
<b>Table 3.</b> AA composition ... of the main commercial edible insect species _____	114
<b>Table 4.</b> EAA ratios calculated based on the FAO/WHO pattern _____	115
<b>Table S1:</b> EAA profiles (g/100 g dry matter) of selected edible insects _____	123
<b>Table S2.</b> EAA profiles (mg/100 g fresh weight) of selected Saturniidae _____	123
<b>Table 1.</b> Selected parameters from fitness and life cycle <i>ex-situ</i> assessment _____	128
<b>Table 2.</b> Summary of morphometric measurements of 25 characters _____	131
<b>Table 3.</b> Summary of morphometric measurements ... on APW _____	134
<b>Table 4.</b> Selected results from LDA models with subsets of data _____	136
<b>Table 5.</b> Standardized LDA functions coefficients for the 20 characters _____	136
<b>Table 6.</b> Correlations of the 20 characters (of Model_4) with the factor axes _____	138

<b>Tableau 1.</b> Caractéristiques sociodémographiques des répondants _____	150
<b>Tableau 2.</b> Insectes commercialisés vs caractérist. sociodémographiques _____	151
<b>Tableau 3.</b> Résumé des motivations sous-tendant les dispositions _____	154
<b>Tableau 4.</b> Corrélations et valeurs tests des principales modalités _____	158

<b>Table 1.</b> Selected edible insect species ... for mass-farming in the capital _____	165
<b>Table 2.</b> Sociodemographic characteristics of farmers _____	167
<b>Table 3.</b> Selected PCA results (contribution & correlation) of variables _____	169

## **B. Liste des figures**

<b>Figure 1.</b> Eléments extérieurs influençant les habitudes alimentaires _____	4
<b>Figure 2.</b> Cuticule – matrice de protéines ... et filaments de chitine _____	10
<b>Figure 3.</b> Peptides antimicrobiens synthétisés par le corps gras des insectes _____	14
<b>Figure 4.</b> Ampleur et répartition des ... degrés d'insécurité alimentaire _____	15
<b>Figure 5.</b> Impact environnemental et paramètres d'utilisation des ressources _____	17
<b>Figure 6.</b> Voies possibles de contamination dans la chaîne de production _____	18
<b>Figure 7.</b> Régions répétées de la tropomyosine de crevette ( <i>Penaeus aztecus</i> ) _____	29
<b>Figure 8.</b> Estimations du nombre d'espèces d'insectes consommés par pays _____	30
<b>Figure 9.</b> Estimations des ordres d'insectes couramment consommés _____	31
<b>Figure 10.</b> <i>Rhynchophorus spp.</i> – stade adulte _____	32

<b>Figure 1.</b> PCA of the consumption patterns of edible insects _____	53
<b>Figure 2.</b> Maps of Entomophagy in DRC _____	54
<b>Figure 3.</b> Main motives for edible insects' consumption _____	55
<b>Figure 4.</b> Main reasons for refusal of edible insects as food _____	56
<b>Figure 5.</b> Host plants' diversity associated to edible lepidopterans _____	57
<b>Figure S1.</b> Map of the current configuration of DRC _____	69

<b>Figure 1.</b> Motives of insect consumption according to living environment _____	90
<b>Figure 2.</b> Evolution of the demand for edible insects _____	95
<b>Figure 3.</b> Perception of disruption causes, COVID-19's impacts _____	97
<b>Figure 4.</b> PCA graph of individuals according to location areas _____	99
<b>Figure 5.</b> PCA graph of individuals according to educational level _____	99
<b>Figure 6.</b> Graph of supplementary categorical variables _____	100
<b>Figure S1.</b> Map of Kinshasa's areas _____	102

<b>Figure 1.</b> Protein content (g/100 g DM basis) of sampled edible Lepidoptera _____	112
<b>Figure 2.</b> Comparison of EAA distribution in the protein fraction _____	115
<b>Figure 3.</b> Graph of the first two PC provided by correspondence analysis _____	116

<b>Figure 4.</b> CA graph of the EAA profiles of the studied insects _____	117
<b>Figure S1.</b> Selected AA distribution's comparison _____	122
<b>Figure 1.</b> Characteristics used for morphometric measurements of APW _____	129
<b>Figure 2.</b> Different pronotum patterns of <i>R. phoenicis</i> from DRC _____	130
<b>Figure 4.</b> Principal component plot (PC1 vs PC2) of APW males and fem. _____	132
<b>Figure 5.</b> Principal component plot (PC1 vs PC2) of APW groups _____	135
<b>Figure 6.</b> Accuracy (%) of LDA tests implemented with different subsets _____	136
<b>Figure 7.</b> Bi-plot (& histograms) of scores on the axes _____	137
<b>Figure S3.</b> Size-related changes in 8 morphometric characters of APW males _____	142
<b>Figure 1.</b> Périmètres urbain, péri-urbain et rural de la ville-Province de Kin _____	149
<b>Figure 2.</b> Dispositions au commerce des IPM par type_environnement _____	151
<b>Figure 3.</b> Dispositions au commerce des IPM suivant les tranches d'âge _____	152
<b>Figure 4.</b> Motivations face aux IPM en milieux urbain (B), Rural (C) _____	156
<b>Figure 5.</b> Graphe d'Analyse des Correspondances : Age x Dimension _____	156
<b>Figure 6.</b> Dimensions des motivations face aux IPM (par type de vendeurs) _____	157
<b>Figure 7.</b> Graphe des variables sur les 2 premiers axes retenus _____	157
<b>Figure 8.</b> Graphe global de l'ACM [(Individus x Variables) _____	158
<b>Figure 1.</b> Farmers (n = 70) grouped according to average daily yield _____	168
<b>Figure 2.</b> Farmers (by clusters) and variables for the two first dimensions _____	168
<b>Figure 3.</b> Box-plots of variables according to clusters _____	170
<b>Figure 4.</b> Motives supporting willingness to adopt insect farming _____	171
<b>Figure 5.</b> FAMD graph of variables. Modalities of discretized quantitative _____	172
<b>Figure 6.</b> AFDM graph of individuals vs modalities of variables _____	173
<b>Schéma 1.</b> Opportun. entrepreneuriat - chaîne de valeur de <i>R. phoenicis</i> _____	185



# I

---

## Introduction générale



## I.1. Entomophagie : Aperçu historique

L'entomophagie, consommation d'insectes par l'homme, est une pratique associée à l'histoire de l'humanité depuis des temps immémoriaux. En effet, comme en attestent un certain nombre de rapports s'appuyant notamment sur l'analyse des traces d'usure et des restes organiques sur les instruments des hominidés (Lesnik, 2011), ou sur l'analyse des coprolithes (excréments fossilisés) d'origine humaine, les insectes semblent avoir occupé une place significative dans le régime alimentaire des premiers hominidés, constituant notamment une nourriture de haute qualité facilement accessible aux femmes et aux enfants (van Huis *et al.*, 2016).

Par ailleurs, à différentes époques et suivant les ressources dont les humains ont pu disposer ; diverses espèces d'insectes ont été utilisées comme aliments dans l'histoire des sociétés humaines. Des exemples documentés se retrouvent ainsi dans pratiquement tous les continents - Asie (Chine, Thaïlande), Europe (Espagne, Portugal), Amérique (au Mexique) et Afrique (Égypte) (van Huis *et al.*, 2016). Même si dans certains cas il peut s'agir de pratiques entomophages rares et locales, ces souvenirs – aussi loin qu'ils peuvent porter, permettent d'apprécier la place qu'occupaient les insectes comestibles et les représentations sociétales qui leur étaient associées.

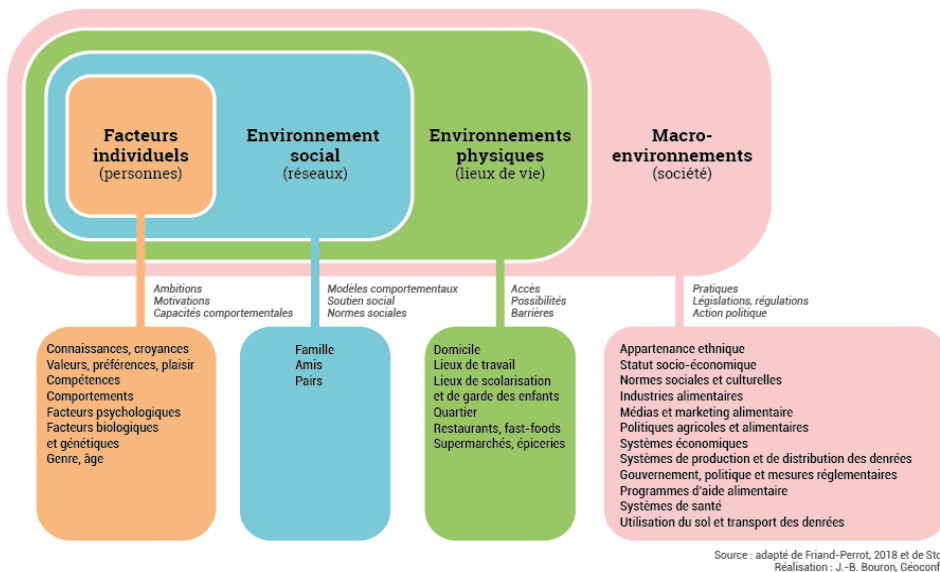
Toutefois, pour les populations de tradition orale ou lorsque les traces d'écrits anciens ont été perdues, les preuves des pratiques entomophages ancestrales sont rares. Cet état de faits a été notamment rapporté pour de nombreux pays d'Afrique sub-saharienne au sein desquels les pratiques entomophages actuelles sont historiquement associées à des us et coutumes peu documentés, mais transmises de génération en génération. C'est notamment le cas en République Démocratique du Congo (RDC), pays pour lequel les vieilles pratiques entomophages sont relativement peu étayées - si ce n'est entre autres, par des écrits de missionnaires, voyageurs, naturalistes et agents mandatés par la métropole coloniale. Quoi qu'il en soit, ces témoignages disponibles convergent globalement, et appuient que les pratiques entomophages très bien intégrées à ce jour dans ce pays d'Afrique centrale (Latham *et al.*, 2021 ; Malaisse, 1997 ; Mapunzu, 2004 ; Nsevolo *et al.*, 2016), plongent effectivement leurs racines dans une culture ancienne marquée par des interactions intimes avec les insectes.

## I.2. Entomophagie : Motivations associées

L'entomophagie est associée à un certain nombre de motivations alimentaires communes à tous les choix alimentaires s'inscrivant dans un environnement alimentaire (Figure 1). Ces motivations alimentaires ont par ailleurs fait l'objet d'un certain nombre d'études s'appuyant sur différentes échelles - la plus exhaustive et reconnue par la communauté scientifique internationale à ce jour ayant été proposée par Renner *et al.* (2012).

En effet, cette échelle des motivations alimentaires - "The Eating Motivation Survey" (TEMS), met en lumière 15 motivations distinctes (et inter-reliées) associées aux choix alimentaires; à savoir entre autres : le goût, aspects visuels et autres qualités organoleptiques ("Liking") qui rendent l'aliment attrayant ; les motifs hédoniques associés au plaisir ("Pleasure") ; la faim et les besoins physiologiques ("Need and Hunger") ; la sociabilité ("Sociability") englobant les raisons sociales (attentes, facteur image) du choix alimentaire dans un contexte social précis ; les facteurs santé et bien-être ("Health") orientant vers des aliments sains; prix ("Price") relatif aux aspects économiques et financiers, et commodité d'usage ("Convenience") motivant les choix pour des aliments faciles d'accès et rapides, après un minimum d'efforts de la part du consommateur (Renner *et al.*, 2012).

A cette liste de facteurs influençant les choix alimentaires, il convient également d'ajouter des facteurs supplémentaires (non moins importants), comme les habitudes alimentaires ("Habits") englobant les choix motivés par la routine ou la familiarité à un produit, ainsi que les traditions et les considérations d'ordre éthique ou religieux (Renner *et al.*, 2012). Non seulement que ces différentes motivations alimentaires sont associées, à des degrés relativement différents; aux pratiques entomophages des populations urbaines et/ou à celles des communautés traditionnelles en Afrique (ou ailleurs dans le monde) (Manditsera *et al.*, 2018), elles éclairent également l'intérêt croissant au niveau mondial envers les insectes comestibles – intérêt se traduisant ces dernières décennies par un nombre foisonnant de papiers consacrés à ces précieux invertébrés qui nourrissent l'homme (Baiano, 2020 ; Hlongwane *et al.*, 2020).



**Figure 1.** Eléments extérieurs influençant les habitudes alimentaires (Pech, 2021).

## I.3. Entomophagie : Intérêts et bénéfices associés

### I.3.1. Aspects nutritionnels

Une des fonctions majeures d'un aliment est de fournir en quantité et en qualité, les nutriments essentiels à la croissance et aux activités métaboliques essentielles afin de maintenir un corps en bonne santé. Sous ce rapport, les insectes comestibles se présentent comme des aliments de choix puisqu'ils sont globalement signalés ; dans la littérature séminale internationale, comme des sources alimentaires contenant des teneurs significatives en macro et micronutriments, mais également en fibres alimentaires et en divers composés bio-fonctionnels qu'il convient de valoriser.

#### a. Protéines et acides aminés

Partant des données compilées pour 236 espèces d'insectes comestibles dont la composition nutritive a été analysée sur base de la matière sèche (MS), [Rumpold & Schlüter \(2013\)](#) rapportent formellement que les protéines constituent la principale macromolécule présente chez les insectes, avec des teneurs comprises entre 35,3 – 61,32%, tous ordres confondus ([Tableau 1](#)).

Comme le signalent par ailleurs ces auteurs, la composition protéique et le profil en acides aminés (AAs) des insectes comestibles dépendent en grande partie des ordres et des espèces analysés ([Tableau 1](#)). Cet état de faits est également corroboré par [Payne et al. \(2016b\)](#) qui rapportent la composition chimique de quelques espèces d'insectes comestibles de grande valeur commerciale à travers le monde - notamment *Rhynchophorus phoenicis*<sup>1</sup>, *Apis mellifera*, *Acheta domesticus*, *Gonimbrasia belina*, *Oecophylla smaragdina*, *Bombyx mori* et *Tenebrio molitor*. A titre d'exemple, *G. belina* notamment a indiqué les valeurs les plus élevées pour tous les AAs essentiels – la Valine (Val) étant l'AA en plus faible quantité chez cette espèce très consommée à travers l'Afrique ([Kelemu et al., 2015](#)). De manière similaire, *R. phoenicis* (principale espèce de Coléoptère consommée en RDC) ([Nsevolo et al., 2016](#)), présente des teneurs faibles en Val, mais aussi en Isoleucine - AA dont les teneurs sont par ailleurs également faibles chez *B. mori* ([Payne et al., 2016b](#)).

#### b. Lipides et acides gras

Les acides gras (FAs) - molécules organiques très répandues dans les règnes végétal et animal, sont d'importantes sources d'énergie dans les cellules ; fournissant du quart à la moitié des provisions en calories ([Hammond & Cram, 1965](#)). S'agissant de leur teneur dans les insectes comestibles, les données compilées pour 236 espèces soutiennent que les lipides constituent – après les protéines, le second composant majeur chez ces invertébrés ([Rumpold & Schlüter, 2013](#)).

---

<sup>1</sup> Les noms scientifiques complets de toutes les espèces d'insectes citées dans ce chapitre sont renseignés dans la liste reprise à l'index (voir chapitre VIII, page 233).

**Tableau 1.** Teneurs en protéines (%) et en AAs (g/100g MS) pour quelques espèces d'insectes consommées en RDC\*

Espèces	Protéines		Acides aminés essentiels (mg/ g)							Acides aminés non essentiels (mg/ g)						
	% MS	His	Ile	Leu	Lys	Met + Cys	Phe + Tyr	Thr	Trp	Val	Arg	Ser	Pro	Ala	Gly	Glu
<b>Coleoptera</b>																
<i>Rhynchophorus phoenicis</i> (larvae) <sup>1</sup>	35,6	38,9	39,0	54,2	45,0	39,9	76,5	30,6	5,1	35,0	79,2	39,0	50,1	52,5	47,2	156
<i>Oryctes rhinoceros</i> (larvae) <sup>2</sup>	30,2	38,2	39,8	53,0	44,2	39,6	77,0	33,4	n/a	35,0	81,6	37,0	50,1	52,5	47,2	154
<b>Blattodea</b>																
<i>Macrotermes bellicosus</i> <sup>3</sup>	34,8	51,4	51,1	78,3	54,2	26,2	74,0	27,5	14,3	73,3	69,4	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
<b>Lepidoptera</b>																
<i>Anaphe venata</i> (sans poils) <sup>4</sup>	25,7	7,8	21,4	13,1	8,8	n/a	46,4	3,8	0,0	17,6	3,2	n/a	18,7	18,2	14,1	6,1
<i>Nudaurelia oyemensis</i> <sup>5</sup>	61,1	18,1	25,6	82,7	79,8	43,2	134	44,5	16,0	96,0	63,5	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
<i>Samia ricini</i> (prepupae) <sup>6</sup>	54,8	27,9	43,3	65,2	65,4	26,4	115	44,8	n/a	52,9	46,9	47,6	60,3	60,5	56,4	129
<i>Imbrasia truncata</i> <sup>7</sup>	64,7	17,4	24,2	73,1	78,9	38,7	139	46,9	16,5	102.	55,5	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
<i>Imbrasia epimethea</i> <sup>7</sup>	62,5	19,7	28,6	81,0	74,2	41,1	140	48,0	16,0	102.	66,2	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
<b>Orthoptera</b>																
<i>Brachytrupes sp.</i> (adultes) <sup>8</sup>	61,2	20,8	27,1	61,4	59,8	21,9	117	38,6	5,5	40,4	31,1	38,5	n/a	62,0	50,9	73,1

\* Les insectes comestibles renseignés dans ce tableau ont été sélectionnés parmi les 148 espèces comestibles rapportées pour la RDC (Table S1, page 76). Pour les teneurs en protéines et AAs, les sources sont respectivement : [1] Onyeike *et al.* (2005), Bukkens (1997) ; [2] Ekpo *et al.* (2009), Onyeike *et al.* (2005) ; [3] Ramos-Elorduy *et al.* (1997), Bukkens (1997) ; [4] Banjo *et al.* (2006), Ashiru (1989) ; [5] Kodondi *et al.* (1987a) ; [6] Longvah *et al.* (2011) ; [7] Kodondi *et al.* (1987a) ; [8] Ramos-Elorduy *et al.* (2012). "n/a" = données non disponibles.

Cet état de faits est notamment corroboré par [Bukkens \(1997\)](#) et [Onyeike et al. \(2005\)](#) qui rapportent par ailleurs des teneurs variant en fonction des taxons (par exemple, des valeurs comprises entre 8,1 et 59,0 g/100g (en MS) pour certains représentants Lépidoptères - comme *Endoxyla leucomochla*, contre des valeurs entre 19,5 et 50,0 g/100g (en MS) pour certaines espèces de Coléoptères – comme *R. phoenicis*) ([Tableau 2](#)).

Par ailleurs, en considérant la composition nutritionnelle des lipides contenus dans les insectes comestibles, le spectre en FAs apparaît assez varié – certaines de ces molécules étant plus communes que d'autres. A ce sujet, [Bukkens \(1997\)](#) rapporte notamment que la quasi-totalité des insectes comestibles analysés contiennent des teneurs significatives en acides linoléique (C18:2, n-6) et linoléique (C18:3, n-3), mais pas en acides arachidonique (C20:4, n-6) et docosahexaénoïque (C22:6, n-3) – des FAs polyinsaturés (PUFA) à longues chaînes qui ont reçu beaucoup d'attention ces dernières années pour leur rôle vraisemblablement essentiel dans le développement neuronal humain. Pour leurs parts, [Kekeunou et al. \(2020\)](#) rapportent qu'à côté des acides linoléique et ( $\alpha$  and  $\gamma$ ) linoléique, la présence de six autres acides gras (palmitoléique, oléique, stéarique, laurique, palmitique et myristique) a été signalée chez les acridiens comestibles, pendant que [Salama \(2020\)](#) et [Mohamed \(2015\)](#) rapportent 25 FAs identifiés chez *Locusta migratoria* – les FAs saturés (SFA) et les acides gras insaturés (UFA) constituant approximativement 84 et 121 mg/g.

Même si leur composition en FAs est relativement disproportionnée et sujette à variation d'une espèce à une autre, les lipides contenus dans les insectes comestibles sont globalement reconnus comme étant d'une grande qualité nutritionnelle - puisque pauvres en SFA, et relativement riches en acides gras mono-insaturés (MUFA) et PUFA essentiels ([Tableau 2](#)). En effet, la qualité nutritionnelle des graisses alimentaires est déterminée par leur composition (ratio) en SFA, MUFA et PUFA : un régime pauvre en SFA mais riche en PUFA réduit le risque de maladie coronarienne ([FAO, 2010](#)) - l'apport de PUFA essentiels (oméga-3 notamment) étant par ailleurs bénéfique au développement cérébral des nourrissons et des jeunes enfants ([Lauritzen et al., 2001](#)). Ce spectre en FAs des lipides contenus dans de nombreuses espèces d'insectes comestibles offre la possibilité de les valoriser davantage dans l'alimentation humaine comme sources en ces macronutriments, afin de minimiser les risques de maladies cardiovasculaires dans les régimes riches en glucides raffinés.

### ***c. Glucides, hydrates de carbone et fibres***

Les glucides – communément dénommés hydrates de carbone (surtout dans la littérature anglo-saxonne) à cause de leur formule moléculaire, sont des composés polyhydroxylés contenant une fonction aldol ou  $\alpha$ -cétol, ou donnant ces groupements par hydrolyse ([Hammond & Cram, 1965](#)). Ils jouent un rôle primordial dans les règnes végétal et animal en participant à diverses fonctions essentielles (photosynthèse, structure, métabolisme, réserves énergétiques).

**Tableau 2.** Teneurs en lipides (% MS) et en FAs (mg/g) pour quelques espèces d'insectes consommées en RDC\*

Espèces	% MS	C14:0	C16:0	C18:0	Autres SFA	SFA	C16:1 n7	C18:1 n9	MUFA	C18:2 n6	C18:3 n3	C20:4 n6	PUFA	SFA/ UFA
<b>Coleoptera</b>														
<i>Rhynchophorus phoenicis</i> (larvae) <sup>1</sup>	19,5	3,2	32,4	3,1	0,2	38,9	3,3	40,1	43,4	13,0	3,5	1,2	17,7	0,64
<i>Oryctes rhinoceros</i> (larvae) <sup>2</sup>	38,1	3,5	28,7	2,1	0,1	34,4	4,4	41,5	45,9	14,1	1,5	4,1	19,7	0,52
<b>Blattodea</b>														
<i>Macrotermes bellicosus</i> <sup>3</sup>	46,1	2,2	42,5	2,9	1,5	49,0	2,1	15,8	17,9	24,2	3,9	4,9	33,1	0,96
<b>Lepidoptera</b>														
<i>Cirina forda</i> <sup>4</sup>	12,2	0,7	13,0	16,0	1,0	31,6	0,2	13,9	14,6	8,1	45,3	0,1	53,8	0,46
<i>Nudaurelia oyemensis</i> <sup>5</sup>	12,2	0,2	21,8	23,1	0,2	45,3	0,6	5,6	6,2	5,7	35,6	0,3	43,4	0,91
<i>Samia ricini</i> (prepupae) <sup>6</sup>	25,0	n/a	27,2	5,5	n/a	32,6	1,8	18,5	20,3	5,3	41,4	n/a	46,7	0,49
<i>Imbrasia truncata</i> <sup>7</sup>	16,4	0,2	24,6	21,7	n/a	46,5	0,2	7,4	7,6	7,6	36,8	n/a	44,4	0,89
<i>Imbrasia epimethea</i> <sup>7</sup>	13,3	0,6	23,2	22,1	0,2	46,1	0,6	8,4	9,0	7,0	35,1	n/a	42,5	0,90
<b>Orthoptera</b>														
<i>Ruspolia differens</i> <sup>8</sup>	48,2	0,9	31,5	5,5	0,4	38,3	1,9	24,6	26,5	31,2	3,2	n/a	34,4	0,63

\* Les insectes comestibles renseignés dans ce tableau ont été sélectionnés parmi les 148 espèces comestibles rapportées pour la RDC (Table S1, page 76). SFA (FAs saturés) : C14:0 – acide myristique; C16:0 – acide palmitique; C18:0 – acide stéarique; Autres SFA =  $\Sigma$  SFA en quantités négligeables. MUFA (FAs mono-insaturés): C16:1n7 – acide palmitoléique; C18:1n9 – acide oléique. PUFA (FAs polyinsaturés): C18:2n6 – acide linoléique; C18:3n3 –  $\alpha$  linoléique. UFA (FAs insaturés) = MUFA + PUFA (Rumpold & Schlüter, 2013). Pour les teneurs en lipides et en FAs, les sources sont respectivement : [1] Onyeike *et al.* (2005), Ekpo *et al.* (2009) ; [2] Ekpo *et al.* (2009) ; [3] Bukkens (1997), Ekpo *et al.* (2009) ; [4] Akinnawo & Ketiku (2000) ; [5] Kodondi *et al.* (1987a) ; [6] Longvah *et al.* (2011), Longvah *et al.* (2012) ; [7] Kodondi *et al.* (1987a) ; [8] Kinyuru *et al.* (2010). "n/a" = données non disponibles.



Des analyses biochimiques réalisées sur certaines espèces d'insectes comestibles indiquent des quantités significatives en hydrates de carbone - et autres macronutriments (protéines, lipides) ou micronutriments, plaidant ainsi pour leur utilisation comme compléments nutritionnels de qualité dans une alimentation équilibrée (Das, 2020). A titre d'illustration, Igwe *et al.* (2011) rapportent la composition proximale en hydrates de carbone (20,74%) ; protéines (20,94%) ; lipides (34,23%) et en divers autres éléments minéraux présents chez certaines espèces de termites (Isoptères). De manière similaire, Adepoju (2020) rapporte des teneurs<sup>2</sup> significatives en hydrates de carbone (43,0 g) ; protéines totales (31,8 g) ; lipides totales (16,4 g) et en divers micronutriments (K, Na, Ca, Mg, P, Fe, Zn) chez les individus ailés de *Macrotermes bellicosus*.

Cependant, comme pour les autres macronutriments, la composition des insectes comestibles en hydrates de carbone présente souvent des variations significatives en fonction d'un certain nombre de facteurs endogènes et exogènes à ces invertébrés (Belluco *et al.*, 2013; Rumpold & Schlüter, 2013). Par ailleurs, les quantités d'hydrates de carbone déterminées sont généralement plus faibles que celles des autres macronutriments (chez *L. migratoria* par exemple, les hydrates de carbone ne représentent que 4 à 6%, soit près de 10 fois moins que la teneur moyenne en protéines et 2 à 3 fois moins en lipides) (Kouřimská & Adámková, 2016; Salama, 2020; Yin *et al.*, 2017).

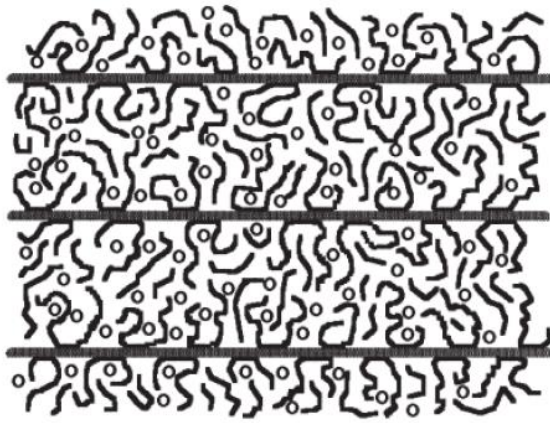
Néanmoins, certaines espèces d'insectes – comme *Melophorus bagoti* (Hyménoptères), *Glycaspis brimblecombei* et *Glycaspis eremica* (Hémiptères) consommées en Afrique du sud ou en Australie (Faast *et al.*, 2020; van Huis & Dunkel, 2017), font exception à la règle: une portion de 100 g de *G. eremica* (par exemple) apporterait 81 g d'hydrates de carbone (dont 2,9 g de fibres alimentaires) contre 0,6 g de protéines et < 0,2 g de lipides (Faast & Weinstein, 2019). En Australie notamment, ces insectes comestibles fournissent aux autochtones une précieuse source d'énergie pouvant être stockée pendant des mois et consommée en temps de pénurie. L'utilisation commerciale de cette abondante source en nutriments glucidiques d'origine animale comme substitut du sucre, ingrédient de fermentation ou amidon pour vêtements a même été suggérée (Faast *et al.*, 2020; Yen, 2010).

Dans le registre des composants glucidiques présents chez les insectes, la chitine mérite une mention spéciale - puisqu'elle constitue en moyenne 17% chez l'insecte adulte (ce rapport diminuant chez la puppe et la larve) (Yin *et al.* 2017). En effet ; comme tous les autres membres de leur embranchement, les insectes possèdent un corps formé de métamères articulés, recouverts d'une cuticule rigide constituant leur squelette externe (Andersen, 2000; Casa & Simpson, 2010; Finke, 2007; Yin *et al.* 2017).

---

<sup>2</sup> Sauf indication contraire et explicite, les teneurs en nutriments rapportées dans la trame de ce document sont exprimées en matière sèche (g/100g).

Cette cuticule composée essentiellement de lipides, de protéines et de chitine - les protéines et la chitine formant une matrice dans laquelle biomolécules et biopolymères interagissent pour conférer à la cuticule sa fonction mécanique et son rôle d'exosquelette (Figure 2) - impose à l'insecte une croissance discontinue par mues successives (Andersen, 2000; Casa & Simpson, 2010; Finke, 2007). La chitine est ainsi considérée comme la principale fibre présente chez les insectes comestibles et qualifiée de fibre animale à cause de son action dans le corps humain similaire à celle de la cellulose (Kouřimská & Adámková, 2016). C'est une fibre insoluble, mais pouvant être digérée (tout au moins en partie) par des chitinases actives et fonctionnels identifiées dans le suc gastrique de certaines populations tropicales au sein desquelles les insectes constituent une source traditionnelle et majeure de nourriture (Muzzarelli *et al.*, 2001; Paoletti *et al.*, 2007).



**Figure 2.** Cuticule – matrice de protéines (chaînes courtes) et filaments de chitine (bandes grises). Les petits cercles sont des molécule d'eau (Andersen, 2000).

#### *d. Vitamines, sels minéraux et oligoéléments*

Divers micronutriments sont en abondance dans une grande variété d'aliments courants, mais également en quantités significatives dans les insectes - orchestrant des réactions chimiques indispensables au métabolisme de ces invertébrés. Preuve en est donnée par le nombre foisonnant de rapports (publications scientifiques spécialisées et/ou documents d'information grand public) mentionnant différent(e)s vitamines, minéraux et oligoéléments identifiés après analyse biochimique de plusieurs espèces d'insectes comestibles (Finke, 2002b; Payne *et al.*, 2016b; Ramos-Elorduy *et al.*, 2012; Rumpold & Schlüter, 2013, 2015).

S'agissant particulièrement des vitamines, des rapports disponibles dans la littérature internationale signalent une gamme relativement variée de vitamines (riboflavine, acide pantothénique, biotine, acide folique, cobalamine, tocophérols) identifiées chez ces arthropodes. Ces rapports mettent également en évidence que certaines de ces substances organiques indispensables sont plus fréquentes que

d'autres - le profil en vitamines variant en fonction des espèces d'insectes considérées mais également en fonction d'un certain nombre de facteurs similaires à ceux signalés pour les macronutriments.

A titre d'exemple, [Payne et al. \(2016b\)](#) rapportent chez des Acrididae comestibles (Orthoptères), des valeurs significatives en vitamine B2 (3,4 mg/100 g) et en vitamine B12 (5,4 µg/100 g) – les apports nutritionnels conseillés (ANC) pour ces deux micronutriments étant respectivement 1,1 mg et 2,4 µg ([WHO, 2004; 2007](#)). De manière similaire, en se référant aux besoins nutritionnels pour un humain adulte, [Rumpold & Schlüter \(2013\)](#) rapportent notamment que 100 g d'insectes (en matière sèche) apportent des quantités élevées en vitamines B2, B5 et B8. Ces auteurs signalent par ailleurs certains représentants d'Orthoptères (*A. domesticus*, *R. differens*), et de Coléoptères (*T. molitor*) comme étant riches en vitamine B9 - impliquée dans la synthèse des bases nucléiques de l'ADN et de l'ARN, et intervenant aussi dans la synthèse d'AAs tels que la méthionine, l'histidine et la sérine.

Il convient toutefois de signaler que certaines vitamines peuvent être en quantités insuffisantes par rapport aux ANC (par exemple, la consommation de 100 g des larves de *Rhynchophorus sp.* n'apporterait que 1,31 mg de vitamine E – les ANC étant de 7,5 mg). C'est ce que font remarquer [Rumpold & Schlüter \(2013\)](#) au sujet de la niacine, de la thiamine, et des vitamines A, C et E – avec quelques exceptions cependant pour cette dernière vitamine retrouvée en quantités significatives chez *Galleria mellonella* et *A. domesticus* ([Barker et al., 1998; Finke, 2002b; Rumpold & Schlüter, 2013](#)). D'où tout l'intérêt de sélectionner spécifiquement les espèces comestibles en fonction des besoins en vitamines, ou d'optimiser leurs teneurs dans les insectes comestibles produits en conditions d'élevage par une alimentation riche en vitamines souhaitées ([Pennino et al., 1991](#)).

De manière similaire aux vitamines, différents sels minéraux et oligoéléments (Ca, K, Fe, Mg, P, Na, Zn, Mn, Cu, Se, Zn) sont signalés chez un nombre important d'insectes comestibles (avec des variations significatives entre les espèces). A titre d'illustration, sur un total de 60 espèces d'insectes comestibles analysées, 24 d'entre elles contiennent des valeurs de phosphore répondant aux ANC pour des adultes. C'est ce que rapportent notamment [Rumpold & Schlüter \(2013\)](#) qui signalent par ailleurs 23 autres espèces d'insectes comestibles (sur un total des 77 espèces analysées) fournissant suffisamment de magnésium (Mg).

Cet état de faits est également corroboré par [Ramos-Elorduy et al. \(2012\)](#) qui signalent pour leur part 22 espèces d'Orthoptères (dont *Melanoplus mexicanus*, *Sphenarium magnum*, *Sphenarium mexicanum*, *Brachytrupes sp.*) et trois espèces de Blattidae (*Blaberus sp.*, *Periplaneta americana*, *P. australasiae*) consommées au Mexique comme ayant des teneurs en Mg (entre 0,35 - 0,94 g/100 g) supérieures à celles contenues dans un certain nombre d'aliments d'origine animale (poulet, bœuf, œuf ou lait) ou végétale (maïs, bananes, carottes ou soja).

**e. Apports énergétiques**

Les macronutriments (lipides, protéines et glucides) présents en quantités importantes dans les insectes comestibles font d'eux une source appréciable en calories - au même titre (si pas plus) que certains aliments d'origine végétale ou animale. A cet effet, Ramos-Elorduy (2008) mentionne respectivement pour le bétail et les légumes, des valeurs énergétiques situées entre 165-705 kcal/100g et 308-352 kcal/100g, contre 217-777 kcal /100g pour les insectes comestibles (Tableau 3).

Dans le même ordre d'idées, Rumpold & Schlüter (2013) rapportent pour quelques larves de Coléoptères comestibles, des valeurs énergétiques (exprimées en kcal/100g) de l'ordre de 342,14 (pour *O. rhinoceros*) ; 479,14 (pour *R. phoenicis*) et 427,90 (pour *T. molitor*) – contre 474,65 et 593,00 kcal/100g pour deux espèces d'Hyménoptères comestibles (*A. mellifera* et *Trigona sp.*, respectivement). Des valeurs similaires (en kcal/100g) sont également rapportées pour certaines espèces de Lépidoptères (notamment 543,00 pour *Anaphe panda* ; 610,0 pour *Anaphe venata* ; 555,0 pour *B. mori* ; 359,0 pour *C. forda* et 461,84 pour *S. ricini*) et d'Orthoptères (par exemple 455,19 kcal/100g pour *A. domesticus* et 427.0 kcal/100g pour *Schistocerca sp.*) (Akinawo & Ketiku, 2000; Ashiru, 1989; Bukkens, 1997; Finke, 2002a; Longvah et al., 2011; Ramos-Elorduy et al., 1997).

**Tableau 3.** Valeurs énergétiques pour divers ordres d'insectes vs aliments conventionnels (en matière sèche) \*

Types	Nombre d'espèces analysées	kcal/100g
<b>Insectes (Ordres)</b>		
Ephéméroptères	4	354-355
Odonates	6	431-520
Orthoptères	88	336-438
Isoptères	3	347-508
Hémiptères	90	329-629
Homoptères	38	394-469
Coléoptères	124	283-653
Lépidoptères	45	293-777
Diptères	15	217-499
Hyménoptères	110	380-561
<b>Aliments conventionnels</b>		
Céréales		330-370
Végétaux		308-352
Légumineuses		388-421
Produits carnés		165-705

\* Source : Ramos-Elorduy (2008).

Il convient cependant de relever que la quantité d'énergie contenue dans les insectes comestibles dépend d'un certain nombre de facteurs (espèces, stade de développement, type de métamorphose, écosystème ou climat) (Ramos-Elorduy, 2008). Toutefois, même si ces facteurs endogènes ou exogènes entraînent une fluctuation significative du contenu énergétique et rendent délicate la comparaison rigoureuse de ces invertébrés quant à leurs apports énergétiques, les données disponibles à ce jour rapportent globalement des valeurs plus importantes en énergie chez les Coléoptères et les Lépidoptères - par rapport aux autres ordres d'insectes, et des valeurs plus faibles pour les insectes vivant en milieu aquatique - par rapport aux espèces évoluant en milieu terrestre (Tableau 3).

#### *f. Métabolites secondaires et substances bioactives*

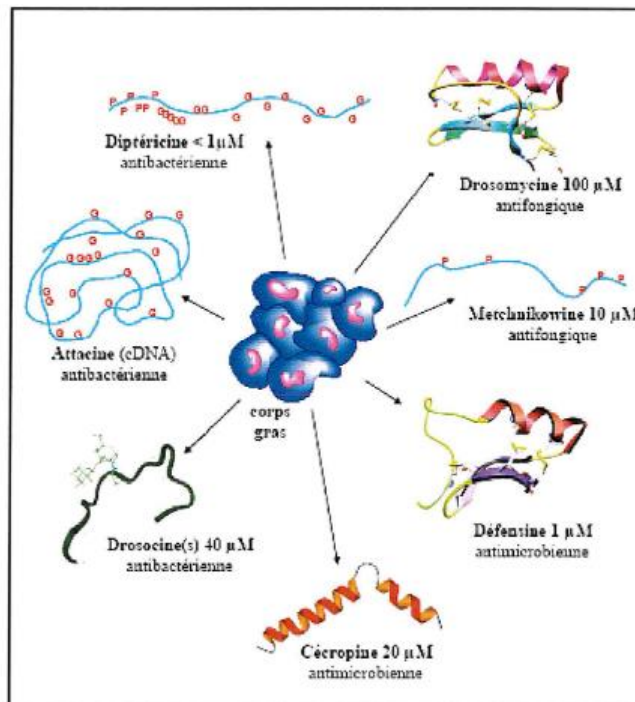
Dans leur biotope naturel, les insectes se doivent d'entretenir de nombreuses interactions avec divers microorganismes hostiles. Pour ce faire, ils produisent une large gamme de métabolites secondaires aux fonctions variées (défense, communication, parasitisme) – certains étant également actifs sur l'homme. Cet état de faits explique en partie les propriétés médicinales de certaines espèces d'insectes utilisées en entomothérapie et en médecine traditionnelle dans de nombreuses régions du monde (Césard *et al.*, 2003; Marganne, 2021; Motte-Florac, 2012).

Ces savoirs séculaires se transmettent de génération en génération et convergent parfois entre continents différents – phénomène qui suggère d'une part une efficacité des espèces médicinales considérées (Lupoli, 2010) et de l'autre, la présence de diverses molécules (peptides, stériles, alcaloïdes, hormones, polysaccharides) - originales (ou pas), d'intérêt thérapeutique (Folliet, 2006). L'efficacité de certains des remèdes (et de diverses indications) à base d'insectes a même été démontrée expérimentalement (Césard, 2016). C'est le cas notamment pour *Huechys sanguinea* – cigale asiatique rouge et noire dont la poudre traditionnellement prescrite en Chine contre certains types de cancers contient sept molécules différentes de Phyllanthusols à activités anti-cancéreuses (Lupoli, 2010; van Huis *et al.*, 2016). Dans le même registre, certains des composés identifiés chez les insectes comestibles présentent une activité antioxydante – les antioxydants ayant le potentiel d'empêcher les dommages moléculaires dans le corps humain. Les aliments riches en ces composés revêtent ainsi un intérêt particulier dans la prévention des maladies cardiovasculaires (Roos & Van Huis, 2017).

La littérature séminale relative à l'usage des insectes en ethnomédecine et en pharmacopée traditionnelle mentionne ainsi un nombre significatif d'espèces d'insectes utilisées pour traiter différents troubles et pathologies. Lupoli (2010) par exemple, rapporte divers représentants de Coléoptères (Carabidae, Cantharidae, Dysticidae, Staphylinidae, Buprestidae), de Lépidoptères (Cossidae, Saturniidae, Bombycidae, Vespidae, Notodontidae, Nymphalidae), de Blattodea (Isoptera) ou de Mantodea utilisés comme nourriture et/ou comme médicament dans diverses régions

du monde, et à travers l'histoire. Soit dit en passant que la distinction entre insectes médicinaux et insectes comestibles est parfois tenue. En effet, usage alimentaire et usage thérapeutique sont parfois exclusif l'un de l'autre : des espèces d'insectes consommées dans certaines parties du monde peuvent être plutôt réservées à un usage thérapeutique dans d'autres. C'est notamment le cas pour *A. domesticus*, dont l'usage alimentaire relativement bien intégré ailleurs (en Belgique ou en Thaïlande par exemple) (van Huis *et al.*, 2013), s'oppose à un usage essentiellement thérapeutique en RDC.

Même s'il est relativement délicat de trancher sur cette relative dualité dans l'usage (alimentaire vs thérapeutique) de certaines espèces d'insectes, les caractéristiques et les potentialités thérapeutiques des métabolites secondaires présents dans les espèces explicitement reconnues comme aliments pour l'homme suffisent à justifier l'intérêt à accorder à ces invertébrés (Cito *et al.*, 2017; van Huis *et al.*, 2016). En effet, le système immunitaire particulièrement efficace des insectes leur permet de rapidement identifier les microbes grâce à des récepteurs moléculaires et de synthétiser divers facteurs antimicrobiens et cytotoxiques en réponse à l'intrusion (Figure 3), offrant ainsi une source de médicaments quasi-infinie (Folliet, 2006; Roos & van Huis, 2017).

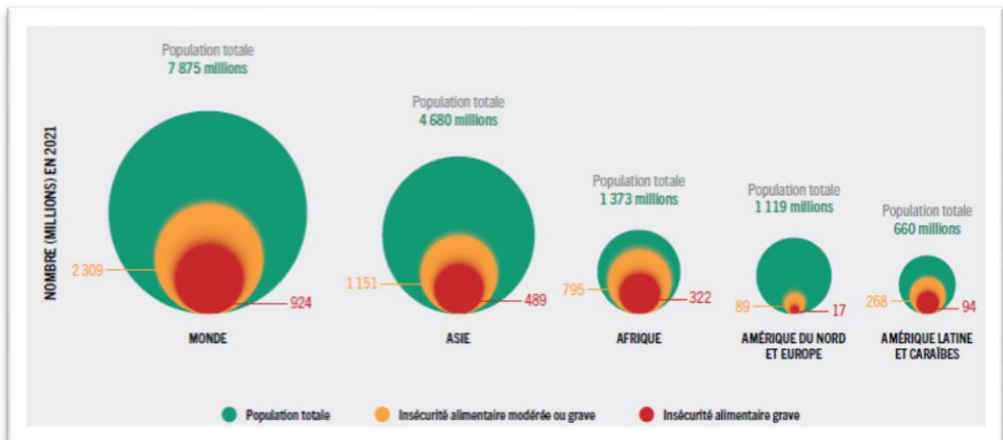


**Figure 3.** Peptides antimicrobiens synthétisés par le corps gras des insectes, avec les concentrations dans l'hémolymphe après infection bactérienne (Folliet, 2006).

### 1.3.2. Aspects sécurité alimentaire

De nombreuses études ont documenté la contribution des insectes comestibles à la sécurité alimentaire et nutritionnelle de millions de consommateurs aux profils très variés (Figure 4) (Balinga *et al.*, 2004; Defoliart, 2002; Malaisse, 1997; Ramos-Elorduy, 2009). Au sein de certains pays d'Afrique sub-saharienne, cette précieuse intervention des insectes comestibles dans les systèmes alimentaires est d'autant plus marquée que les ressources se font rares (en saison des pluies par exemple, quand la chasse et la cueillette deviennent problématiques). C'est ce que rapporte notamment la FAO dans son document de référence<sup>3</sup> qui a significativement contribué – en Occident particulièrement, à redorer l'image des insectes comestibles et à cristalliser les efforts autour de certaines espèces d'intérêt zootechnique (*A. domesticus*, *T. molitor*, *R. phoenicis*) (van Huis *et al.*, 2013; Schlüter *et al.*, 2017).

Malgré qu'il est impossible de chiffrer avec exactitude l'imposante biomasse que constituent les diverses espèces d'insectes comestibles, il est cependant globalement admis que des quantités de l'ordre de plusieurs dizaines de tonnes d'insectes sont annuellement consommées dans les grandes villes africaines – sans compter celles qui sont exportées à travers le monde. Des estimations indiquent par exemple que 96 tonnes d'insectes (Lépidoptères uniquement) sont consommées annuellement dans la seule ville de Kinshasa (capitale de la RDC) (van Huis *et al.*, 2013). Pour la même ville, il a également été rapporté que 80% des 10 millions d'habitants consomment au minimum une espèce d'insectes comestibles (5 jours par mois) – les quantités étant comprises entre 66,4 à 154,0 g d'insectes par personne/jour (Nsevolo *et al.*, 2016).



**Figure 4.** Ampleur et répartition des différents degrés d'insécurité alimentaire dans le monde (FAO *et al.*, 2022).

<sup>3</sup> *Edible insects - Future prospects for food and feed security*, 2013. FAO Forestry Paper No. 171.

Dans le même registre, [Balinga et al. \(2004\)](#) signalent aussi une consommation significative de diverses espèces d'insectes comestibles dans le Bassin du Congo - région qui possède d'importantes ressources forestières abritant une biodiversité entomologique considérable qui soutient la sécurité alimentaire et nutritionnelle des populations locales. En effet, ces auteurs rapportent par exemple que dans certaines communautés, des espèces de Lépidoptères (comme *Nudaurelia dione* ou *Antheua insignata*) sont, en raison de leur valeur nutritionnelle, mélangées à la farine afin de préparer une bouillie servie aux enfants pour lutter contre la malnutrition. D'autres espèces (comme *Tagoropsis flavinata* ou *Cinabra hyperbius*) riches en calcium ou en fer, sont habituellement recommandées aux femmes enceintes et/ou aux personnes anémiques afin de réduire les déficiences en minéraux.

Ainsi, tout en s'appuyant sur des études de cas (notamment au Cameroun, au Congo-Brazzaville, en République Centre Africaine et en RDC), les auteurs précités mettent en lumière une abondante diversité en termes d'espèces d'insectes comestibles (environ 185 espèces) ([Mutungi et al., 2019](#)), et documentent par la même occasion, la contribution significative de ces invertébrés aux moyens d'existence et à la sécurité alimentaire des communautés rurales et urbaines (plus de 93 millions de personnes) vivant dans cette région du globe ([Balinga et al., 2004](#)).

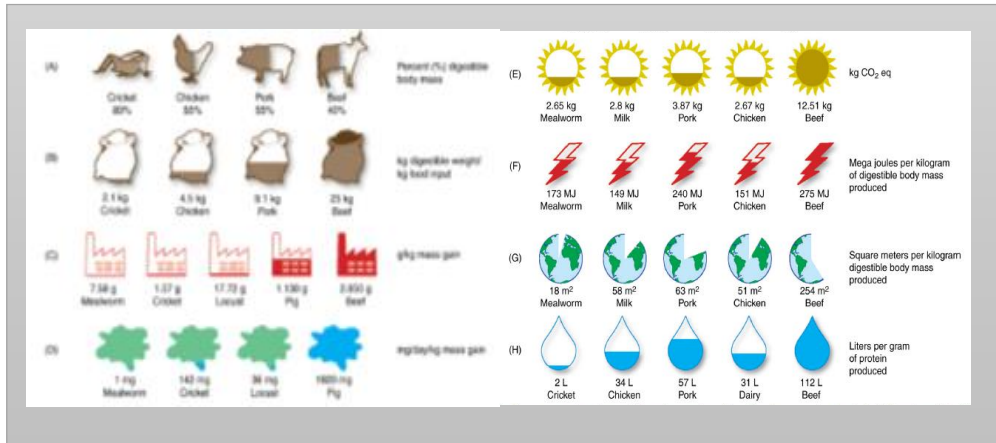
### **1.3.3. Aspects environnementaux**

Ces dernières années, des problématiques alimentées par les préoccupations relatives à l'empreinte écologique des modèles conventionnels de production, au bien-être animal ([Burgat & Dantzer, 1997](#)), à la résistance aux antibiotiques ([Sanders et al., 2011](#)) ou aux zoonoses rencontrées dans le secteur de l'élevage conventionnel ([Dicke et al., 2020](#)), ont positivement contribué à canaliser l'attention à l'endroit des insectes comestibles. Cet intérêt est en grande partie soutenu par les caractéristiques biologiques et zootechniques intéressantes (taux de fécondité et de conversion alimentaire élevés, cycles biologiques relativement courts, besoins hydriques relativement bas) que présentent ces invertébrés en comparaison aux animaux d'élevages conventionnels ([Oonincx et al., 2010](#)). A cette liste, il convient encore d'ajouter que globalement les insectes, (i) supportent bien des densités élevées en conditions d'élevage - tout en utilisant relativement peu d'espace et peu d'énergie, (ii) produisent relativement peu de gaz à effet de serre (et d'ammoniac), et/ou (iii) présentent une grande aptitude à convertir différents types de substrats (sous-produits, résidus organiques de différentes qualités) en biomasse protéique ou lipidique de valeur élevée ([Figure 5](#)).

En plus, contrairement aux animaux d'élevage conventionnels dont les zoonoses sont de triste mémoire pour le secteur agroalimentaire, les insectes comestibles semblent très peu susceptibles de servir de vecteurs à des viroses de l'homme ([Dicke et al., 2020](#)). Par ailleurs, puisque l'usage d'antibiotiques dans les élevages d'insectes n'est pratiquement pas documenté à ce jour, le spectre de l'antibiorésistance ne peut pas encore être porté à l'ordre du jour. Tous ces avantages (environnementaux,



sociétaux) considérés, l'entomoculture (c.à.d. l'élevage d'insectes comestibles) se développe en Afrique ou ailleurs dans le monde, rendant ainsi possible d'envisager (à plus ou moins long terme) (i) de rompre la saisonnalité des espèces d'insectes comestibles recherchées, (ii) de limiter la pression anthropique sur les espèces considérées comme menacées et, (iii) de réduire la dépendance à la collecte *in natura* (et le recours à des pratiques destructives) sous les tropiques en particulier.



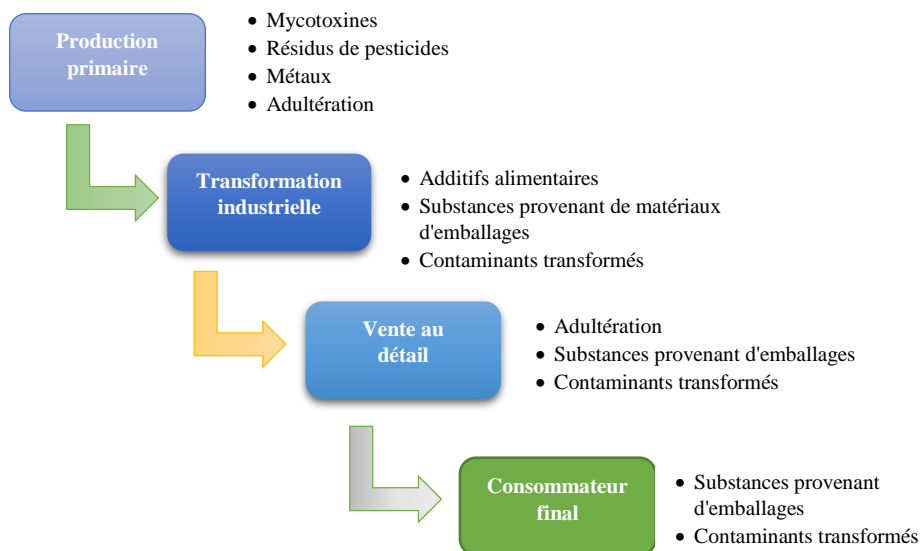
**Figure 5.** Impact environnemental et paramètres d'utilisation des ressources (insectes vs animaux d'élevage). (A) % de biomasse digestible ; (B) Taux de conversion alimentaire ; (C) Production d'équivalents gaz à effet de serre/kg de gain de masse corporelle ; (D) Production d'ammoniac/kg de masse corporelle ; (E) Potentiel de réchauffement global ; (F) Consommation d'énergie ; (G) Utilisation des terres ; (H) Consommation d'eau. Traduit de [Gahukar \(2016\)](#) (Figure courtesy of book editor [Dr. Aaron T. Dossey](#), president, founder, and owner of *All Things Bugs LLC* / *Gripro cricket powder*; [www.cricketpowder.com](http://www.cricketpowder.com)).

## 1.4. Entomophagie : Sécurité sanitaire

Comme tous les autres aliments d'origine animale ou végétale, les insectes comestibles peuvent également être potentiels vecteurs de contaminants environnementaux (chimiques ou biologiques), ou porteurs de facteurs antinutritionnels et d'allergènes. C'est ce que rappellent notamment [Fraqueza & Patarata \(2017\)](#), auteurs qui ont également mis en lumière les dangers potentiels liés à la production et à la transformation des insectes comestibles en lien avec les contraintes majeures de l'implémentation du plan HACCP<sup>4</sup> sur le processus de production de ces invertébrés.

<sup>4</sup> HACCP : Système d'analyse des dangers et de maîtrise des points critiques (Hazard Analysis Critical Control Point – en Anglais).

Par conséquent, au regard des possibles voies de contamination dans la chaîne de production des insectes (Figure 6), et de la menace sur la santé du consommateur final, ces potentiels contaminants devraient être considérés plus attentivement afin d'encourager les producteurs à l'adoption volontaire des bonnes pratiques (BPs), et implémenter collectivement des mesures minimisant le risque sanitaire (EFSA, 2015).



**Figure 6.** Voies possibles de contamination dans la chaîne de production (Arisseto-Bragotto *et al.*, 2017) - traduction.

### 1.4.1. Dangers physiques

La présence de corps étrangers ou de divers matériaux indésirables constitue une préoccupation majeure dans le processus de production d'aliments, puisque pouvant causer blessures, maladies ou traumatismes psychologiques (Luning & Devlieghere, 2006; Olsen, 1998). Même si cette problématique semble encore très peu documentée dans le cadre des pratiques entomophages (Schlüter *et al.*, 2017), des contaminants physiques (Tableau 4) restent susceptibles d'être incorporés à différents maillons de la chaîne de production des insectes (et/ou des produits à base d'insectes) (Figure 6).

Par ailleurs, certaines techniques de récolte *in natura* ou de transformation traditionnelle favorisent la présence fréquente de matières étrangères et de divers débris (charbon de bois, brindilles, cailloux) dans les produits conditionnés (ce qui demande un tri et un lavage minutieux avant préparation). Il faut aussi mentionner que certains appendices d'insectes (ailes, pattes des Acrididae par exemple) peuvent également constituer un danger pour le consommateur final - des cas malheureux d'ingestion d'épines ayant déjà été signalés pour avoir débouché sur des situations nécessitant une intervention médicale d'urgence.

**Tableau 4.** Matériaux et sources de dangers physiques (Luning & Devlieghere, 2006).

Matériaux	Danger/risque/ blessure potentiels	Sources
Verre	Coupures, saignements, une intervention chirurgicale peut être nécessaire pour sa	Bouteilles, lampes, ustensiles, pots
Bois	Coupures, étouffement, une intervention chirurgicale peut être nécessaire	Champs, terres, coffres, boîtes, bâtiments
Pierres	Etouffement, fracture de dents	Champs, bâtiments
Métaux: clou, pièces de machine, clé	Blessures, infection, une intervention chirurgicale peut être nécessaire	Machines, champs, fils, travailleurs
Matériaux plastic	Etouffement, blessure, infection, une intervention chirurgicale peut être nécessaire	Champs, matériaux d'emballage, travailleurs
Effets personnels bijoux, boutons	Etouffement, blessures, une intervention chirurgicale peut être nécessaire	Travailleurs

### 1.4.2. Dangers chimiques

Certains facteurs comme les méthodes de production, les substrats utilisés, l'espèce d'insecte et les méthodes de traitement, peuvent avoir un impact sur la présence éventuelle de contaminants chimiques. C'est ce que rapporte notamment l'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA)<sup>5</sup> dans son avis scientifique sur le profil de risque lié à la production et à la consommation d'insectes destinés à l'alimentation humaine et animale (EFSA, 2015).

En effet, ce rapport de l'EFSA met en évidence divers contaminants environnementaux (métaux lourds, résidus de pesticides, polluants organiques persistants, mycotoxines et toxines d'origine végétale), des biocides, et certains éléments traces (comme le sélénium) susceptibles de contaminer le produit final tout le long de sa chaîne de valeur (production, récolte, transformation, stockage, commercialisation). Cette évaluation du profil de risque associé aux insectes comestibles est en outre largement étayée dans la littérature séminale par des rapports traitant des préoccupations sanitaires relatives aux insectes comestibles (BfR *et al.*, 2019; Devkota & Schmidt, 2000; Gaylor *et al.*, 2012; Green *et al.*, 2001; Lindqvist, 1992; Marshall *et al.*, 2016; Merrington *et al.*, 1997; Zhuang *et al.*, 2009).

#### 1.4.2.1. Métaux lourds et arsenic

Dans son évaluation du profil de risque associé à la consommation et à la production d'insectes comestibles, l'EFSA rapporte notamment que les concentrations de métaux lourds et d'arsenic chez les insectes dépendent des caractéristiques des éléments (et de leurs concentrations dans les substrats), des espèces d'insectes et de leur stade de crois-

<sup>5</sup> EFSA: European Food Safety Authority.

- sance (EFSA, 2015). L'étude rapporte ainsi des cas documentés où certaines espèces d'insectes comestibles (dont *T. molitor*, *R. phoenicis*, *Analeptes trifasciata*) ont accumulé du cadmium ou du plomb en provenance probablement du substrat d'élevage (Banjo *et al.*, 2010; Diener *et al.*, 2011; Finke *et al.*, 2015).

Des faits similaires ont également été rapportés par Handley *et al.* (2007) pour des chapulines (Pyrgomorphidae: Orthoptères). En effet, ces insectes comestibles ont été suspectés d'être la cause de niveaux élevés de plomb dans le sang chez certaines personnes en Californie. Ce lien se base notamment sur une investigation (entre 2001 – 2003) du facteur de risque de plombémie élevée ( $> 10 \mu\text{g/dL}$ ) parmi des enfants et des femmes enceintes de cette communauté qui consommaient des chapulines en provenance du Mexique (Handley *et al.*, 2007).

D'autres cas documentés de pollution par divers métaux lourds - et intéressants à relever - concernent particulièrement les insectes comestibles aquatiques. A titre d'illustration, Zhao *et al.* (2021) rapportent les vives inquiétudes suscitées par des métaux lourds (tels que Hg, Pb, Cd, Cr) détectés dans certaines espèces d'eau douce. En effet, puisque la plupart des métaux présents dans la nature pénètrent dans l'eau - et que l'écosystème aquatique joue un rôle important dans le transfert et la circulation des métaux, les insectes aquatiques sont susceptibles d'absorber des éléments métalliques et d'en accumuler une concentration élevée. Certaines études indiquent même que les larves d'insectes aquatiques - connecteur des chaînes alimentaires aquatiques et terrestres, apportent dans la chaîne alimentaire terrestre des éléments métalliques bio accumulés depuis les stades larvaires jusqu'au stade adulte.

#### **1.4.2.2. Résidus de pesticides**

Les résidus des produits phytopharmaceutiques utilisés en protection des cultures soulèvent des préoccupations sanitaires quant à la consommation d'insectes. Saeed *et al.* (1993) par exemple ont mené une investigation sur le risque santé lié à la consommation de criquets (Acrididae, Orthoptères) à l'issue d'une invasion acridienne au Koweït. Ces auteurs en sont arrivés à la conclusion que les quantités de résidus de certains pesticides chlorés (Lindane, BHC<sup>6</sup>, Aldrine) étaient relativement faibles; mais que celles de pesticides phosphorés (Sumithion, Malathion) étaient significatives – l'ingestion d'insectes traités représentant ainsi un risque significatif sur la santé, au regard de la toxicité avérée de ces produits de synthèse (Saeed *et al.*, 1993).

Dans le même ordre d'idées, de nombreuses autres espèces d'insectes ravageurs des cultures - mais récoltées dans la nature puisque considérées comme aliments en Afrique ou ailleurs dans le monde, sont également susceptibles de contenir des quantités significatives de résidus de pesticides (Babarinde *et al.*, 2021; Banjo *et al.*, 2006; Murefu *et al.*, 2019; van Huis, 2013). Même si cette problématique est relativement peu documentée, les préoccupations sanitaires sont fondées et justifiées

---

<sup>6</sup> BHC: Benzène hexachloride.

par le fait que ces substances peuvent causer des dommages aux systèmes nerveux et reproducteur humains, interférer avec le fonctionnement normal du système immunitaire ou endocrinien humain et même induire le cancer (Zhao *et al.*, 2021).

#### **1.4.2.3. Toxines produites par ou accumulées dans les insectes**

L'avis scientifique de l'EFSA porte également sur certains composés naturels nocifs qui peuvent être soit synthétisés de manière autonome par les insectes, soit alors accumulés à partir de leurs substrats (EFSA, 2015). En effet, le panel de mécanismes de défense naturelle des insectes est relativement diversifié : certaines espèces d'insectes peuvent arborer une livrée aposématique bien caractéristique des toxines qu'elles produisent – avertissant ainsi les éventuels prédateurs de leur toxicité (Zagrobelny *et al.*, 2009), alors que d'autres (comme *Murgantia sp.*) sont capables de séquestrer des toxines végétales (des glucosinolates en l'occurrence) qui les rendent moins appétissantes pour leurs prédateurs naturels (Aliabadi *et al.*, 2002). Certaines autres espèces d'insectes peuvent produire des (benzo)quinones (à l'exemple des représentants de Tenebrionidae), voire des glucosides cyanogènes (des représentants du genre *Zygaena* notamment) (Brown *et al.*, 1992; Crespo *et al.*, 2011).

Selon qu'ils possèdent ou pas des organes pour synthétiser et délivrer leurs toxines, les insectes sont globalement regroupés en deux catégories : (i) les espèces phanérottoxiques qui possèdent des appendices adaptés à ces fonctions et, (ii) les espèces cryptotoxiques qui n'en possèdent pas, mais sont toxiques après ingestion - les cryptotoxines étant soit stockées dans des structures spécifiques, soit diffusées dans différentes parties de leur corps. En raison des préoccupations sanitaires soulevées par ces différents contaminants, davantage d'efforts devraient être consentis afin de garantir des produits plus sûrs pour le consommateur final (EFSA, 2015).

#### **1.4.2.4. Facteurs antinutritionnels**

La présence de divers facteurs antinutritionnels (acides aminés toxiques, saponines, glycosides cyanogènes, tanins, phénols, acide phytique, gossypol, oxalates, lectines, inhibiteurs de protéase, acide chlorogénique et inhibiteurs d'amylase) est relativement bien documentée pour un certain nombre d'aliments d'origine végétale et animale (Akande *et al.*, 2010). En effet, s'agissant par exemple des céréales, Selosse (2022) rapporte notamment que l'histoire de leur domestication était, à l'origine, une malbouffe dans l'histoire de l'humanité – les graines de ces graminées ayant la particularité d'être remplies d'amidon, avec des réserves de phosphates sous forme de phytates (molécules polyanioniques qui retiennent les cations comme le Ca, Fe, Mg). Cette interférence des phytates avec divers micronutriments et sels minéraux a entraîné des processus de déminéralisation aboutissant *in fine* à une réduction de la masse osseuse et de la taille au sein des populations européennes du Néolithique (Selosse, 2022).

La présence de facteurs similaires est également rapportée chez un certain nombre d'espèces d'insectes - un des cas relativement bien connu étant celui d'*Anaphe panda*.

En effet, la consommation de ce Notodontidae au Nigéria a été associée à un syndrome ataxique saisonnier causé par une déficience en thiamine (Belluco *et al.*, 2013; Nishimune *et al.*, 2000). Dans le même ordre d'idées, Ekop *et al.* (2010) rapportent la présence de facteurs antinutritionnels (acide cyanhydrique - HCN, oxalates, acide phytique et tannins) dans quelques espèces d'insectes comestibles consommées en Afrique, tout en signalant par ailleurs des concentrations inférieures au seuil de référence pour les produits alimentaires (Tableau 5).

Pour leur part, Chakravorty *et al.* (2016) signalent chez *Oecophylla smaragdina* et *Odontotermes sp.*, (i) de l'acide phytique à des concentrations relativement inférieures à celles rapportées pour le blé, le maïs, le riz, l'avoine, le seigle, le millet, le sorgho, le haricot noir (ou vert), la lentille, l'igname et le niébé, (ii) des tannins à des concentrations relativement inférieures à celles rapportées pour plusieurs autres aliments (dont le mil, le sorgho, la fève, la coriandre, la menthe et le persil). Les risques sanitaires associés à la présence de composés antinutritionnels sont particulièrement préoccupants pour les personnes ayant une alimentation pauvre, caractérisée par des sources limitées en vitamines et nutriments. Ils peuvent cependant être significativement atténués par des traitements appropriés (Belluco *et al.*, 2013).

**Tableau 5.** Facteurs antinutritionnels (mg/kg) chez quelques insectes comestibles

Espèces	HCN	Oxalates (total)	Oxalate soluble	Phytates	Tannins
<i>G. lukens</i>	2,19	13,20	8,80	0,28	0,33
<i>H. meles</i>	2,73	28,40	22,00	0,28	0,38
<i>R. phoenicis</i>	2,42	17,60	13,20	0,29	0,41
<i>Z. variegatus</i>	3,20	26,40	8,80	0,28	0,43
<i>O. smaragdina</i> *	-	-	-	496,67	171,00
<i>Ondontotermes sp</i> *	-	-	-	615,00	141,23
<i>C. forda</i> *	-	4,11	-	1,02	-

\* Les valeurs correspondantes sont rapportées en g/100 g

Sources : Ekop *et al.* (2010), Chakravorty *et al.* (2016), Omotoso (2006).

### 1.4.3. Risques microbiologiques

S'agissant des insectes comestibles, deux types de microbiotes sont considérés comme potentiels dangers biologiques pour l'homme : (i) ceux qui sont autochtones, intrinsèquement associés aux insectes dans le cadre de leur mode de vie et, (ii) ceux

qui sont allochtones, introduits à un moment donné dans le processus de production (élevage, transformation - puis transportés par la suite dans le reste de la chaîne) (EFSA, 2015; Garofalo *et al.*, 2019).

#### **1.4.3.1. Microbiotes autochtones**

Dans les environnements sauvages (ou en conditions d'élevage), les insectes sont naturellement associés à une communauté microbienne complexe (champignons, bactéries, archées, protozoaires et virus - compris) qui couvre le spectre symbiotique allant du mutualiste au pathogène. Aussi, pour certaines espèces d'intérêt zootechnique, ce microbiome a été caractérisé. Liu *et al.* (2011) par exemple rapportent que *T. molitor* héberge plus de huit genres de bactéries différentes (dont *Actinobacillus*, *Citrobacter*, *Serratia*, *Bacillus*, *Dermabacter*, *Clavibacter*). Ulrich *et al.* (1981) rapportent pour leur part différents genres de bactéries (dont *Citrobacter*, *Klebsiella*, *Yersinia*) hébergées par *A. domesticus* – ces microorganismes pouvant avoir des rôles actifs et importants dans la digestion des glucides, des protéines et des lipides chez ces insectes (Kaufman & Klug, 1991). D'autres études indiquent également la présence de plusieurs moisissures (dont *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Penicillium*) chez *I. belina* - une espèce de Lépidoptères couramment consommée à travers l'Afrique (Tableau 6) (Garofalo *et al.*, 2019; Kooh *et al.*, 2019).

Ces microbiotes naturellement présents dans (ou sur) les insectes sont globalement considérés comme inoffensifs pour les consommateurs humains. Ils ne sont pas non plus connus pour être des causes fréquentes de détérioration des aliments - un grand nombre d'entre eux se retrouvant d'ailleurs dans d'autres environnements de production et de transformation d'aliments. C'est ce que rapportent notamment Marshall *et al.* (2016), auteurs qui rappellent également la pertinence d'une meilleure caractérisation du microbiome interne des insectes comestibles – ces invertébrés étant souvent utilisés entiers, avec leur système digestif et son contenu (EFSA, 2015; Kooh *et al.*, 2019).

#### **1.4.3.2. Microbiotes allochtones**

Dans son évaluation du profil de risque sanitaire associé aux insectes destinés à l'alimentation humaine ou animale, l'EFSA (2015) signale que les risques biologiques d'origine exogène dépendent d'un certain nombre de facteurs de production tels que les aliments, les substrats utilisés ou les environnements d'élevage. Le rapport de l'EFSA met ainsi en évidence des préoccupations sanitaires majeures, notamment celles en rapport avec les contaminants biologiques suivants :

- (a) *Prions* – A ce jour, l'existence de prions ou de gènes codant pour des protéines apparentées aux prions chez les insectes n'a pas encore été signalé, ce qui suggère que les insectes pourraient ne pas avoir le potentiel d'agir en tant que vecteurs ou amplificateurs de prions humains/animaux (Kooh *et al.*, 2019). Par conséquent, les préoccupations sanitaires sont surtout associées à la vection mécanique de prions présents dans les substrats d'élevage (EFSA, 2015).

- (b) *Virus* – De nombreux virus entomopathogènes attaquent les insectes dans leurs milieux naturels, certains d'entre eux (*baculovirus*, *densovirus*, *polyédrose nucléaire*) ayant même été mis à profit dans les stratégies de contrôle biologique des ravageurs invertébrés. Ces virus affichent généralement une grande spécificité à la famille ou à l'espèce cible (Dicke *et al.*, 2020). Ils ne sont par conséquent potentiellement pathogènes que pour d'autres invertébrés, et inoffensifs pour les humains en particulier (EFSA, 2015; Kooh *et al.*, 2019). Soit dit en passant qu'en raison de l'émergence de la pandémie (COVID-19), le risque que les sources animales de protéines soient des vecteurs de transmission des coronavirus a été évalué. S'agissant précisément des insectes comestibles, Dicke *et al.* (2020) rapportent que le risque qu'ils soient vecteurs de transmission du SRAS-CoV-2 est extrêmement faible. Dans le même ordre d'idées, malgré que quelques virus - comme les densovirus (Parvoviridae) ou des Picornavirales causant des infections chez les criquets (Orthoptères), soient taxonomiquement proches d'autres virus pathogènes aux humains, les préoccupations soulevées quant à la possibilité de franchissement de la barrière entre vertébrés/invertébrés sont à l'heure actuelle relativement apaisées. En effet, des expérimentations menées avec des densovirus prélevés sur des criquets ont démontré que ces virus ne peuvent pas se répliquer dans les cellules des organismes vertébrés.
- (c) *Bactéries* – Des bactéries potentiellement pathogènes aux humains (*Vibrio*, *Streptococcus*, *Staphylococcus*, *Clostridium*) ont été identifiées sur certaines espèces d'insectes comestibles commercialisées en Asie (Thaïlande). D'autres genres pathogènes (*Campylobacter*, *Bacillus*, *Staphylococcus*, *Neisseria*, *Pseudomonas*) hébergés par *R. differens* (Orthoptères) ont été également rapportés en Uganda. Ces données s'alignent d'ailleurs à celles rapportées à travers l'Afrique pour plusieurs espèces d'insectes (*Bunaea alcinoe*, *R. phoenicis*, *C. forda*, *I. belina*, *L. migratoria*) (Tableau 6) récoltées dans leurs environnements naturels pour être consommées soit crues, soit transformées suivant les techniques traditionnelles. Toutefois, s'agissant des risques sanitaires encourus par le consommateur final, la documentation disponible suggère notamment que les bactéries entomopathogènes sont relativement inoffensifs aux humains (van Huis *et al.*, 2013), et que les risques de transmission des bactéries, tout comme les préoccupations sanitaires associées, peuvent être atténuées par des BPs d'hygiène et par des méthodes des traitements post-production appropriées (EFSA, 2015).



**Tableau 6.** Champignons et bactéries identifiés sur quelques espèces d'insectes provenant d'Afrique (Garofalo *et al.*, 2019)

Espèce d'insectes	Origine	Type traitement	Méthodes d'analyse	Microbial counts (log cfu/g)	Champignons	Bactéries
<i>Imbrasia belina</i>	Sauvage	Entier, bouilli, séché	Méthodes phénotypiques et physiologiques, Viable counts	Levures (contenu intestinal : 1.3-3.7) Moisissures (contenu intestinal : 1.0-2.3)	<i>Alternaria alternata</i> , <i>Aspergillus niger</i> , <i>A. flavus</i> , <i>A. parasiticus</i> , <i>Aspegillus sp.</i> , <i>Cladosporium sphaerospermum</i> , <i>Mucor spp.</i> , <i>Penicillium spp.</i> , <i>Fusarium spp.</i> , <i>Trichoderma viride</i>	n. d.
	Sauvage et marchés	Frais; prêt à manger; traité en laboratoire (vidés et bouillis)	Méthodes phénotypiques et physiologiques, Viable counts	Aérobies mésophiles totaux (frais : 3.6-8,3); Aérobies mésophiles totaux (prêt à manger : 3.6-8.3); Aérobies mésophiles totaux (traité en laboratoire : 2.0-3.3)	<i>Aspergillus spp.</i> , <i>Phycomycetes</i> , <i>Penicillium spp.</i> , <i>Chaetomium spp.</i> , <i>Fusarium spp.</i> , Champignons dématiés.	<i>Arthrobacter spp.</i> , <i>Bacillus spp.</i> , <i>Flavobacterium spp.</i> , <i>Pseudomonas spp.</i> , <i>Xanthomonas spp.</i>
<i>Bunaea alcinoe</i>	Sauvage	Frais	Méthodes phénotypiques et physiologiques, Viable counts	Aérobies mésophiles totaux (5.7-6.9); Champignons (6.1-6.3)	n. d.	<i>Staphylococcus spp.</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Bacillus spp.</i> , <i>Micrococcus spp.</i> , <i>Acinetobacter spp.</i>
	Sauvage	Transformé (évidé, lavé, épicé, salé, rôti et séchées au soleil)	Méthodes phénotypiques et physiologiques (MPP), Viable counts	Aérobies mésophiles totaux (7.6) Champignons (6.9)	<i>Aspergillus niger</i> , <i>Penicillium caseiocolum</i> , <i>Fusarium moniliforme</i> , <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	<i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Bacillus cereus</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Proteus mirabilis</i> , <i>Streptococcus mitis</i>
<i>Cirina forda</i>	Marchés	Séché, séché au soleil et en poudre	MPP, viables counts	Aérobies mésophiles totaux (3.3-3.6) Moisissures (< 1,5)	<i>Mucor spp.</i> , <i>Aspergillus niger</i> , <i>Rhizopus spp.</i>	<i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Salmonella spp.</i> , <i>Proteus spp.</i> , <i>Micrococcus spp.</i>

\* n. d.= "pas de données" ; n. r. = "non précisé".

**Tableau 6. Suite**

Espèce d'insectes	Origine	Type traitement	Méthodes d'analyse	Microbial counts (log cfu/g)	Champignons	Bactéries
<i>Rhynchophorus phoenicis</i>	Marchés	Frais et frit	Isolation, méthodes phénotypiques et physiologiques,	n. r.	n. d.	Frais : <i>Bacillus spp.</i> , <i>Enterobacter spp.</i> , <i>Serratia spp.</i> , <i>Staphylococcus spp.</i> Frit: <i>Bacillus spp.</i> , <i>Staphylococcus spp.</i>
	Marchés	Rôti	Viable counts, isolation, méthodes phénotypiques et physiologiques,	Aérobies mésophiles totaux (AMT) (6.8) Champignons (1.0-1.8)	<i>Aspergillus niger</i> , <i>Rhizopus spp.</i> , <i>Mucor spp.</i>	<i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Bacillus cereus</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Enterococcus faecalis</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i>
<i>Locusta migratoria</i>	Marchés	Frais	Comptages viables, séquençage haut débit	Aérobies mésophiles totaux (7,8- 8.6); Entérobactéries (7.1-7.6); Bactéries lactiques (7.6-8.5); Endospores bactériennes (3.3-3.8); Levures et moisissures	n. d.	<i>Weissella spp.</i> , <i>Lactococcus spp.</i> , <i>Yersinia/Rahnella spp.</i> , <i>Enterococcus spp.</i> , <i>Klebsiella/Enterobacter spp.</i> , <i>Pseudomonas spp.</i> , <i>Haemophilus spp.</i>
	n. d.	Entier, bouilli et séché	AMT: (3,9- 2.4) Entérobactéries (< 2,0) Bactéries lactiques (2.1-2.0) Spores de <i>Clostridium perfringens</i> (< 2.0) Levures (< 2,0) Moules (2.0-2.1)	n. r.	n. d.	<i>Listeria spp.</i> , <i>Lachnospiraceae</i> , <i>Ruminonocaceae</i> , <i>Enterobacteriaceae</i> , <i>Pseudomonadaceae</i> , <i>Enterococcus spp.</i> , <i>Pediococcus acidilactici</i> , <i>Weissella spp.</i> , <i>Staphylococcus spp.</i>

\* n. d.= "pas de données" ; n. r. = "non précisé".

(d) *Champignons* – Des centaines d'espèces de champignons entomopathogènes sont connues pour causer des mortalités importantes dans les environnements d'élevage d'insectes, certaines d'entre elles (*Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Entomophthora sp.*) étant efficacement utilisées comme agents de bio-contrôle (Kooh *et al.*, 2019). Globalement, ces champignons sont des pathogènes spécifiques aux insectes et ne soulèvent pas de préoccupations sanitaires pour les vertébrés (EFSA, 2015). Toutefois, des cas de maladies associées aux champignons entomopathogènes ont été observés chez des personnes immunodéprimées. En outre, il convient de relever que les insectes peuvent être porteurs de levures et de divers champignons mycotoxinogènes potentiellement dangereux pour les humains (Tableau 6). Des études récentes ont rapporté que les mycotoxines ajoutées dans le substrat d'élevage pouvaient contaminer les insectes produits sur ces matrices (Camenzuli *et al.*, 2018; Kooh *et al.*, 2019). L'EFSA rappelle à cet effet l'importance des BPs dans l'ensemble de la chaîne de production, et la nécessité d'une documentation suffisante des effets des toxines fongiques sur les humains afin d'atténuer les risques sanitaires associés aux insectes comestibles (EFSA, 2015).

#### 1.4.4. Risques parasitaires

Les organismes multicellulaires parasites sont, avec les microorganismes, à l'origine des principaux risques biologiques associés à la consommation d'insectes (Belluco *et al.*, 2013). Les études menées pour documenter cette problématique ont mis en évidence une diversité relativement importante (*Nosema spp.*, *Cryptosporidium spp.*, *Greagrine spp.*, *Entamoeba spp.*, *Cestoda spp.*, *Steinernema spp.*, *Acanthocephala spp.*, *Pentastomida*, *Acaridae*) (Tableau 7).

**Tableau 7.** Nombre de cas, type/espèce et stades de développement de quelques parasites

Parasite (stade de développement)	Insectes comestibles		<i>T. molitor</i>		<i>A. domesticus</i>		<i>L. migratoria</i>	
	Tube digestif	Reste du corps	Tube digestif	Reste du corps	Tube digestif	Reste du corps	Tube digestif	Reste du corps
<i>Nosema spp.</i> (spores)	-	-	74	-	125	-	-	-
<i>Cryptosporidium spp.</i> (oocysts)	31	10	5	2	13	4	-	-
<i>Gregarine spp.</i> (oocysts, sporozoites)	99	-	72	-	180	-	-	-
<i>Isospora spp.</i> (oocysts)	3	12	1	8	1	15	-	-
<i>Balantidium spp.</i> (amoeba, cysts)	1	14	-	-	5	14	-	-
<i>Entamoeba spp.</i> (amoeba, cysts)	3	11	-	-	1	9	-	-
Cestoda (eggs, cysticercoïds)	8	22	-	4	2	15	-	-
<i>Gordiidae spp.</i> (cysts, juveniles)	-	-	-	-	16	-	-	-
<i>Pharyngodon spp.</i> (L3 larvae)	-	13	-	-	-	-	-	-
<i>Physaloptera spp.</i> (L3 larvae)	-	19	-	4	-	17	-	-
Thelastomatidae (adult forms, eggs) -	-	-	47	-	31	-	-	-
<i>Steinernema spp.</i> (adult forms)	-	-	-	11	-	17	-	-
<i>Acanthocephala spp.</i> (cystacanths)	-	2	-	-	-	-	-	-
<i>Acaridae</i> (eggs, nymphs, adult forms)	4	80	-	-	1	31	-	-

Source : Gałęcki & Sokół (2019) – traduction.

Gałęcki & Sokół (2019) par exemple ont réalisé une investigation sur des échantillons de quelques espèces d'insectes comestibles (dont *T. molitor*, *A. domesticus*, *L. migratoria*) en provenance de 300 fermes et animaleries de plus de six pays (Allemagne, Madagascar, Ukraine, Lituanie, Slovaquie, Pologne notamment). Ces auteurs rapportent ainsi que des parasites ont été détectés dans 244 des 300 élevages d'insectes examinés : (i) dans 206 (68,67%) des cas, les parasites identifiés étaient pathogènes pour les insectes uniquement ; (ii) dans 106 (35,33 %) des cas, les parasites étaient potentiellement pathogènes pour les animaux et ; (iii) dans 91 (30,33%) des cas, les parasites étaient potentiellement pathogènes pour l'homme (Tableau 7).

Dans la même lancée, les auteurs précités rapportent aussi que le risque d'infection par certains parasites dépend de l'origine géographique des insectes (Afrique, Asie ou Europe) ou du contact (direct ou indirect) avec d'autres animaux. Ils signalent également (i) une fréquence élevée de certains parasites (*Nosema spp.*, *Entamoeba spp.*, *Gordius spp.*, *Cryptosporidium spp.*) chez les fermes dont le cheptel est approvisionné par d'autres fermes et, (ii) un risque d'infection important (par *Gregarine spp.*, *Steinernema spp.*, *Entamoeba spp.*) chez les insectes nourris avec des déchets de cuisine ou des sources d'aliments collectés localement (comparativement aux insectes nourris avec des produits frais ou spécialisés).

#### **1.4.5. Risques allergiques**

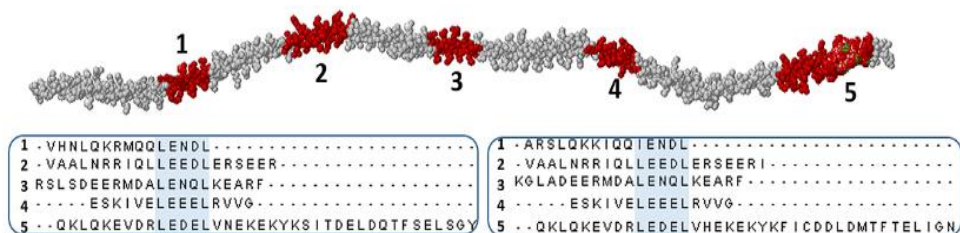
Dans son rapport d'évaluation du profil de risque associé aux insectes destinés à l'alimentation humaine ou animale, l'EFSA mentionne que ces invertébrés peuvent également provoquer des réactions allergiques se traduisant par l'eczéma, la rhinite, la conjonctivite, l'œdème de Quincke et l'asthme bronchique (EFSA, 2015). Toutefois, les cas d'allergies spécifiquement associés à ces représentants d'Arthropodes sont relativement peu fréquents et ne représentent qu'une faible proportion (en comparaison aux 90% des cas causés essentiellement par huit aliments d'origine animale et végétale : lait, œufs, poisson, crustacées, fruits de mer, arachide, noix, soja et blé) (Downs *et al.*, 2016; Sicherer & Sampson, 2010).

Face à la nécessité de répondre aux préoccupations sanitaires associées aux potentiels allergènes des insectes comestibles, deux types de scénarios sont à distinguer: (i) les allergies spécifiquement provoquées par des insectes (c.à.d. l'individu ne présente pas d'allergie préalable associée à d'autres invertébrés) et, (ii) les allergies croisées (scénario dans lequel un individu préalablement allergique à des espèces taxonomiquement apparentées, réagit aux allergènes des insectes) (Downs *et al.*, 2016). Dans le premier scénario, l'introduction d'insectes en tant qu'aliments (ou ingrédients alimentaires) sensibilise les individus eux-mêmes et provoque la réaction allergique. Ce type d'allergie est relativement bien documenté dans les régions du monde où les insectes comestibles sont courants (Downs *et al.*, 2016).

A titre d'exemple, Ji *et al.* (2008) rapportent qu'en Chine, la consommation de chrysalides de *B. mori* serait à la base de plus de 1000 cas de réactions anaphylactiques

et de dizaines de visites d'urgence par an. [Downs et al. \(2016\)](#) rapportent également que sur 358 cas d'anaphylaxie d'origine alimentaire compilés, 54 ont été attribués aux Orthoptères (criquets, sauterelles), 6 aux Lépidoptères (dont *B. mori* et *Clanis bilineata*), et 2 autres aux nymphes d'abeille (Hyménoptères) et de cigale (Homoptères). Par ailleurs, un certain nombre de réactions allergiques provoquées par contact ou par inhalation d'allergènes d'insectes sont également rapportées, notamment chez des personnes travaillant dans la production de certaines espèces d'insectes (comme *T. molitor*, *G. mellonella*, *Dactylopius coccus*), ou dans la fabrication de produits à base d'insectes et d'additifs dérivés d'insectes (tel que le carmin – E120) ([Caparros Megido et al., 2015](#); [Downs et al., 2016](#)).

Le second scénario s'inscrit pour sa part dans le contexte d'une réactivité croisée entre les insectes ingérés et les espèces phylogénétiquement proches auxquelles la personne est allergique. Des protéines immunogéniques et autres allergènes homologues entre les insectes et d'autres arthropodes (comme les crustacés), voire des mollusques peuvent y être impliquées ([Downs et al., 2016](#)) – certaines des plus courants étant la tropomyosine (principal pan-allergène responsable de la réactivité croisée) ([Figure 7](#)), l'arginine-kinase, la troponine C, l'alpha amylase, la chaîne lourde de myosine et la chitine ([Caparros Megido et al., 2015](#); [Downs et al., 2016](#); [Francis et al., 2019](#); [Imathiu, 2020](#)). Compte tenu de cette homologie entre les allergènes d'insectes et des crustacés, les personnes allergiques aux crustacés qui ingéreraient des produits à base d'insectes, s'exposeraient au risque de manifester des réactions allergiques relativement graves. De telles préoccupations sanitaires justifient la nécessité d'un certain nombre de réglementations - en particulier celles relatives à l'étiquetage des produits à base d'insectes et de potentiels allergènes ([Francis et al., 2019](#)).



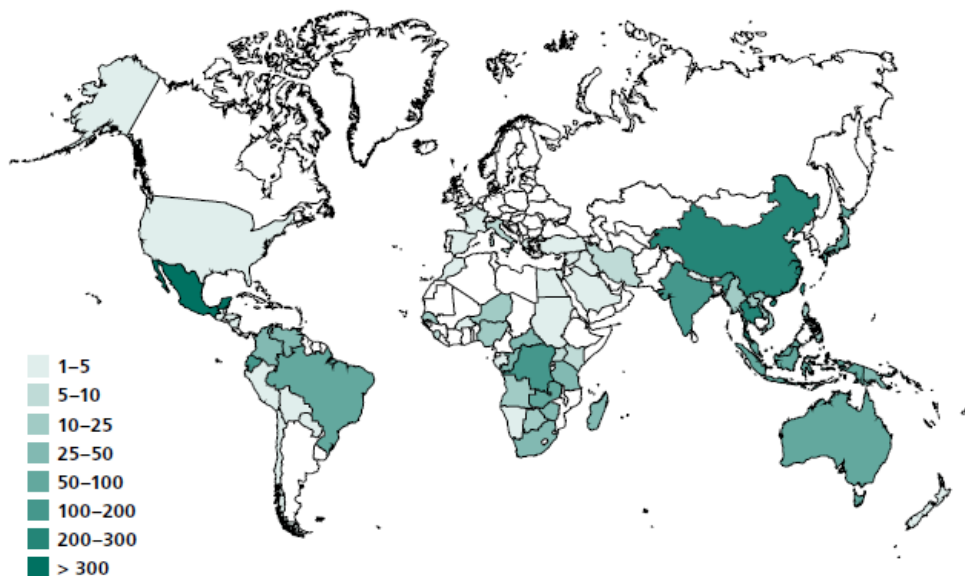
**Figure 7.** Régions répétées de la tropomyosine de crevette (*Penaeus aztecus*) – à gauche, et de la blatte américaine (*Penaeus sp.*) – à droite. Cinq régions avec des séquences d'acides aminés similaires ont été identifiées dans la tropomyosine de crevette ([Ayuso et al., 2002](#)) et sont surlignées en rouge sur la structure de la tropomyosine. On pense que les régions répétées sont essentielles pour le rôle structural de la tropomyosine. Ces régions sont également présentes dans la tropomyosine de cafard. Les séquences d'acides aminés présentes dans ces régions sont indiquées, les régions répétées étant mises en évidence. Dans chaque région répétée, trois résidus d'acides aminés avec une charge globale négative, par exemple, l'acide glutamique (E) ou l'acide aspartique (D) sont contenus dans une paire de résidus hydrophobes [ici l'isoleucine (I) ou la leucine (L)].  
**Source :** [Downs et al. \(2016\)](#) – traduction.

## 1.5. Entomophagie : Insectes et Biodiversité

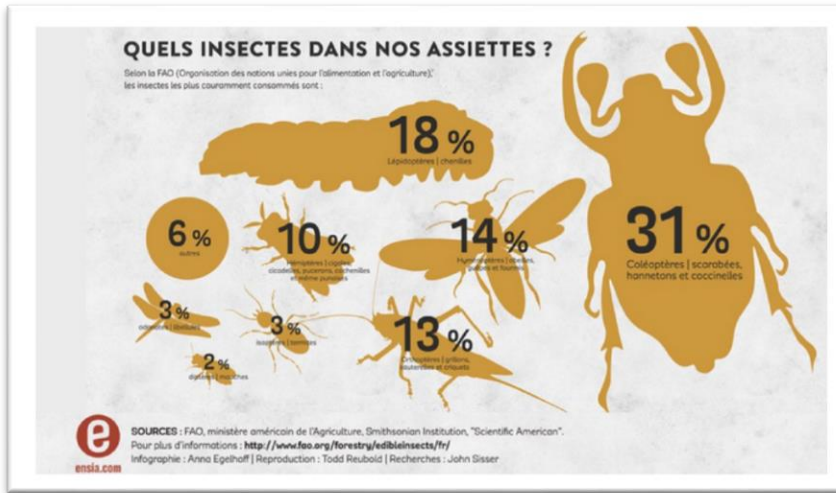
### 1.5.1. Diversité d'espèces comestibles

Sur base de certaines estimations, les insectes comestibles feraient partie des repas traditionnels dans 130 pays, nourrissant ainsi près de 2 milliards de personnes (van Huis *et al.*, 2013). Toutefois, la littérature séminale en rapport avec la biodiversité entomologique servant comme aliment pour l'homme n'est pas unanime quant au nombre d'espèces d'insectes comestibles à l'échelle mondiale - certains chiffres (globalement admis) suggérant environ 2000 espèces (Figure 8), dominées respectivement par les ordres des Coléoptères, Lépidoptères, Hyménoptères, Orthoptères, Hémiptères et des Isoptères (DeFoliart, 2002; Francis *et al.*, 2019; Jongema, 2017, Mitsuhashi, 2016).

Il convient néanmoins de garder à l'esprit que ces chiffres ne sont qu'approximatifs car ils varient significativement entre zones géographiques, en fonction d'un certain nombre de facteurs comme les pratiques alimentaires, la culture, les latitudes et la disponibilité de la ressource. En effet, même si de grands efforts ont été fournis ces dernières années pour inventorier la biodiversité entomologique disponible à l'échelle mondiale, les chiffres définitifs restent (et resteront encore pour un moment) hors de portée. La raison est en partie liée au fait que l'importante biodiversité de ces invertébrés est aussi source de synonymie, de confusions et de révisions qui rendent l'inventaire systématique des taxons d'insectes comestibles peu aisé.



**Figure 8.** Estimations du nombre d'espèces d'insectes consommés par pays  
Source : Center for Geo information, Wageningen University.



**Figure 9.** Estimations des ordres d'insectes couramment consommés

Certains faits, peu documentés, contribuent également à rendre les estimations difficiles. En Afrique sub-saharienne par exemple, avancer des chiffres définitifs quant au nombre d'espèces d'insectes comestibles est difficile pour un certain nombre de raisons (*i*) d'ordre culturel - les savoirs écologiques traditionnels (TEK) qui sous-tendent les pratiques entomophages se transmettent généralement par oralité (et sont par conséquent peu documentés), (*ii*) d'ordre linguistique - polysémie, polynomie et ambiguïté (la plupart des espèces d'insectes comestibles sont identifiées par différents noms vernaculaires en fonction des langues locales utilisées), (*iii*) d'ordre technique - la classification Linnéenne par approche morphologique demande une certaine expertise (qui n'est pas toujours disponible localement) et, (*iv*) de nature sociétale - les TEK s'érodent à force de conflits politiques qui entraînent des migrations humaines forcées (et des déconnexions à l'héritage culturel).

## 1.5.2. Cas du modèle d'insecte

### 1.5.2.1. Bref aperçu

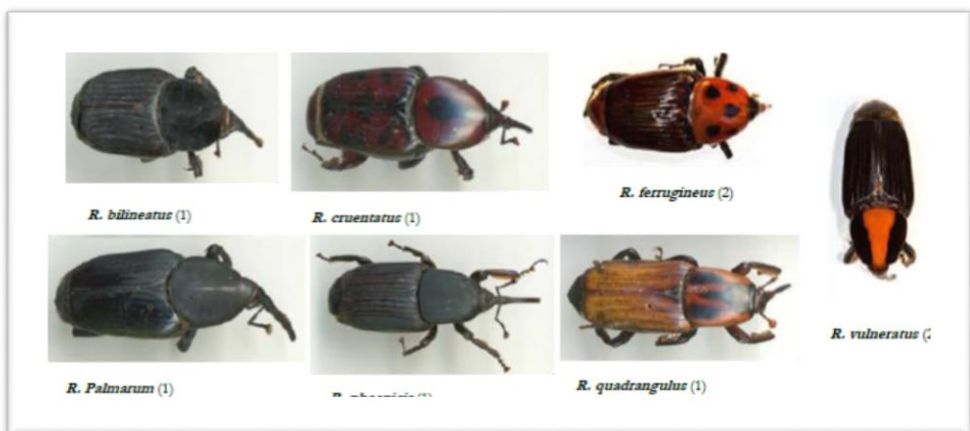
Le charançon africain du palmier, *Rhynchophorus phoenicis* (F.) (Coléoptères : Dryophthoridae), ravageur relativement bien connu de plusieurs espèces végétales, est également l'une des principales espèces d'insectes consommées à travers le continent Africain. Les données actuellement disponibles rapportent que l'insecte est hautement recherché pour sa valeur économique et apprécié pour sa saveur - ses larves entrant dans plusieurs préparations traditionnelles au Cameroun, au Nigéria, au Congo-Brazzaville, en Côte d'Ivoire, en République Centre-Africaine, au Togo, à São Tomé-et-Principe, en Guinée, au Niger, au Libéria, au Bénin, en Angola et en RDC (Ebenebe *et al.*, 2020; van Huis *et al.*, 2013; Kelemu *et al.*, 2015; Nsevolo & Theeten, 2015; Nsevolo *et al.*, 2016; Mabossi-Mobouna & Malaisse, 2020; van Huis, 2020).

Comme ses congénères foreurs de palmiers, *R. phoenicis* est membre d'une des sept lignées naturelles au sein des 'Curculionidae' *sensu lato*, les Dryophthoridae - connus pour leurs dommages sur les palmiers (ornementaux ou à usage alimentaire) (Giblin-Davis *et al.*, 2013). Le genre *Rhynchophorus* a une distribution tropicale/subtropicale, avec des représentants en Asie (*R. ferrugineus*, *R. lobatus*, *R. distinctus*), en Amérique (*R. palmarum*, *R. cruentatus*, *R. ritcheri*) et en Afrique (dont *R. quadrangulus* et *R. bilineatus* qui coexistent avec *R. phoenicis*) (Figure 10) (Giblin-Davis *et al.*, 2013; Wattanapongsiri, 1966).

### 1.5.2.2. Description morphologique

L'histoire du genre *Rhynchophorus* est relativement mouvementée, et marquée par une série de révisions suite au polymorphisme fréquent dans ce taxon d'insectes (Rugman-Jones *et al.*, 2013; Sazali *et al.*, 2018). L'espèce a été succinctement décrite et révisée notamment par Wattanapongsiri (1966), auteur qui a également mis en évidence les principaux caractères morphologiques et anatomiques qui permettent de distinguer *R. phoenicis* de ses congénères (Figure 10).

Selon cet auteur, à l'état adulte, l'insecte mâle mesure entre 28 – 43 mm de long (pour 11 – 16 mm de large). Son corps allongé-ovale, variant du noir au presque rouge, présente un dos brillant (plus foncé que le ventre) et deux bandes longitudinales brun rougeâtre ou acajou sur le thorax. Ses élytres sont fortement striés (5 lignes), son rostre est brun rougeâtre à noir, faisant environ deux tiers de la longueur du pronotum. Vu de profil, le rostre est large à la base et effilé à l'apex ; et vu dorsalement il se rétrécit brusquement jusqu'à l'apex. Ses pièces buccales sont d'un noir brunâtre ; la mandibule faisant presque la moitié de la largeur du rostre à l'apex; le troisième segment maxillaire portant quatre soies courtes distalement. Les larves sont épaisses et apodes, charnues, jaunâtres, de forme presque ovoïde mais un peu arquée, mesurant environ 59 – 64 mm de long (pour 19 – 24 mm de large).



**Figure 10.** *Rhynchophorus* spp. – stade adulte.

Sources : (1) Giblin-Davis *et al.* (2013) ; (2) Rugman-Jones *et al.* (2013).



### 1.5.2.3. *Ecologie*

Les associations écologiques des représentants du genre *Rhynchophorus* avec les Arecaceae (*Cocos nucifera*, *Phoenix theophrasti*, *P. dactylifera*, *P. canariensis*, *Raphia vinifera*, *Metroxylon sagou*, *Elaeis guineensis*, *Borassus sp.*) sont relativement mieux connues que celles avec des Poacées, des Broméliacées, ou avec diverses autres plantes (comme *Annanas sativa*, *Carica papaya*, *Musa sapientum*, *Coelococcus amicarum*) (Monzenga, 2015). L'aire de distribution de cette grande diversité d'hôtes explique (au moins en partie) la distribution quasi-mondiale des représentants de ce taxon d'insectes ravageurs particulièrement polyphages.

### 1.5.2.4. *Reproduction et développement*

Le comportement copulatoire chez *Rhynchophorus* a été observé en conditions d'élevage (insectarium), puis documenté. Wattanapongsiri (1966) rapporte par exemple que "... les insectes s'accouplaient à n'importe quel moment de la journée, le matin et aussi en fin d'après-midi. Cinquante pour cent des charançons se sont accouplés dès leur émergence. Le mâle suivait la femelle partout où elle allait, tapotant occasionnellement les élytres de la femelle avec ses antennes. Après plusieurs minutes, le mâle monta sur la femelle. La copulation a eu lieu de 15 à 30 secondes seulement et plus d'une fois". Ces rapports sont également corroborés par Hagley (1965) en ces termes "... l'accouplement pouvait commencer 12 à 24 heures après l'émergence et avait lieu par la suite à n'importe quel moment du jour et de la nuit. Les mâles restaient souvent montés sur le dos des femelles pendant 30 à 40 minutes, période pendant laquelle la copulation se produisait environ quatre à cinq fois".

La ponte se fait soit dans les tissus mous à la base de la gaine foliaire, soit dans les pousses terminales ou dans les coupes pratiquées par l'homme dans le tronc du palmier. Pour cela, la femelle creuse un petit trou pour chaque œuf avec son rostre, puis se retourne et y dépose un œuf (jaunâtre, d'environ 2 – 3 mm). Les œufs (entre 30 à 832/femelles) sont souvent pondus à proximité les uns des autres et mettent 2 à 4 jours pour éclore sous forme de petites larves (blanchâtres ou brun-jaunâtre) apodes de premier stade (Giblin-Davis *et al.*, 2013). Dès émergence, ces larves creusent des galeries à travers les tissus les plus mous, causant ainsi un maximum de dégâts sur la plante-hôte. La durée du stade larvaire s'étale entre 25 à 105 jours (les larves muant de 9 à 20 fois au cours de leur vie) (Wattanapongsiri, 1966).

À maturité, les larves cessent de se nourrir et confectionnent un cocon fait des fibres ou faisceaux vasculaires de la tige qui les entoure (les fibres intérieures sont plus étroitement emmêlées que celles de l'extérieur et disposées en spirale). L'intérieur du cocon est lisse et généralement enduit d'une sécrétion de couleur jaunâtre ou noirâtre. Le cocon est de forme ovale, sa longueur variant de 55 à 110 mm (pour une largeur de 18 à 60 mm). L'adulte qui en émerge est un bon voilier, actif à des heures variables de la journée, capable de parcourir de longues distances (plus de 900 mètres) et de localiser des tiges fraîchement blessées de ses plantes hôtes (Wattanapongsiri, 1966).

#### 1.5.2.5. Zootechnie et nutrition

Malgré sa grande valeur alimentaire et économique en Afrique, *R. phoenicis* est principalement produit en conditions de semi-élevage (les fermiers favorisant l'infestation naturelle des palmiers sauvages pour y récolter des larves après abattage de la plante hôte). L'intérêt alimentaire de *R. phoenicis* a ainsi été le moteur d'un certain nombre d'essais d'élevage, certains étant documentés et disponibles dans la littérature internationale (Thomas *et al.*, 2004; Gnanda, 2018; Monzenga, 2015).

Monzenga *et al.* (2017) par exemple rapportent les résultats de l'évaluation des performances de *R. phoenicis* sur différents types de substrats naturels (troncs de palmiers jeune/vieux, canne à sucre) et sur deux types de diètes artificielles. Ces auteurs concluent que le tronc de palmier (jeune) permet une croissance plus rapide des larves (15 jours contre 35 en moyenne pour les autres), et un taux de survie plus élevé - tout en produisant des larves plus grandes (6,95 g contre 3,4 g en moyenne) que celles de tous les autres traitements. Cette étude ne documente malheureusement pas la problématique cruciale du contenu nutritionnel de ces insectes (en fonction des différents types de substrats/diètes testés et des conditions de croissance), laissant ainsi subsister un certain nombre d'interrogations.

Toutefois, une contribution dans ce sens a été apportée par Mba *et al.* (2018). En effet, ces auteurs ont évalué l'influence des conditions de croissance sur la composition en nutriments de deux morphotypes de larves (jaune/blanc) de *R. phoenicis* récoltées dans la nature, ces données étant comparées à celles des larves produites dans un environnement d'élevage (morphotype blanc). L'étude rapporte notamment que les paramètres morphométriques des larves ainsi que leur contenu et leur composition en lipides ont été influencés par les conditions de croissance - les larves sauvages présentant des paramètres morphométriques plus importants (poids, longueur) et des teneurs en énergie, en lipides, en caroténoïdes et en acides gras totaux plus élevées que les larves issues du système d'élevage.

Par ailleurs, l'étude documente également la problématique de la variation du contenu nutritionnel entre les morphotypes (jaune vs blanc) de *R. phoenicis*, ses résultats indiquant (chez les larves du morphotype jaune), plus d'énergie et plus de lipides (27,7 g/100 g de poids frais vs environ 19,8 g/100 g), moins d'acides gras polyinsaturés (0,5 g/100 g vs 0,8 g/100 g) et des tocophérols (2,25 mg/100 g vs environ 4,5 mg/100 g), mais plus de caroténoïdes (800 µg/100 g vs 280–390 µg/100 g) - expliquant ainsi leur couleur (Mba *et al.*, 2018). L'intérêt alimentaire et la saveur des larves de *R. phoenicis* en font ainsi un produit de grande valeur économique. Ses caractéristiques biologiques et zootechniques le positionnent également comme un excellent candidat à caractériser au regard des perspectives du développement de l'entomoculture en RDC (Monzenga, 2015; 2017; Nsevolo *et al.*, 2016).

# II

---

Objectifs,  
questions et  
stratégies de recherche



## 1. Objectifs et questions de recherche

L'objectif global de la présente recherche doctorale est de documenter l'entomophagie en RDC (en rapport notamment avec les préoccupations relatives à la biodiversité d'insectes comestibles à l'échelle du pays, à la saisonnalité des espèces, et aux particularités des pratiques entomophages à travers les provinces). Par ailleurs, face aux défis alimentaires collectifs, la thèse s'assigne également comme objectifs (i) de documenter le corpus de connaissance sur la valeur nutritionnelle des espèces locales, (ii) d'enrichir la caractérisation phénotypique des populations naturelles de l'espèce modèle (*R. phoenicis*) et, (iii) de mettre en évidence les barrières et les leviers à l'adoption de solutions non familières en rapport avec les insectes comestibles.

Partant des hypothèses (i) de l'existence d'une biodiversité entomologique (et végétale) plus importante que celle rapportée à ce jour, (ii) de la contribution significative des insectes comestibles dans le système alimentaire local, (iii) de la variabilité phénotypique des populations naturelles de l'espèce modèle et, (iv) des dispositions peu favorables face à une offre alimentaire non familière – au regard des réflexes liés à la culture et aux traditions; le présent travail se concentre ainsi sur les questions de recherche suivantes :

- (1) Quelle est la taille de la biodiversité entomologique associée aux pratiques entomophages à l'échelle du pays ?
- (2) Quelle est la contribution de cette biodiversité à la sécurité alimentaire en RDC et à la résilience du système alimentaire ?
- (3) Quel est le profil nutritionnel (en termes de protéines et d'acides aminés) des insectes comestibles commercialisés localement et conditionnés suivant les techniques traditionnelles ?
- (4) Quelle est la variabilité phénotypique de *R. phoenicis* en RDC - au regard des perspectives de son élevage en masse ?
- (5) Quel est le profil des producteurs de *R. phoenicis* et les caractéristiques de leurs pratiques traditionnelles ?
- (6) Quelles sont les dispositions des acteurs (producteurs et commerçants) dans la filière des insectes face à l'adoption d'une offre alimentaire nouvelle et/ou des solutions alternatives de production ?

Par ailleurs, les recherches menées dans la présente thèse se sont inscrites dans les objectifs et activités du Centre Agronomique et Vétérinaire Tropical de Kinshasa (CAVTK)<sup>7</sup>. Ce centre qui est né du besoin d'appuyer les agriculteurs et éleveurs congolais par des conseils techniques et par la recherche appliquée, mène des activités à l'échelle du pays depuis 2002. Il est notamment soutenu par la Région wallonne,

---

<sup>7</sup> Extrait tiré de : <http://labos.ulg.ac.be/cavtk/le-cavtk/>

avec le concours scientifique de la Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux Agro-Bio Tech, de la Faculté de Médecine Vétérinaire de l'Université de Liège (ULiège) – pour la partie belge, de l'Université de Kinshasa (UNIKIN) et de l'Université Pédagogique Nationale (UPN) – pour la partie congolaise. Trois axes d'intervention (production animale, production végétale et innovation) structurent le CAVTK. Sur le terrain à l'échelle du pays, des activités sont implémentées avec l'intervention des universités belges et congolaises à travers cinq pôles d'expertise : (1) Économie, (2) Nutrition animale, (3) Phytopathologie, (4) Santé animale et, (5) Mini-élevage – ce dernier étant celui dans lequel s'inscrit la présente recherche doctorale.

## 2. Stratégies de recherche

Après le **chapitre I** traitant des aspects généraux liés aux insectes comestibles, et le **chapitre II** (en cours) ; le reste du corps de la thèse comprendra trois chapitres (III, IV, V) - sous forme d'articles présentant dans leurs langues d'origine, les résultats des études menées en rapport avec les questions de recherche posées. Ainsi donc, le **chapitre III** (suivant) dresse l'état des lieux de l'entomophagie en RDC, documente les pratiques entomophages (passées et actuelles), et leur contribution à la sécurité alimentaire en réponse aux questions de recherche 1 et 2. Il sera pour ce faire divisé en deux sous-chapitres :

- (i) Le premier (**III.1**) - documente la biodiversité entomologique comestible, la saisonnalité des espèces au niveau national et la diversité des plantes-hôtes associées aux espèces d'insectes sélectionnées. Cette partie documentera également les pratiques entomophages à travers l'espace national, les motivations des consommateurs en faveur des insectes, les modes traditionnels de préparation (ou de transformation) et les défis du secteur. Afin de réaliser un inventaire rigoureux (c.à.d. avec le minimum de redondance possible) des espèces rapportées pour la RDC, la compilation des données secondaires (avec des moteurs de recherche académique) s'est appuyée sur différents outils de recherche documentaire et sur des bases de données taxonomiques<sup>8</sup>. Des données primaires ont également été recueillies (par enquêtes et focus groups) auprès des intervenants de la filière des insectes dans 2 provinces du pays (Kinshasa et Kongo-central). Le jeu de données (primaires et secondaires) ainsi constitué a été analysé et cartographié à l'échelle du territoire national.
- (ii) Le second (**III.2**) - documente les pratiques alimentaires actuelles et la contribution des insectes comestibles à la sécurité et à la résilience du système alimentaire local pendant/après la période de confinement de la capitale (en raison de l'émergence de la COVID-19). Etant donné la rareté

---

<sup>8</sup> Nsevolo, P. (2021). Authoritative Taxonomic Databases for Progress in Edible Insect and Host Plant Inventories. *Biodiversity Information Science and Standards*, 5, e75908. <https://biss.pensoft.net/article/75908/>

de données statistiques sur les consommations alimentaires (produits d'origine animale en particulier), une série d'enquêtes a été réalisée dans les zones urbaines, péri-urbaines et rurales de Kinshasa. L'analyse de ces données a permis de mettre en évidence la place des pratiques entomophages dans les habitudes alimentaires dans la capitale, mais également les inégalités dans l'utilisation des produits carnés entre groupes de consommateurs.

Pour sa part, le **chapitre IV** documente le profil nutritionnel (en termes de protéines et d'AAs) des principales espèces d'insectes pertinentes pour un commerce transfrontalier, mais également la variabilité phénotypique des populations naturelles de *R. phoenicis* - en réponse aux questions de recherche 3 et 4. A cet effet, il sera divisé en deux sous-chapitres :

- (i) Le premier (**IV.1**) – documente le contenu nutritionnel des espèces d'insectes vendues sur les marchés locaux. Pour ce faire, les espèces commercialisées pendant la période d'études ont été collectées, identifiées (grâce à clés dichotomiques et des spécimens de référence) puis analysées (méthodes Dumas - pour la teneur en protéines et HPLC - pour le profil en AAs). Les résultats obtenus ont nourri la discussion sur la qualité nutritionnelle des espèces locales à la lumière des apports nutritionnels conseillés et des recommandations de la FAO/OMS.
- (ii) Le second (**IV.2**) – enrichira le corpus de connaissance sur *R. phoenicis* en rapportant les résultats obtenus à l'issue des analyses morphométriques réalisées sur des spécimens adultes provenant de 3 populations (provinces de Kinshasa, Bandundu et Bas-Congo). Face à la rareté de données et devant la nécessité de renforcer l'expertise locale dans l'identification de cette espèce d'intérêt zootechnique, différentes approches statistiques (ANOVA, ACP, LDA) ont été mises à contribution afin d'aboutir *in fine* à un outil d'identification pertinent et pratique (basé sur une combinaison de caractères morphométriques discriminants).

Quant au **chapitre V**, il documente les pratiques traditionnelles de collecte/production de *R. phoenicis*, ainsi que le profil des semi-éleveurs (fermiers) impliqués. De plus, le chapitre signale également les dispositions exprimées par les intervenants de la filière des insectes comestibles (commerçants et fermiers notamment) à l'endroit des insectes issus d'élevage en masse - en réponse aux questions de recherche 5 et 6. A cet effet, il sera structuré en deux sous-chapitres : (i) le premier – **V.1** rapportera les attitudes des commerçants impliqués dans la filière des insectes face à des produits d'élevage en masse, puis discutera des freins et des leviers à actionner afin de promouvoir une telle offre alimentaire non familière et, (ii) le second – **V.2** dressera d'abord une typologie des fermiers traditionnels intervenant dans la filière de *R. phoenicis*, puis mettra ensuite en lumière leurs dispositions à l'endroit des solutions alternatives de production *ex situ*, pour suggérer *in fine* des pistes pratiques afin d'améliorer l'acceptabilité de l'innovation face à des freins culturels.





# III

---

## Past and current consumption patterns



## Introduction du chapitre

L'imposante biomasse que constituent les insectes comestibles contribue à soutenir la sécurité alimentaire à travers le monde. Preuve en est donné, ces dernières années, par le nombre foisonnant de publications (documents scientifiques ou grand public) traitant de divers aspects liés à ces représentants d'invertébrés. Pour le cas de la RDC cependant, un certain nombre d'aspects majeurs relatifs à l'entomophagie restent encore à ce jour peu documentés - les savoirs traditionnels et les pratiques entomophages étant généralement transmis de manière empirique et par oralité de génération en génération. Par ailleurs, la biodiversité entomologique comestible à l'échelle du pays étant peu caractérisée, des ambiguïtés subsistent pour un grand nombre d'ethno-espèces uniquement identifiées par leurs noms vernaculaires. Non seulement que cette problématique d'identification entrave la valorisation (scientifique, commerciale) de certaines espèces consommées sur le territoire national, elle limite également l'estimation globale de la contribution des insectes comestibles à sécurité alimentaire et nutritionnelle des populations locales.

A côté de ces préoccupations, les défis alimentaires collectifs engendrent pour leur part une pression anthropique sur les ressources naturelles, suscitant ainsi des inquiétudes fondées au sujet de certaines espèces d'insectes comestibles surexploitées en RDC. La durabilité des pratiques traditionnelles de production alimentaire étant interrogée, il convient dès lors (i) de caractériser la diversité des espèces (d'insectes comestibles et de plantes hôtes), et de mettre en évidence les associations écologiques majeures afin d'orienter les stratégies de conservation et de gestion durable ; mais également (ii) de caractériser la filière des insectes au niveau national, ces données devant orienter la réflexion sur les actions à implémenter afin de renforcer le secteur.

Au regard de tout ce qui précède et en s'appuyant sur les questions de recherche 1 et 2 (cf. chapitre II.1.), le présent chapitre a pour objectifs spécifiques (i) de dresser un état des lieux de l'entomophagie en RDC et, (ii) de mettre en évidence la contribution des insectes comestibles à la sécurité alimentaire et à la résilience du système alimentaire local. Il est notamment basé sur les résultats des deux travaux suivants :

**III.1. Nsevolo, M.P.,** Kiatoko, N., Kambashi, M.B., Francis, F. & Caparros Megido, R. (2022a). Reviewing entomophagy in the Democratic Republic of Congo: species and host plant diversity, seasonality, patterns of consumption and challenges of the edible insect sector. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1-20.

**III.2. M.P. Nsevolo,** N. Kiatoko, F. Francis & R. Caparros Megido (*under review*). Could entomophagy contribute to build resilient food system? Insights into insect consumption patterns in Kinshasa (DRC) on the COVID-19's era. *Journal of Insects as Food and Feed*.

### **III.1. Reviewing entomophagy in DRC: species and host plant diversity, seasonality, patterns of consumption and challenges of the edible insect sector**

#### **Abstract**

This paper reviews edible insect species and the host plant diversity associated with them in the Democratic Republic of the Congo (DRC), including their seasonal availability throughout the year. Entomophagy practices are mapped on country scale and nationwide patterns of consumption are explored. Moreover, motives for consumer acceptance (or rejection) of insects as food are reported based on survey data and focus groups. The paper also points out research gaps (concerning notably food-safety risk associated to local species and the effects of processing techniques on nutrient contents or the digestibility of edible insects) and discusses major challenges (as the need for standardization of local units of sale, the implementation of insects-related regulations and field studies supported by expert taxonomic input) for the sustainable development of the edible insect consumption market in the country. The inventory showed that 148 species of insects are consumed in DRC dominated by the orders of Lepidoptera (60.1%), Orthoptera (10.1%), Coleoptera (8.1%) and Hymenoptera (8.1%). Commonalities were observed throughout the country concerning a minority of the insects consumed (these are notably *Rhynchophorus phoenicis*, *Imbrasia epimethea*, *Imbrasia oyemensis*, *Cirina forda*), whereas the consumption of several edible species (e.g., *Afzeliada afzelii*, *Hadraphe ethiopica*, *Rhyopteryx poecilanthus*, *Acanthacris ruficornis*) seems to be restricted to the production areas where they occur, due probably to the absence of a trade system and people's alimentary habits. Furthermore, host plant species for 38 major edible lepidopterans have been inventoried nationwide. Results indicated 122 plant species dominated by 4 families ranked as follows: Fabaceae (34.4%), Phyllanthaceae (10.6%), Meliaceae (4.9%) and Apocynaceae (4.1%). However, given concerns about some host plant species being endangered (*Millettia laurentii*, *Gossweilerodendron balsamiferum*) or critically endangered (*Austranella congolensis*), conservation strategies and methods of mass-rearing are needed. This article contributes to the growing body of knowledge detailing anthropo-entomophagy in DRC.

#### **Keywords**

Insect consumption, host plants, taxonomic databases, food security

## 1. Introduction

According to [FAO et al. \(2021\)](#), hunger and malnutrition have reached critical levels. In 2020, the number of undernourished people in the world (in Africa and in Latin America and the Caribbean notably) continued to rise as the challenges have grown given the COVID-19 pandemic (with its related containment measures) and the global recession it has induced ([FAO et al. 2021](#), [Smith and Wesselbaum 2020](#)). The aforesaid report of the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) also stated that ‘several major drivers have put the world off track to ending world hunger and malnutrition in all its forms by 2030’. This is in agreement with [FAO et al. \(2019\)](#) reporting that ‘with regard to nutrition indicators, we are faring no better. If current trends continue, we will meet neither the 2030 sustainable development goal (SDG) target to halve the number of stunted children nor the 2025 World Health Assembly target to reduce the prevalence of low birthweight by 30 percent’.

The situation is likely to be more severe in Africa where many countries already deal with economic downturns, political instability and episodes of internal conflicts which do not build governance for intensive agriculture production and agriculture investments in the medium and longer term ([Adenle et al. 2018](#), [Evans 2018](#)). Given the lack of food and high poverty rates, both rural and unprivileged urban communities increasingly rely on the forest for their livelihoods ([Hoare 2007](#), [Muvatsi et al. 2021](#)). This quest to satisfy household fundamental needs of energy and protein is unsurprisingly a major cause of deforestation and biodiversity erosion ([Muafor et al. 2015](#)). To reduce these problems driven by food insecurity, traditional food resources, such as non-timber forest products (NTFP), could assume an important role, in particular those which are cheap, eco-friendly, abundant and easily renewable ([Cappelli et al. 2020](#), [Riggi et al. 2016](#)). Among possibilities, edible insects already consumed for decades in many African countries, deserve more attention ([Baiano 2020](#), [Raheem et al. 2019](#), [Van Huis 2020b](#)).

In the Democratic Republic of Congo (DRC), wild insects have been a part in the diets of many ethnic groups for a long time ([Bakondongama et al. 2016](#), [Bocquet et al. 2020](#), [Halloran et al. 2018a](#), [Jongema 2017](#)), but entomophagy (*i.e.*, the practice of eating insects) remains under-documented at national scale. Moreover, though some studies ([Bomolo et al. 2017](#), [Latham 2005](#), [Latham et al. 2021](#), [Lisingo et al. 2010](#), [Looli Boyombe et al. 2021](#), [Malaisse 1997](#), [Malaisse and Parent 1980](#), [Mapunzu 2004](#), [Mbemba 2013](#), [Mbemba and Remacle 1992](#), [Nsevolo et al. 2016](#)) have given insights into edible insect biodiversity in DRC, recent reviews ([Baiano 2020](#), [Hlongwane et al. 2020](#)) gave clear results (in terms of research papers) and showed real opportunities for insect consumption development for sub-Saharan African (SSA) countries except for DRC - though it is one of the world’s prime biodiversity hotspots ([Washington et al. 2013](#)).

To date, the broadest lists of edible insects in DRC have been compiled by [Mitsuhashi \(2016\)](#) and [Jongema \(2017\)](#). In his book dealing with edible insects of the

world (about 2,140 species); the first author cited 98 edible insects identified at species level for DRC. However, his list was hampered by spelling mistakes on some scientific names and redundancy (due to the re-use of synonyms). In his worldwide list of about 1900 edible insects, the second author mentioned 90 species for DRC (by taking more care about alternative taxonomic names and correcting for many synonyms), but the challenge of redundancy still remains. Yet, the number of edible insects across the country is likely to be more substantial because numerous species consumed by the different ethnic groups countrywide have in most cases not been systematically identified (Malaisse 2002). However, to achieve a complete inventory of them would be a herculean task when taking into account at least two compounding challenges.

First, traditional ecological knowledge (TEK) regarding edible species identification, collection or management is empirical and orally shared. Unfortunately, this TEK is being lost because of a backdrop of war and political unrest which leads indigenous people in some regions of the country to make irrevocable changes to their traditional lifestyle (Payne *et al.* 2016a). Secondly, official estimates based on vernacular names (also called ethnospecies) are difficult and unreliable because one vernacular name may cover several scientific names (Djouffa *et al.* 2021, Nsevolo 2016). In fact, Congolese' dialects (with more than 210 living languages) (Lloyd 2010) do not necessary provide descriptions that could be used in scientific knowledge; numerous species being named based on visual features according to the plants they feed on (or the noise they make while feeding) (Bocquet *et al.* 2020, Lisingo *et al.* 2010).

Given the aforementioned challenges, special mention should be made about some studies, expressly Bomolo *et al.* (2017), Latham (2005), Latham *et al.* (2021), Malaisse (1997), Malaisse and Parent (1980) and Mapunzu (2004). These authors gave relevant insight about TEK in their study areas in DRC and documented their lists of edible insect species with scientific names, host plants diversity, methods of gathering, with special reference to vernacular names used for most of identified species. The sustainable use of such data could help address food insecurity issues in DRC, given the cultural appropriateness of insect consumption (Malaisse 1997, Nsevolo *et al.* 2016, Nsevolo and Theeten 2015), the nutritional value of local insect species (Kodondi *et al.* 1987a, Kodondi *et al.* 1987b, Malaisse 2010) and their potential for mass production (Van Huis 2020b, Varelas 2019). In this respect, farming insects for human consumption as initiated by the FAO (Halloran *et al.* 2018a) and formal programs for cataloguing edible insect species countrywide, should be given more attention and support both from the national government and assistance programmes.

This paper aims to contribute to the growing body of knowledge regarding entomophagy (*i.e.*, edible insects and host plants diversity, their seasonal availability, patterns and motives of consumption as well as the challenges of the sector) in DRC. It was hypothesised that on a national scale, the number of edible insect species and host plants - based on Linnaean nomenclature - is broader than compiled to date and

that differences exist between provinces in the entomophagy practice. For the main recorded insect species, information about vernacular names, accepted species names, and alternative taxonomic names used in the literature is provided, along with the list of host plant species. This information, mapped on a national scale, would be useful for enhancing edible insect management, their farming and their sustainable contribution to the welfare of populations in this central African country.

## **2. Study area, search procedure and data analysis**

### **2.1. Study area**

The study focuses on DRC, which is by area the largest country in sub-Saharan Africa (Herderschee *et al.* 2011) and the 4<sup>th</sup> most populous country in Africa (UNFPA 2020), with more than 60% of its inhabitants living in rural areas (Muvatsi *et al.* 2021). Since 2015, a new provincial structure came into effect resulting in 26 provinces subdivided into 145 territories on the political-administrative level (Marivoet *et al.* 2018). However, before 2015, the country had only 11 provinces (correspondence of provinces before and after 2015 is illustrated in Figure S1).

The country, crossed by the Equator and located between the 5° North latitude and 13° South latitude, is divided into four main climatic zones and lines within the inner humid tropical (or equatorial) climatic region. Its key topographic features include diverse reliefs (mountain ranges, high plateaus, a large river basin, a major valley, and a low coastal plain) with an important river network (*i.e.*, the Congo river and its many tributaries and lakes). Most of the country is composed of the central Congo Basin, the center of which is blanketed by an intricate forest system known as the “equatorial rainforest” (Malaisse 1997, Mazamay *et al.* 2020, Oppong and Woodruff 2007).

The Congo Basin - whose role in the planetary circulation and the Earth system is undisputed (Washington *et al.* 2013), is home to numerous species of plants and wildlife (FAO 2006). Unfortunately, its many endemic species of flora and fauna are being affected (Ciza *et al.* 2015, Muvatsi *et al.* 2021) since the country is facing serious development challenges (as the second-largest hunger crisis in the world after Yemen) coupled with environmental problems (*e.g.*, deforestation for mining, wood fuel, overexploitation of natural resources for human food and/or other essential needs) (Voiculet and Pănoiu 2020, von Grebmer *et al.* 2019).

### **2.2. Search procedure**

The primary data presented in this study relied on information gathered and recorded by the first author from a combination of 10 years of field work (regarding farming of edible insect species) and focus groups (with key informants who had indigenous knowledge on local edible insects), as well as on two surveys in April 2012. The first was a survey focusing on consumption patterns of edible insects (*i.e.*, the number of edible insects, peak of availability on markets, stages of insects consumed, modes of preparation and motives) and involved 275 interviewees randomly selected in the capital city Kinshasa. The second (which involved 67 edible insect sellers selected

among the 15 main markets of Kinshasa) was designed to give an overview of the trade of edible insects locally (*e.g.*, prices, seasonal availability, modes of conservation). A part of these data has been published (and the reader should kindly refer to it for further details on methodology) (Nsevolo *et al.* 2016). In addition, a database (giving a preliminary insight of edible insect diversity in the country) implemented with the Global Biodiversity Information Facility (GBIF) and the Royal Museum for Central Africa (RMCA) is available online (Nsevolo and Theeten 2015).

Secondary data (*viz.* nationwide edible insect species, host plants, seasonality, collection and processing techniques) were compiled from literature review about entomophagy practices using bibliographic databases, online public access catalog (OPAC) and academic search systems (Google scholar, PubMed, Web of Science) (Gusenbauer and Haddaway 2020). Keywords and *ad hoc* search strings like ‘anthropo-entomophagy’, ‘food insects’, ‘edible insects’, ‘insect consumption’, ‘diversity of edible insects’, ‘nutrient content of edible insects’, ‘non-timber forest products’, “NTFP”, “non-conventional food”, “underutilized foods” were used in association with keywords like ‘Zaire’, ‘Congo Kinshasa’, ‘DR Congo’, ‘DRC’ or one of the 11 former provinces of the country (such as ‘Katanga’, ‘Equateur’, ‘Bas-Congo’, ‘Bandundu’) (Figure S1) given that the majority of available literature refers to the configuration before the year 2015. As a second step, references of selected literature - both in French or in English - were screened for relevant data extraction (*i.e.*, new edible species, unrecorded host plants, patterns of consumption notably) and analysis.

### 2.3. Data analysis

Data sources explored for the database generation were highly heterogeneous (*viz.* reports, proceedings, books, journal articles, online databases, monographs) since no restriction regarding the publication types was enforced. Therefore, in order to avoid inaccuracy (in Latin names of edible species) and redundancy during counting, alternative taxonomic names of recorded edible insect species were checked using four authoritative taxonomic databases: Catalogue of Life (CoL), Global Biodiversity Information Facility taxonomic backbone (GBIF), Integrated Taxonomic Information System (ITIS) and Global Lepidoptera Names Index (LepIndex). Similarly, the names (accepted ones and synonyms), the uses and conservational status of host plant species were also checked prior to inventory - using Plant Resources of Tropical Africa (Prota4U), the International Union for Conservation of Nature's Red List of Threatened Species and CoL.

Finally, patterns of edible insect consumption between provinces were explored by Principal Components Analysis (PCA) using the R statistical software (version 3.6.1) and then mapped using QGIS (version 2.18.15). However, exclusion criteria were defined prior to data compilation (Table 1). Reasons for exclusion included notably edible insects not identified up to the species level (or those only known by their vernacular names) and literature published before the country achieved independence (on June 1960). Indeed, the years from 1960 onwards (till end of 2021 included) have



been chosen as a time frame given that achieving an inventory of edible insect species of DRC in its eventful history would be definitively impossible (the country has been chronologically known under different names: Congo Free State, Belgian Congo, Republic of the Congo-Leopoldville, DRC - its current but old name, Zaïre and has undergone a multitude of administrative reforms) (Bruneau 2009).

**Table 1.** Inclusion/exclusion criteria used for data compilation and database generation

---

<b>Inclusion criteria</b>
English (or French) full-text paper published in a peer-reviewed journal or scientific literature with: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Focus on insect consumption practices</li> <li>• Focus on using edible insects as alternative to meat</li> <li>• Focus on NTFP, non-conventional or underutilized food from DRC</li> </ul>
<b>Exclusion criteria</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Studies older than 1960</li> <li>• Studies on farming insects for animal feed</li> <li>• Studies on animal manure as insect feed</li> <li>• Insect products produced for animal feed</li> <li>• Imprecise taxa and ethnospecies unidentified at the species level</li> <li>• Inconsistent paper with implausible data or misidentification concerns</li> </ul>

---

### 3. Nationwide inventory of edible insect species

The list of insect species used as food across the country, the stages at which they are consumed in their developmental cycle and the number of recorded host plants are fully given in [Table S1](#). Based on their Latin names (and correcting for synonyms), 148 species belonging to 100 genera, 31 families and 9 orders have been recorded on a national scale. This number of edible insects is higher than those reported from other SSA countries - *e.g.*, 9 species for Ghana ([Anankware et al. 2016](#)), up to 31 species for Cameroon ([Djouffa et al. 2021](#), [Ngute et al. 2020](#)), 22 for Nigeria ([Alamu et al. 2013](#)), 75 species for Gabon ([Detilleux et al. 2021](#)), up to 96 for Central African (CA) Republic ([Balinga et al. 2004](#), [Roulon-Doko 1998](#)), 28 species for the Republic of Congo ([Mabossy-Mobouna et al. 2016](#)), 27 for Botswana ([Obopile and Seeletso 2013](#)), 60 for Zambia ([DeFoliart 1999](#)), 38 for Angola ([Lautenschläger et al. 2017b](#)) and 20, 13, 6 for Uganda, Burundi and Rwanda respectively ([Okia et al. 2017](#)).

Of these 9 orders consumed in DRC, the majorities are Lepidoptera (60.1%), Orthoptera (10.1%), Coleoptera and Hymenoptera (8.1% each). Following these are the Hemiptera (6.1%), Blattodea (4,7%) and Neuroptera (1.6%). Below 1.0% are the Odonata and Mantodea ([Table S1](#)). The results of the current study concerning the leading position of the top three first orders are consistent with those reported by the International Centre of Insect Physiology and Ecology (ICIPE) ([Kelemu et al. 2015](#)) and by [Van Huis \(2020a\)](#) for Africa as a whole.

However, additional information is provided for DRC as Hymenoptera should be considered as major as Coleoptera (with regard to the number of edible species reported countrywide).

### 3.1. *Lepidoptera* (butterflies, moths)

Typically eaten at larval stage (*i.e.*, caterpillars), *Lepidoptera* stands out as the leading group of insects consumed in DRC. Thirteen (13) families were identified and ranked as follows: Saturniidae (22 genera and 53 species: 59.5%), Spingidae (9 genera and 10 species: 11.2%), Notodontidae (8 genera and 9 species: 10.1%), Hesperidae (3 genera and 3 species: 3.3%), Noctuidae (2 genera and 3 species: 3.3%), Psychidae (1 genus and 3 species: 3.3 %) and Nymphalidae (2 genera and 2 species: 2.2%). The representatives of the remaining families (Brahmaeidae, Erebidae, Lasiocampidae, Limacodidae, Lymantriidae and Pieridae) are reported in [Table S1](#).

Moreover, *Imbrasia (Nudaurelia)* (Saturniidae), points out as the most represented genus with 16 edible species also reported as an important source of income, proteins and vitamins countrywide ([Latham 2005](#), [Latham et al. 2021](#), [Lisingo et al. 2012](#), [Malaisse and Parent 1980](#), [Mapunzu 2004](#)). Furthermore, *Imbrasia ertli*<sup>9</sup> notably; called “Mwinzu” or “Misa-Misa” in DRC, gives an example of the existing commonalities between SSA countries in the use of insects as food, since this caterpillar is also widely consumed in Zambia, South Africa, Cameroon, Congo-Brazzaville, CA Republic, Zimbabwe, Botswana and Angola ([Kelemu et al. 2015](#)). Similar examples of shared commonalities between DRC and SSA countries are also reported notably concerning *Cirina forda* ([DeFoliart 1999](#), [Kusia et al. 2021](#)), *Imbrasia belina* ([Malaisse 2005](#)), *Imbrasia obscura* ([Mabossy-Mobouna et al. 2018](#)), *Imbrasia oyemensis* ([Balinga et al. 2004](#)), *Bunaea alcinoe* or *Anaphe panda* ([Kelemu et al. 2015](#)). This fact is noteworthy as it can serve as a path to the promotion of the trade of specific species with high commercial value, as well as widening their market across SSA countries.

### 3.2. *Orthoptera* (grasshoppers, crickets, locusts)

Edible orthopterans are mainly consumed in DRC at adult stage ([Table S1](#)). A total of 5 families are concerned and ranked as follows: Acrididae (8 genera and 8 species: 53.3%), Gryllidae (2 genera and 2 species: 13.3%), Pyrgomorphidae (2 genera and 2 species: 13.3%), Tettigoniidae (1 genus and 2 species: 13.3%) and Gryllotalpidae (1 genus, 1 species: 6.6%). Of these 15 orthopterans species reported in DRC ([Kekeunou and Tamesse 2016](#), [Malaisse and Parent 1980](#), [Ombeni and Munyuli 2017](#)), some are also widely consumed on the continent as *Brachytrupes membranaceus*, *Zonocerus variegatus*, *Locusta migratoria* and *Nomadacris septemfasciata* ([Babarinde et al. 2021](#), [Kelemu et al. 2015](#)).

<sup>9</sup> The full species names of insect taxa cited throughout this chapter are listed in [Table S1](#).

The consumption of such species considered as pests of crops or valuable trees deserves to be pointed out as these insects are difficult to control in DRC. In the literature, edible insect consumption has been claimed as a sustainable way of pest management and food procurement (DeFoliart 1995, Riggi *et al.* 2016, Van Huis 2020a). Such an example is reported for *Z. variegatus* and *Cyrtacanthacris aeruginosa* in Uganda. A reduction of their populations in crops fields resulted from a successful campaign to promote the eating of these grasshoppers (Akullo *et al.* 2017). The same strategy for insects pest control has also been reported in Thailand concerning *Patanga succincta* (Johannson, 1763). The high demand and price for this edible locust have led some farmers to grow maize to feed this insect, rather than harvesting the crop (Durst *et al.* 2010).

However, attention should be paid as important pests in many areas are likely to be exposed to chemicals during their whole life cycle (Babarinde *et al.* 2021, Banjo *et al.* 2006, Van Huis 2013). Unfortunately; although residual pesticides in edible species raises concern over food safety (Murefu *et al.* 2019, Saeed *et al.* 1993), data clearly demonstrating the safety of consumption of insects are lacking in DRC. The scarcity of such valuable data points out research gaps to be filled as safety is a necessary condition for every item (whether insects or not) in order to meet society's approval as food (Belluco *et al.* 2013, Belluco *et al.* 2018).

### 3.3. Coleoptera (weevils, beetles, wood-boring larvae)

Coleoptera inventoried in the current study are from 5 families ranked as follows: Cerambycidae (6 genera and 6 species: 50.0%), Dynastidae (2 genera and 3 species: 25.0%), Cetoniidae, Dryophthoridae and Dysticidae (1 genus and 1 species: 8.3% each) (Table S1). A representative of this order - the palm weevil (*Rhynchophorus phoenicis*), reported to be by far the most consumed insect in many African countries (*e.g.*, Burkina Faso, Cameroon, Ivory Coast) (Kelemu *et al.* 2015, Séré *et al.* 2018) is also greatly popular and sought after in DRC for his high economic value (Malaisse 1997, Mapunzu 2004, Payne *et al.* 2016a, Takeda 1990).

The larvae locally called “Mposé” or “Nsombi” is considered as a delicacy and can be eaten raw. Globally, coleopterans are mainly consumed at immature stage, even though the uncommon consumption of adults is also reported by informants for some representatives (*e.g.*, *Oryctes boas*, *Oryctes owariensis*, *R. phoenicis*). Furthermore, for Coleoptera, it has been reported a consumption of 154 g/person/day for the capital city (Kinshasa) (Nsevolo *et al.* 2016) but gaps about quantitative data still remain for the edible insect sector on a national scale. Few data are available so far, whether concerning edible insects trade or daily intake at household level making the assessment of their contribution to food security a challenge.

### 3.4. Hymenoptera (bees, wasps, ants)

Edible representatives of Hymenoptera in DRC are from two families: Apidae (7 genera and 10 species) and Formicidae (2 genera and 3 species) (Table S1). The honey, eggs and larvae of *Apis mellifera adansoni*, as well as the pupae of *Hypotrigona gribodoi* or winged adults of *Carebara junodi* are reported as being consumed in the country (Malaisse 2010, Takeda 1990). Furthermore, the consumption of *Carebara vidua* in DRC deserves to be pointed out as this insect (reported as being sought after for its flavour, nutritional and medicinal values) is considered as an endangered species (Ayieko *et al.* 2012). Therefore, although this species gives an example of existing similarities across northern, eastern, southern and central Africa (*e.g.*, Sudan, South Sudan, Kenya, Malawi, Zambia, South Africa, Zimbabwe, Botswana, CA Republic) (Kelemu *et al.* 2015), there is a call for a more sustainable exploitation of *C. vidua* in order to save it from extinction.

### 3.5. Hemiptera (cicadas)

Cicadidae family (with 5 genera and 8 species) remains the most eaten hemipterans in the country (Malaisse 1997, Malaisse and Parent 1980). Except Belostomatidae (with *Lethocerus cordofanus* as unique representative), no other family of Hemiptera seems to be consumed in the country (Table S1). An additional example of commonalities between DRC and other central or southern African countries in the use of insect as food is given by *Ioba leopardina* (Cicadidae) (Kelemu *et al.* 2015).

### 3.6. Blattodea (termites)

All edible termites reported as food in DRC belong to Termitidae (DeFoliart 2002, Kelemu *et al.* 2015, Mitsuhashi 2016) and this lines with results reported from South Africa (Netshifhefhe *et al.* 2018). In DRC, 3 genera are reported ranked as follows: Macrotermes (4 species), Pseudocanthotermes (2 species) and Megagnathotermes (1 species) (Table S1). Furthermore, based on key informants during focus groups, quite all the castes of these insects (*i.e.*, soldiers, winged adults, workers, queen) are consumed as they are considered as a culinary delicacy in DRC (Table S1) (Bomolo *et al.* 2017, Malaisse 1997).

However, the number of termites' species used as food is likely to be under-reported so far. In fact, many ethnospecies still remain veiled as accurate identification and reporting remain a challenge (Bocquet *et al.* 2020). For example, Bakondongama *et al.* (2016) reported 24 species of termites harvested in Kisangani (Province Orientale, Figure S1) that might be consumed by local people or used as feed; but in the list, these authors omitted to point out which species are precisely intended for human food; leaving thus an ambiguity. Hence, field studies supported by expert taxonomic input and involving local ethnic groups through citizen science - for unveiling vernacular names (Nsevolo, 2016), should yield higher numbers of edible species in poor-studied provinces.

### 3.7. Minor groups (*dragonflies, mantis, antlion*)

Apart from the orders mentioned above, three additional taxa of edible insects are also reported in DRC. They belong to Neuroptera (*Hagenomyia tristis* and *Lachlathetes moestus* from Myrmeleontidae), Odonata (*Trithemis arteriosa* from Libellulidae) and Mantodea (*Sphodromantis centralis* from Mantidae) (Malaisse 2010, Malaisse and Parent 1980) (Table S1).

## 4. Distribution of insect species and patterns of consumption

The number of edible insect species vary between provinces of DRC (Figure 1), as already reported in other SSA countries such as Burkina Faso (Séré *et al.* 2018), Botswana (Obopile and Seeletso 2013) or Cameroon (Djouffa *et al.* 2021). From a national standpoint, two provinces emerge with more than 40 edible species inventoried locally (namely Katanga with 50 species then Bas-Congo with 43 species). Such results mostly related to the amount of research done for these two provinces (notably by Malaisse 1997, Malaisse 2010, Latham 2005, Latham *et al.* 2021) were expected since they corroborate Van Huis (2015). Accordingly, further exploration of edible insect diversity in relatively poor-studied provinces of the country (*e.g.*, Bandundu: 24 species, Equateur: 16, Kinshasa: 14, Province Orientale: 12, Sud-Kivu: 10, Kasai: 8 species) is advocated.

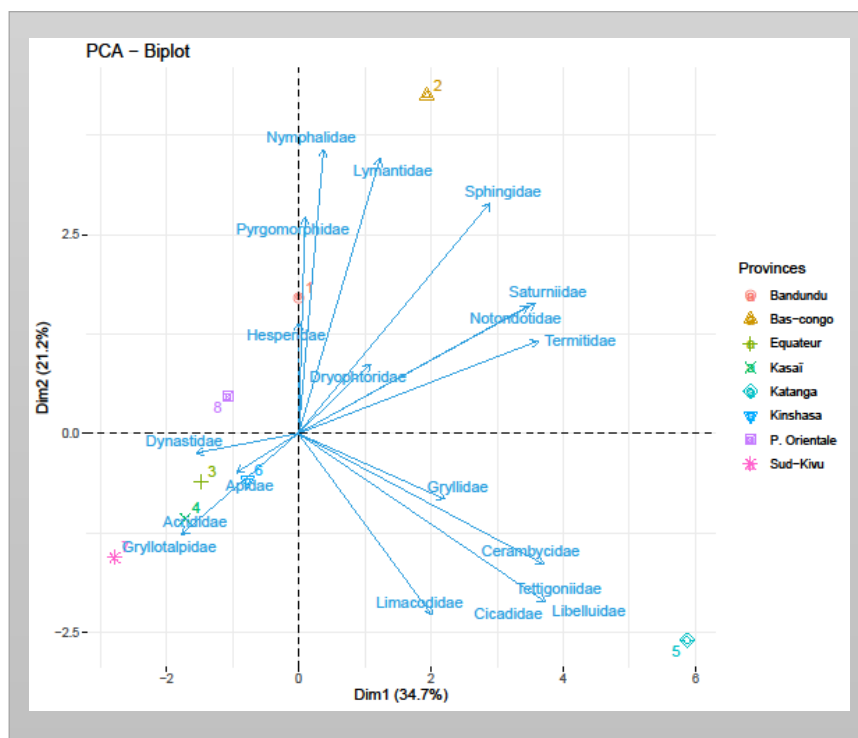
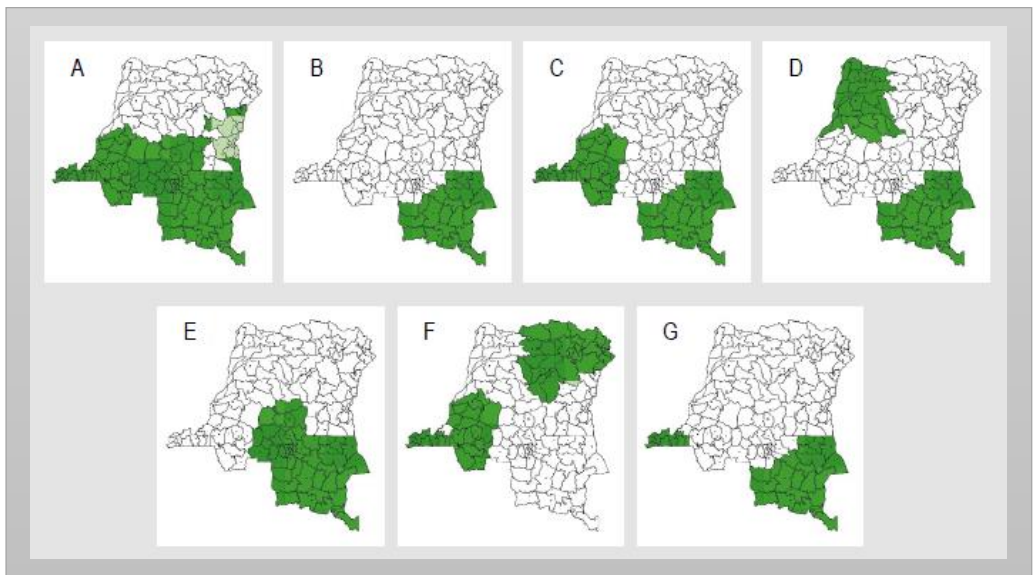


Figure 1. PCA of the consumption patterns of edible insects according to provinces.

Moreover, the principal component analysis (PCA) gave an insight into insect consumption patterns on country scale and showed existing differences in entomophagy practices between the provinces of DRC (Figure 1). On one hand, some edible insect species (namely *C. forda*, *I. oyemensis*, *I. epimethea* and *R. phoenicis*) are consumed countrywide (hence could be considered commonalities), whereas on the other hand, many other species seem to be restricted in their occurrence areas (Figure 2). Examples of these include species in the family Cicadidae (i.e., *Afzeliada afzelii*, *Afzeliada duplex*, *Munza fulva*, *Ugada limbalis*) and a representative of Limacodidae (namely *Hadraphe ethiopica*) only consumed in the Katanga province or species in the family Lymantriidae (*Rhyopteryx poecilanthos*) and Sphingidae (*Acherontia atropos*, *Hippotion eson*, *Platysphinx stigmatica*) only consumed in the Bas-Congo province. Supplementary examples are given by species of Acrididae (i.e., *Acanthacris ruficornis*, *Anacridium burri*, *Homoxyrhopes punctipennis*, *Ornithacris pictula*, *L. migratoria*, *N. septemfasciata*) as well as a representative of Gryllotalpidae (i.e., *Neocurtilla hexadactyla*) whose consumption is restricted to the Sud-Kivu province (Figure 1).



**Figure 2.** Maps of Entomophagy in DRC. Edible insect species belong to: [A] Orthoptera (Acrididae, Catantopidae, Gryllidae, Gryllotalpidae, Pyrgomorphidae and Tettigoniidae); [B] Hemiptera (Cicadidae), Neuroptera (Myrmeleontidae), Mantodea (Mantidae) and Odonata (Libellulidae); [C] Blattodea (Termitidae); [D] Hymenoptera (Apidae and Formicidae); [E] Lepidoptera (Limacodidae); [F] Lepidoptera (Nymphalidae); [G] Lepidoptera (Noctuidae, Sphingidae and Lymantriidae). According to data compiled in the present study, the consumption of Dryophthoridae and Dynastidae (Coleoptera) or Saturniidae and Notodontidae (Lepidoptera) is a nationwide practice (not illustrated here).

Reasons thereof are undoubtedly numerous and more than probably linked to culture and people’s alimentary habits (Mignon 2002). However, one additional reason could be the absence of a trade system for these species restricted to their occurrence zones as reported for *Carbula marginella* (Thunberg 1822) in the northern Sudanian area (Séré et al. 2018).

It is noteworthy that, even though anthropogenic pressure has already been strong enough to lead to a significant decline of some edible insect populations in the country (e.g., in the Bandundu province) (Leleup and Daems 1969); most edible species are still harvested from the wild (Latham 2005, Malaisse 1997) and few mass-production programs have been initiated to meet consumer demand. This situation requires attention about edible species that should be promoted for trade to meet the increasing demand for edible insects and how they could be sustainably farmed (Babarinde et al. 2021) without disturbing the natural balance in their natural habitats in DRC.

## 5. Consumer attitudes and motives

Although it is reported that the consumption of insects in the country seems not to be gender-dependent (Nsevolo et al. 2016), few information are available concerning attitudes and opinions of Congolese consumers towards edible insects so far. Field investigation performed in Kinshasa at households level revealed that insect consumption is mainly driven by the levels of proteins and vitamins in edible insects (49.9%) (Figure 3). Additionally, 13.2% of the respondents also considered entomophagy as a food habit driven by culture or tradition and 11.5% eat insects as they considered them as tasty and delicious.

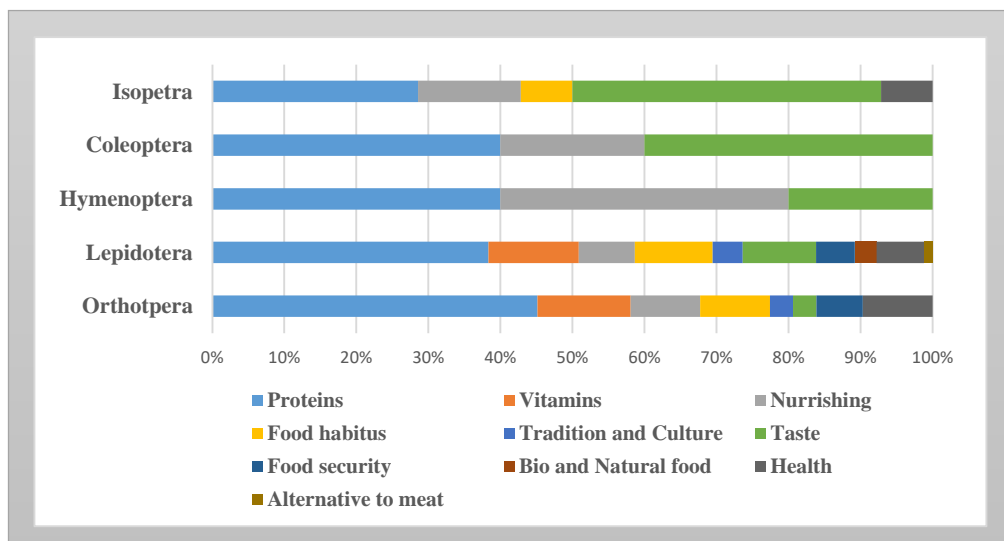
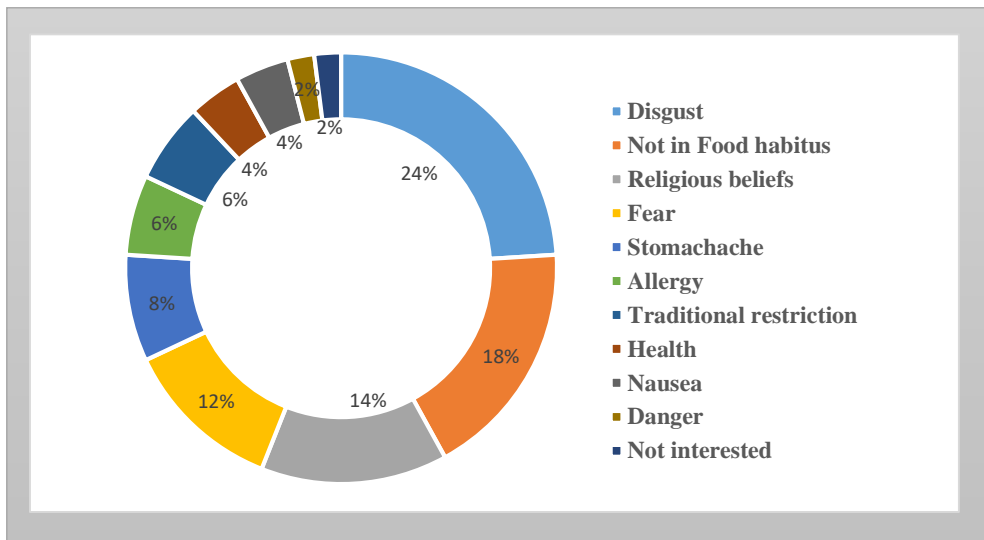


Figure 3. Main motives for edible insects’ consumption.

These results suggesting that edible insects are considered a regular food source in DRC (rather than an emergency food item) are in line with those reported across African countries where insects are included as a normal part of diets throughout the year (Akullo *et al.* 2017, Kelemu *et al.* 2015). However, the barriers driving avoidance and/or abhorrence of edible insects (notably disgust, food habits, religious beliefs and fear) (Figure 4) deserve more attention as they should help to overcome the neophobia or to limit abandonment trends of this ancestral and reliable source of proteins for new processed products in urban areas (Malaisse 2005, Mapunzu 2004, Nsevolo *et al.* 2016, Van Huis *et al.* 2013).



**Figure 4.** Main reasons for refusal of edible insects as food.

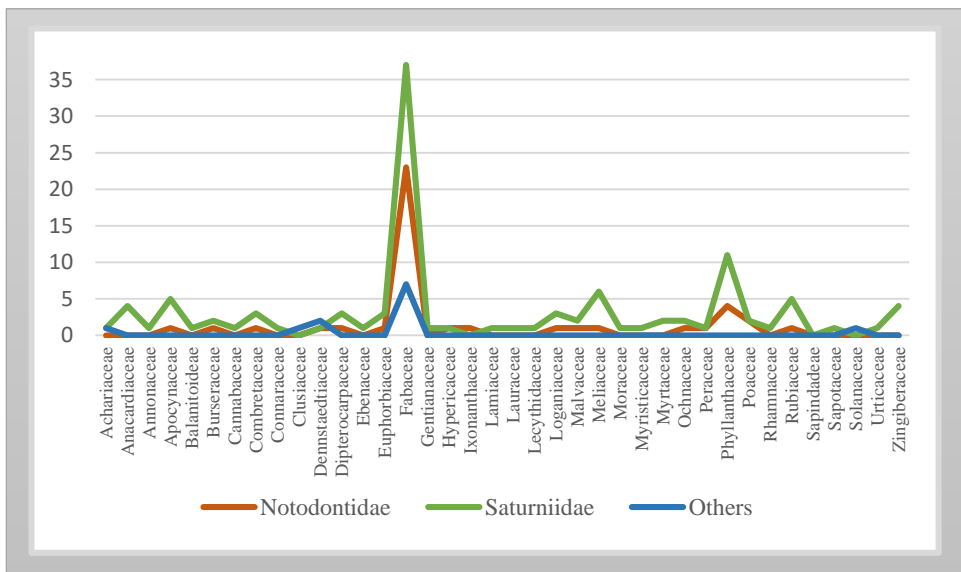
## 6. Inventory of plant species associated with edible insects

### 6.1. Hosts for selected lepidopterans

Table S2 summarises the names of 122 plant species (79 genera split in 35 families) recorded nationwide as host plants for 38 edible lepidopterans. These data indicate a variety of host plant species dominated by far by Fabaceae family with 42 representatives belonging to 21 genera (34.4 % of the total diversity), followed by the family Phyllanthaceae (10.6 %), Meliaceae (4.9 %) and Apocynaceae (4.1 %) - these 4 families represented together 54.0 % of the plant species recorded in the country. Moreover, plants in the Fabaceae indicate 3 outstanding genera (representing together 41.8 % of this family): *Brachystegia* with 8 representatives, followed by *Albizia* with 6 representatives and then by *Millettia* with 4 representatives. For Phyllanthaceae, two taxa (*Uapaca spp.* and *Bridelia spp.*) should be mentioned as they constitute 61.5 % of the representatives of this plant family.



A global review of [Table S2](#) is also really informative as it shows various strategies of feeding behavior, from monophagous caterpillars (namely *A. atropos*, *E. carteri*) to polyphagous species (e.g., *I. epimethea*, *A. insignata*). Moreover, some polyphagous species (e.g., *B. alcinoe*, *C. forda*) are reported to feed on more than 19 different plant species. The top example of this strategy is given by a representative of the family Notodontidae (namely *E. lactea*) as it feeds on 30 different plant species countrywide. However, overall, current results line with [Kusia et al. \(2021\)](#) given that recorded edible saturniid species (in [Table S1](#)) have been reported from more diverse agroecological zones and have a much more varied diet than the remaining taxa of Lepidoptera reported throughout the country (for instance 67.1 % of the plant diversity recorded in [Table S2](#) serves as food to family Saturniidae versus 25.7 % to Notodontidae notably) ([Figure 5](#)).



**Figure 5.** Host plants' diversity associated to edible lepidopterans

It is noteworthy that some plant species play a vital role as food for many caterpillar species at once. The prime example is *Julbernardia paniculata*<sup>10</sup> reported as food for 17 insect species (*A. insignata*, *A. gigas*, *A. semialba*, *B. alcinoe*, *C. hyperbius*, *D. uniformis*, *E. lactea*, *G. richelmanni*, *G. zambesina*, *G. hecate*, *G. ata*, *H. ethiopica*, *I. epimethea*, *I. ertli*, *I. macrothyris*, *L. saturnus* and *M. parva*). Similar examples are given by some others representatives of Fabaceae (*B. taxifolia*, *B. boehmii*), albeit to a lesser extent. Such ecological associations should be highlighted as this information could be used to promote agroforestry or reforestation programs, as well as opening new opportunities to rural communities that live around woodlands for cultivation of specific edible insect species.

<sup>10</sup> The full species names of plant taxa cited throughout this chapter are given in [Table S2](#).

Moreover, these plant species and many others species of diverse families reported in this study (e.g., *Mangifera indica* from Anacardiaceae, *Persea americana* from Lauraceae, *Uapaca guineensis* from Phyllanthaceae, *Petersianthus macrocarpus* from Lecythidaceae or *Ricinodendron heudelotii* from Euphorbiaceae) not only serve as host plants for edible insects but they are also vital to local people who depend on natural resources for diverse reasons (fruits, forage, coal, carbohydrates, timber, tannins, fibre or medicinal uses) (Table S2) (Muvatsi *et al.* 2021). Undoubtedly, this situation could represents a conflict of use that requires more attention. Therefore, as forests and savannas provide shelter and perfect milieu for numerous edible insect and food plant species (Latham 2005, Lisingo *et al.* 2010, Malaisse 1997) and, taking into account the conservational status of some host plants (Table S2), the development of conservation strategies that preserve traditional resources in DRC could be enhanced by acting on the desire of local populations for protection of edible insect species and their host plants. Such an approach has been successfully implemented in Zambia (DeFoliart 1997).

## 6.2. Hosts for major coleopterans

Table S1 reported some edible coleopterans considered as pests of valuable trees of the family Arecaceae such as *R. phoenicis*, reported to be a major pest of Raphia or Palm trees notably (Muafor *et al.* 2015). During focus groups, informants reported that the ecological association of this insect species with these representatives of Arecaceae is well-known, as grubs of *R. phoenicis* are typically sold fresh living along main roadsides and kept in containers mixed with substrate from its food plants. These reports are consistent with findings from other sub-Saharan countries since *R. phoenicis* is reported to be highly appreciated and requested (DeFoliart 1995, Kelemu *et al.* 2015).

Furthermore, *R. phoenicis* also gives an excellent example of how unregulated harvest of edible insects from the wild could threat natural plantations of valuable trees in the country. Informants reported that anthropogenic pressure has led to significant regression of natural populations of palms in some production areas - as *R. phoenicis* has long been traditionally 'semi-farmed' and harvested on palms (*i.e.*, basically palms are to be cut down). Therefore, they are favorable to alternative production system on sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) as proposed by the Agro-Veterinary Center in Kinshasa (Centre Agro-Vétérinaire Tropical de Kinshasa in French; CAVTK) (R.M. Lundanda, personal communication, May 17, 2021).

## 6.3. Food for orthopterans

Edible orthopterans reported in Table S1 are known to be polyphagous insects and globally considered as pests collected in field crops and fallows (Kekeunou and Tamesse 2016). This is also in line with Bakondongama *et al.* (2017) who reported *Z. variegatus* (Pyrgomorphidae) for instance, as a fearsome devastator on food cultivation in the northeast part of the country.

Similar example is given with *B. membranaceus*, reported in DRC to cause damage to vegetables (Walangululu and Mushagalusa 2000). These reports are consistent with those from informants who additionally acknowledged that collection of *B. membranaceus* for human consumption rely on TEK passed down from a generation to another. As a significant part of traditional diets and one of the major edible orthopterans reported so far (Mapunzu 2004, Nsevolo *et al.* 2016), the rearing of *B. membranaceus* is linked to potential economic, social and ecological proceeds. Therefore, the development of rearing facilities - in addition to pre-tests done by the CAVTK (Halloran *et al.* 2018a), should receive more attention, as it could impact positively on rural development and economy.

## 7. Seasonality, harvesting and processing methods

### 7.1. Seasonal availability

Edible insects' seasonal availability on local markets varies according to species, seasonal conditions and phytogeographical zones (Latham 2008, Mapunzu 2004) - although some species (like *R. phoenicis* and *A. centaurus*) might be available all year-round (Malaisse 1997, Nsevolo *et al.* 2016) (Table 2). Unfortunately, as TEK regarding edible insect seasonality and their host plants availability is orally transmitted, few data are available in literature and gaps still remain for many edible species. However, the peak of abundance of several species in their respective ecological zones is globally reported to be linked with the rainy season (Malaisse 1997, Latham 2005, Latham *et al.* 2021) - likely as it corresponds to abundance of their food plants. This is consistent with the study of Bomolo *et al.* (2017) who additionally mentioned that this seasonal availability is correlated to relatively high level of consumption.

Furthermore, it is noteworthy that the seasonal availability for some species is relatively shorter than for others (*e.g.*, 2-4 months for *A. insignata*, *E. lactea* or *G. hecate* as compared to 4-6 months for *A. panda* or *B. alcinoe*) and that the number of availability seasons differs according to biogeographic zones (*e.g.*, *B. alcinoe*, *C. caenis* or *I. epimethea* occur twice a year in northern provinces versus once a year in southern provinces) (Table 2). These findings not only due to insect voltinism, are probably linked in part to the prevalence of food plants and specific conditions within the ecological zones of occurrence, as reported by Malaisse (1997).

The turnover (and the temporal distribution) of edible insect species in-between production areas guarantees steady supply of certain species in local markets of main cities, as reported notably for Kinshasa (Nsevolo *et al.* 2016). The prime example is given by *C. forda* considered as a nationwide commonality and reported to be available between September to January in the western parts of the country (as Bas-Congo or Bandundu provinces), from March to May in the southern provinces (*i.e.*, Katanga) and from August to September in the northern province (*i.e.*, Province orientale) (Table 2).

Thereby, Kinshasa as the country's official administrative, economic and cultural center is provided quite all year-round with this edible species collected from the other provinces of the country (Latham 2005, Malaisse 1997, Mapunzu 2004, Nsevolo *et al.* 2016).

**Table 2.** Seasonal availability of selected edible insect species by provinces (roman numerals stand for months of the year, from *I* for January to *XII* for December)

<i>Edible insects</i>	<b>Bas-Congo</b>	<b>Equateur</b>	<b>Bandundu</b>	<b>Kinshasa<sup>(c)</sup></b>	<b>Katanga</b>	<b>Sud-Kivu</b>	<b>P. Orient.</b>	<b>Sources<sup>(d)</sup></b>
<i>A. insignata</i>	XII - I	-	-	-	III - IV	-	IV - VII	[1, 2, 4]
<i>A. panda</i>	I - II	-	I - II	-	IV - IX	II - III X	VII - X	[1, 2, 8, 9, 11]
<i>B. alcinoe</i>	X - V	-	-	-	III - IV	-	VII - VIII II - III	[1, 2, 4]
<i>B. aurantiaca</i>	-	-	-	-	III - IV	V - IX	VIII - IX	[1, 2, 5]
<i>C. caenis</i>	I VI - VII	-	-	-	-	-	VIII - XII III - IV	[1, 2, 4]
<i>C. forda</i>	XI - I	VII - VIII	IX	I - XII <sup>(p)</sup>	III - V	-	VIII - IX	[1, 2, 3, 4, 6, 10]
<i>E. lactea</i>	XII - I	-	-	-	III - VII	-	VII - IX	[1, 2, 4]
<i>G. hecate</i>	-	-	-	-	III - IV	-	VII - IX	[1, 2]
<i>I. epimethea</i>	I - II	VIII - IX	VI - VIII	-	III - IV	-	VI - VIII II - III	[1, 2, 4, 8, 10]
<i>I. oyemensis</i>	-	-	-	I - XII <sup>(p)</sup>	-	-	VII - IX	[2, 3]
<i>I. truncata</i>	-	VIII	-	-	-	-	VII - IX	[2, 10]
<i>M. cana</i>	-	-	-	-	IX - X	-	-	[1]
<i>P. discrepans</i>	-	VIII - IX	-	-	-	-	VII - VIII	[2, 10]
Lepidoptera_1 <sup>(a)</sup>	-	-	-	-	III - IV	-	-	[1]
Lepidoptera_2 <sup>(b)</sup>	-	-	-	-	III - V	-	-	[1]
<i>B. membranaceus</i>	-	-	IX - XI	X - I <sup>(L)</sup>	-	-	-	[3]
<i>R. phoenicis</i>	I - XII	I - XII	I - XII	I - XII <sup>(L)</sup>	I - XII	I - XII	-	[1, 2, 3, 7, 8]

(a) Lepidoptera\_1 group : *C. hyperbius*, *G. richelmanni*, *G. zambesina*, *G. kuntzei*, *I. dione*, *I. macrothyris*, *A. insignata*, *D. uniformis*.

(b) Lepidoptera\_2 group : *G. ata*, *I. rubra*, *L. saturnus*, *M. parva*, *T. flavinata*, *U. terpsichore*, *R. mediata*.

(c) In local markets of Kinshasa, some species are available all year-round wether<sup>(L)</sup> Living/fresh or<sup>(P)</sup> Processed.

(d) Sources are: <sup>1</sup> Malaisse (1997), <sup>2</sup> Lisingo *et al.* (2010), <sup>3</sup> Nsevolo and Theeten (2015), <sup>4</sup> Latham (2005), <sup>5</sup> Amisi *et al.* (2013), <sup>6</sup> Leleup and Daems (1969), <sup>7</sup> Ombeni and Munyuli (2017), <sup>8</sup> Payne *et al.* (2016a), <sup>9</sup> Munyuli Bin Mushambanyi (2000), <sup>10</sup> Bocquet *et al.* 2020, <sup>11</sup> Latham *et al.* (2021).

## 7.2. Harvesting techniques

Most insect species consumed in DRC are not farmed but mainly collected from different natural habitats (forests, savannas or farmlands) in their respective ecological zones (Latham 2005, Malaisse 1997). Daily yields vary significantly according to years, seasons, insect species and host trees. It has been reported for example, an average of 9.1 kg/year/tree of *C. forda* harvested on ‘Tali’ (*Erythrophleum suaveolens* (Guill. & Perr.) Brenan), or up to 11.3 kg/tree/year of *I. oyemensis* harvested on ‘Sapelli’ (*Entandrophragma cylindricum* (Sprague) Sprague) (Muvatsi *et al.* 2021).

Collection techniques mainly vary according to insect species and their behavior (lonely, clumped species, scrolling or flying), as well as their host plant (tree, shrub or grass) or substrate types. They remain mostly traditional; children and women being the key actors (Latham 2005, Malaisse 1997). These findings are consistent with reports from other African countries as Nigeria (Alamu *et al.* 2013), Botswana (Moreki 2014) or Uganda (Akullo *et al.* 2017). Harvesting activity of some edible insects may involve skillful young children for climbing on trees (*e.g.*, *Bunaeopsis licharbas*, *Coeliades libeion*, *Hippotion osiris* - Lepidoptera) or women for collecting edible species clumped on grass by hand picking (*e.g.*, *A. atropos*, *A. panda*, *I. epimethea* - Lepidoptera) (Latham *et al.* 2021, Malaisse 2010, Tango 1981). Some other species are traditionally dug out of their holes using the hoe (*e.g.*, *B. membranaceus* - Orthoptera) or attracted by light in baskets (*e.g.*, *Macrotermes sp.* - Blattodea). If trees are to be cut down (*e.g.*, for *R. phoenicis* - Coleoptera), or when physical effort is needed, men are the key actors (Malaisse 1997).

As some edible insect species (*e.g.*, *Anaphe venata*, *Micragone cana* - Lepidoptera) can cause unpleasant reactions or allergy to certain individuals, key informants during focus groups reported that collection techniques rely on TEK passed down from a generation to another. This is in agreement notably with reports from Malaisse (1997), Malaisse (2010), Latham (2005) and Latham *et al.* (2021) who additionally gave detailed description concerning harvesting techniques of several edible insects. For instance, when collecting caterpillars of *Achaea catocaloides*, special sounds and calls (*viz.* “*Heh, heh*”) are made that cause the insect to jerk from side to side, making them easy to see and spot by children who collect them (Latham *et al.* 2021). Characteristic droppings found on the ground below trees are also indicative of certain species of Lepidoptera (*e.g.*, *Aurivillius triramis*, *Athletes gigas*, *B. alcinoe*) feeding on it (Tango 1981). As many other edible species are harvested haphazardly while collectors search for edible insects, the host trees can be marked (with a cross for instance) or objects can be fastened on that trees to show that colonies found on them are claimed and must not be taken (Latham *et al.* 2021).

Thanks to a certain number of local initiatives and implemented programmes (by the Salvation Army or by Non Governmental Organizations for Development) - particularly in the western provinces of the country (namely Bas-Congo and Bandundu), local communities are encouraged to planting host trees of edible caterpillars (*e.g.*, *Funtumia africana*, *Ricinodendron heudelotii*, *Pentaclethra spp.*)

in order to reintroduce edible insect species (declining or not) in targeted areas (A. Konda, personal communication, December 1, 2019). Local residents are also sensitised to observing customary laws and traditional harvesting periods (enforced by local chiefs to protect species from overexploitation), to limit unsustainable harvesting of insects (as the collection of imatures larvae or chrysalides under the ground for instance) and to avoid intrusive techniques of collection (notably trees felling and bushfires) (Latham *et al.* 2021) as well as the use of host plants for combustion (coal or wood fuel) given its significant impact on the disappearance of some edible insect species in their usual production areas (Bomolo *et al.* 2019, Looli Boyombe *et al.* 2021).

Moreover, based on the conservational status of some host plant species as *Milicia excelsa* [syn. *Chlorophora excelsa*], *Entandrophragma utile*, *Prioria balsamifera* [syn. *Gossweilerodendron balsamiferum*], *Autranella congolensis* (respectively reported in Table S2) and taking into account increasing reports of edible insect populations' scarcity in their usual occurrence areas, alternative solutions (such as mass-rearing on diets, semi-cultivation on alternative food plants) are well-timed and should be promoted countrywide - as they are currently being promoted by the FAO (or the CAVTK) in the capital city and the Bas-Congo province (Halloran *et al.* 2018a, Mapunzu 2004).

### 7.3. Processing and preparation techniques

Most of the edible insect species (of Table S1) are processed prior to selling, although some of them (*e.g.*, *R. phoenicis* and *B. membranaceus*), are mainly sold alive. The techniques of processing are mostly traditional and might involve boiling, smoking, roasting, frying or simply sun-drying (Table 3) (Latham *et al.* 2021, Malaisse 1997, Nsevolo *et al.* 2016, Tango 1981). According to key informants during focus groups, processing allow to make edible insects available over longer periods without the use of a refrigerator. Due to unreliable means of transport, the shelf life of most processed insects can be increased enough to brought them to local markets without deterioration.

Furthermore, although edible insects preparation methods vary according to edible insect species, to culture and people's alimentary habits (Latham *et al.* 2021, Mignon 2002), similar patterns could be noticed for species of the same genus (*e.g.*, *Athletes spp.*, *Lobobunaea spp.*) (Table 3). However, on a national scale, data concerning the effects of traditional processing techniques (as well as those of preparation methods) on nutrient contents and the digestibility of local insect species are scarce. Based on reports from some African countries, it is likely that the nutritional value of processed (smoked or sun-dried) species is lesser than that of fresh ones (Rumpold and Schlüter 2013). Moreover, although smoking insects is a common processing technique for lepidopterans notably, little is known about the increasing risk of developing cancer by eating smoked insects (Balinga *et al.* 2004, Mapunzu 2004). The scarcity of such valuable data points out research gaps to be filled.

**Table 3.** Processing and preparation techniques of selected lepidopteran species

<b>Edible insect species</b>	<b>Caterpillars' processing and preparation techniques</b>	<b>Sources</b>
<i>Achaea catocaloides</i>	Boiled in water with salt and allowed to dry in the sun	Latham <i>et al.</i> , 2021
<i>Aegocera rectilinea</i>	Gut contents removed, larvae are then washed and boiled with a little salt and water until almost dry	Latham <i>et al.</i> , 2021
<i>Anaphe panda</i>	Gut not removed. The hairs are removed by singeing them off in a pan over the fire. Larvae may also be lightly cooked, dried and powdered for later use	Latham <i>et al.</i> , 2021
<i>Athletes gigas</i>	Gut contents removed before boiling larvae with salt and hot peppers	Latham <i>et al.</i> , 2021
<i>Athletes semialbus</i>	Cut open and gut contents squeezed out before being washed	Latham <i>et al.</i> , 2021
<i>Aurivillius triramis</i>	Gut contents removed before cooking.	Latham <i>et al.</i> , 2021
<i>Bunaea alcinoe</i>	Prepared by being skewered and roasted, fried or boiled in salt. Also dried, powdered and added to a sauce	Tango, 1981
<i>Bunaeopsis aurantiaca</i>	Boiled or roasted	Latham <i>et al.</i> , 2021
<i>Cirina forda</i>	Gut contents must be squeezed out before cooking. The caterpillars are then boiled, dried and cooked in a peanut butter sauce	Latham <i>et al.</i> , 2021
<i>Coeliades libeon</i>	Boiled or fried and eaten immediately, though more commonly the caterpillars are smoked and stored	Latham <i>et al.</i> , 2021
<i>Cymothoe caenis</i>	Gut content removed before cooking with salt	Latham, 2015
<i>Elaphrodes lactea</i>	May be cooked in water with salt, cooked without salt and fried with oil and vegetables or fried in palm oil or peanut oil and eaten	Latham <i>et al.</i> , 2021
<i>Epanaphe carteri</i>	Remaining hairs are lost during preparation	Latham <i>et al.</i> , 2021
<i>Gonimbrasia alopia</i>	Gut contents is removed if larvae have not dropped to the ground to pupate	Latham <i>et al.</i> , 2021
<i>Gonimbrasia belina</i>	The gut contents are squeezed out and the caterpillars are boiled, salt is added and then caterpillars are fried. They are also boiled and dried before storage	Latham <i>et al.</i> , 2021
<i>Gonimbrasia jamesoni</i>	Spines are singed off on a metal plate over the fire	Latham <i>et al.</i> , 2021
<i>Hadraphe ethiopica</i>	Gut contents squeezed out before roasting in hot ashes to remove spines	Latham <i>et al.</i> , 2021

**Table 3.** (Suite)

Edible insect species	Caterpillars' processing and preparation techniques	Sources
<i>Imbrasia epimethea</i>	The remaining hairs may be singed off on a metal plate over a fire before being broken open and gut contents squeezed out	Latham <i>et al.</i> , 2021
<i>Imbrasia obscura</i>	Spines are singed off and the caterpillars are washed, cut open but gut contents are not removed. They are then wrapped in leaves and roasted	Payne <i>et al.</i> , 2016a
<i>Lobobunaeoides acetes</i>	Broken open and gut contents are squeezed out. They are then washed, salt and hot peppers are added, before being boiled in water	Latham <i>et al.</i> 2021
<i>Lobobunaea angasana</i>	Broken open and gut contents are squeezed out. They are then washed, salt and hot peppers are added, before being boiled in water	Latham <i>et al.</i> , 2021
<i>Lobobunaea phaedusa</i>	Washed and salt and hot peppers are added, before being boiled in water	Latham <i>et al.</i> , 2021
<i>Micragone cana</i>	Stinging hairs are singed off before cooking	Latham <i>et al.</i> , 2021
<i>Nudaurelia rectilineata</i>	Gut contents are removed. Larvae are then boiled in water with salt until the water has dried up	Tango, 1981
<i>Platysphinx stigmatica</i>	Broken open and their gut contents squeezed out, then boiled in water with salt and hot peppers	Latham <i>et al.</i> , 2021
<i>Pseudantheraea discrepans</i>	May be boiled with salt until dry and then eaten with hot peppers.	Takeda, 1990

Notwithstanding, traditional processing techniques are often used in combination (Table 2) and must be better investigated as they help to reduce the microbial load and the chemical hazards in edible insects (Murefu *et al.* 2019). This is consistent with results reported for some edible species from DRC - namely *Macrotermes sp.* (Termitidae, Blattodea) and two lepidopterans (*Bingubala*, probably *Imbrasia spp.* based on vernacular names and *C. forda*) - found on Belgium markets, as processing methods investigated helped to reduce microorganism counts compared to unprocessed samples (Caparros *et al.* 2017).

Owing to this concern, more effort should be put into ensuring safer products intended to consumers (Babarinde *et al.* 2021). For instance, aflatoxins (B1) have already been reported in edible sting bugs stored in used grain containers, as growth and development of the undesirable microorganisms producing these toxins (*Aspergillus flavus* and *Aspergillus parasiticus*) is favored by warm temperatures and high humidity (Musundire *et al.* 2016). Therefore, attention should be paid during all the steps “from farm to fork” (Bessa *et al.* 2020), in order to avoid microorganism



growth (*e.g.*, molds) along the value chain of insect species harvested countrywide, possibly resulting in food-safety risk (Mézes and Erdélyi 2020).

## 8. National trade and related challenges

On a national scale, quantitative data on foodstuffs production in DRC are scarce (Tollens 2008) and existing reports about edible insects' sales - *e.g.*, an annual trade of 8 tons of *Imbrasia sp.* with Belgium and France by Tabuna (2000) or those reported by Ramos-Elorduy (2009), are out of date and should be updated. Nonetheless, it is acknowledged that the trade of edible insects in the country is an income-generating activity that involves many people nationwide (collectors, wholesalers, resellers) with women as key actors (Mapunzu 2004). For Kinshasa, it is reported that 80.0% of its inhabitants consume at least one edible insect species 5 days per month, with an estimated 9600 tonnes of caterpillars sold each year (N'Gasse 2003). Thereby, the incomes generated by this activity contribute to women empowerment and to the well-being of households (Nsevolo *et al.* 2016).

Even though entomophagy is a long-lived tradition, it should be mentioned that the edible insect sector in DRC is still in its infancy (*i.e.*, insect trade remains mainly informal and traditional, markets lacking specific regulation or appropriate management strategies from the State). As a reminder, few data are available about the edible insect trade so far - but this gap is rather the same for meat (or fish) for instance (Marivoet *et al.* 2018, Tollens 2008). However, a fairly specific challenge to the edible insect sector (in comparison to the two others) is related to sale units throughout local markets. The results of sellers' survey showed that edible insects are not sold based on standardised international units (*viz.* kg, g) used for meat (or fish), but rather on the basis of unstandardised local units or measures (like "Ebundeli", "Verre", "Ekolo", "Kopo", "Lutu", "Sakombi", "Linzanza tomate") which might vary from a location to another, depending mostly on the edible insect species. This nationwide situation contributes to making official estimates of insects' trade tricky and unreliable. It should be addressed properly if edible insects are to be sustainably managed to grapple with food insecurity in the country.

## 9. Ways forward

The realization of the full potential of edible insects as food in DRC will be associated with several challenges, in addition to those already mentioned in this study (*viz.* the loss of TEK related to edible species, conflicts to be managed between local communities in the use of multipurpose host trees, a better knowledge of the motives and determinants of insect consumption in order to overcome neophobia or to limit abandonment trend, gaps to be filled about the effects of traditional processing and preparation techniques on the nutrient contents or the digestibility of edible insects and human health, the scarcity of quantitative data on foodstuffs production as well as unstandardised units of sale making estimates of insects' trade unreliable).

Since it is requested to all the members of the Common Market for Eastern and Southern Africa (COMESA) to harmonise regulations and standards in order to ease trade and cooperation within COMESA borders (Grabowski *et al.* 2020), the absence of insects-related regulations and guidelines should be really addressed in DRC, as it hampers an effective development of the transboundary commerce of edible insect species. Furthermore, as entomophagy mainly lays on ancient tradition lingering on up-to-now; current national environmental concerns (*e.g.*, overexploitation of timber trees for logging or for wood fuel) (Ciza *et al.* 2015, Muvatsi *et al.* 2020) or those associated to globalization (*e.g.*, environmental pollution or climate change) (Halloran *et al.* 2018b) made it essential to fill the gap about the legal framework and regulatory environment specifically addressing edible insects and insect-based products. This could help in boosting innovations and facilitating certification of entrepreneurs willing to start insect-related business. The implementation of such a legislation is also expected to foster good practices (*e.g.*, efficient packaging, operative labelling), to lower food-related consumer risks (Grabowski *et al.* 2020) and to constrain unsustainable husbandry of edible insect species or unfitting management of insects (or insect-based products) along the food chain.

Further gaps to be addressed are related to TEK. As a reminder, the list of edible insects drawn here for DRC is unquestionably incomplete, due notably to numerous ethnospecies or taxa unidentified up to the species level (*e.g.*, *Platysphinx sp.*, *Synagris sp.*, *Anaphe sp.*, *Antheua sp.*, *Cubitermes spp.*, *Goliathus sp.*, *Argemia sp.*). This situation that may be due in part to technical limitations of traditional methods based on morphological features or to the lack of experts locally, calls for considering molecular identification (DNA barcoding). Molecular typing should also be of great use to unravel species polymorphism of some edible insects (*e.g.*, *Rhynchophorus spp.*) with mass-rearing potential in DRC (Monzenga 2015).

It is noteworthy that actions and programs currently implemented for promoting entomophagy and zootechy development in the DRC are likely to enlarge the list of species consumed so far. This is the case for the species *Samia ricini* (Saturniidae) reported in this study. Its consumption and breeding are being popularised by the Salvation Army in the Kongo-Central (formerly Bas-Congo) province (A. Konda, personal communication, December 1, 2019), but was under-documented to date. This is also the case of *Acheta domesticus* (Gryllidae) in Kinshasa whose consumption is regarded with some revulsion. According to key informants, the species is known locally and called “Kinzenze ngoma”, but it is likely to be restricted to entomotherapeutic uses. The promotion of its consumption, the determinants of acceptance (or abhorrence) and small-scale farming conditions are under investigation by the CAVTK (R.M. Lundanda, personal communication, May 17, 2021).

Additionally, as edible insects have to follow the same health and sanitation regulations as for commonly eaten animal products, challenges regarding food safety - under the *Codex Alimentarius* principles of food hygiene (Fraqueza and Patarata 2017), should also be mentioned. Based on the review from Murefu *et al.* (2019), it is likely that safety concerns related to local edible species have not raised great interest

in DRC so far, while this an issue in most African countries (*e.g.*, Zimbabwe, Nigeria, Uganda). Anyway, as edible insects are mostly harvested from the wild, research about potential hazards and safety issues related to local species (*i.e.*, the toxin levels emanating from their feeding plants, microbiological contamination from soil, mycotoxins, antinutrient and inorganic compounds or heavy metals) should gain momentum in DRC, as well as research focusing on allergy concerns due to edible insects' ingestion (Mézes and Erdélyi 2020).

Given several reports in literature highlighting the chemical composition and the nutritional value of local species (Kodondi *et al.* 1987a, Kodondi *et al.* 1987b, Malaisse 2010, Malaisse *et al.* 2003, Malaisse and Parent 1997, Mbemba and Remacle 1992), the development of the edible insect sector is advocated as a promising route towards alleviating food insecurity and malnutrition in DRC. For this to happen, cooperation between all the stakeholders is paramount (Van Huis 2017). They all (*i.e.*, the public sector, the academia and private enterprise, as well as rural communities among others) should be involved to implement regulatory frameworks and operative guidelines on insects and insect-based products, as well as to set up good practices and species-specific safety standards, in order to guide action and research on local edible insects' farming systems, processing, labeling, storage, transport, trade and use.

## 10. Conclusion

Entomophagy is remarkably ingrained in food habits in DRC, seeing that edible insects are considered as a valuable traditional food since long and a sustainable source of proteins and vitamins, based on survey data from consumers. This study listed 148 edible insects identified at species (100 genera, 31 families and 9 orders dominated by the orders Lepidoptera, Orthoptera, Coleoptera and Hymenoptera). The analysis of consumption patterns (mapped on country scale) indicated species to be considered commonalities and those restricted within their occurrence areas.

The wide biodiversity of edible insects reported here (broader than compiled to date for the country) and host plants diversity (*viz.* 122 plant species belonging to 79 genera split in 35 families dominated by Fabaceae, Phyllanthaceae, Meliaceae and Apocynaceae) call for targeted actions for sustainable management of these flora and fauna resources. These includes methods of mass-rearing *ex situ* or semi-cultivation on alternative diets, the implementation of conservation strategies and the development of regulatory frameworks. Moreover, taking into account the reported conservation status of host plants (as some are endangered or critically endangered species) and potential conflicts of use (as many of them are multipurpose trees), rural communities involved in insect collection in the wild should be sensitised to good practices to be defined thanks to close cooperation between all the stakeholders involved in the edible insect sector.

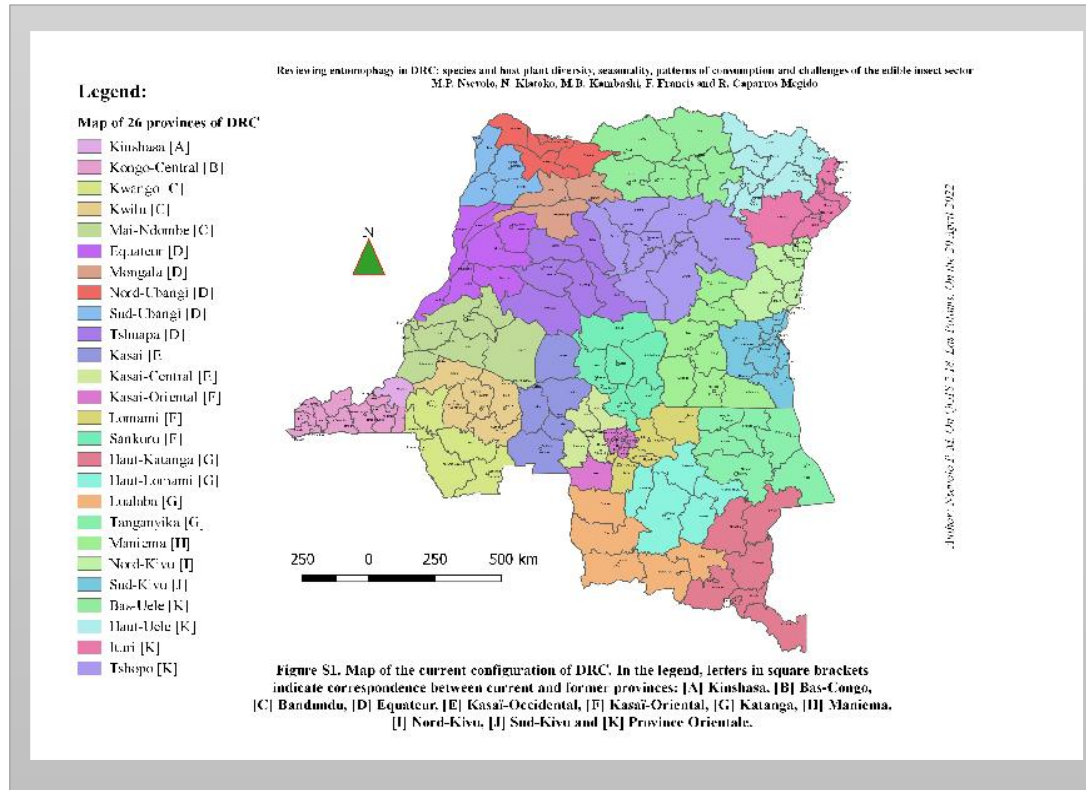
Additionally, in order to boost consumer demand, to overcome neophobia or to limit abandonment trends in urban areas, new opportunities for edible insects and insect-based products should be envisaged, based on a better understanding of the motives of consumers, as well as the expectations of the market for cheap, tasty and safer products notably. This could be achieved by enhancing research on production and processing methods that guarantee notably the highest nutritional value, the lowest microbial load and chemical hazards, as well as the longest shelf life of processed insects (given issues related to the cold chain, as the country is still facing development challenges).

Assuredly, the necessary steps towards mitigating food insecurity in DRC through edible insects requires, among others, the implementation of constraints on local markets for standardised units of sale (as it is impossible to perform a proper analysis of the edible insects sector without a modicum of reliable statistics); to support cooperation between local ethnic groups, scholars and experts taxonomists (for unraveling unidentified ethnospecies and unveiling TEK as well); to develop efficient rearing facilities for species contributing to food security and income of rural communities; and to provide financial support for further research intended to fill the gaps.

## **11. Annexes**

- Annex A - Figure S1 : Map of the current configuration of DRC.
- Annex B - Table S1. Inventory of edible insect species reported for DRC.
- Annex C - Table S2. Recorded host plants for main edible Lepidopteran species.

## Annexe A - Figure S1 : Map of the current configuration of DRC



## Annexe B -

**Table S1.** Inventory of edible insect species reported for DRC (Old scientific names of insects have been updated on the basis of recent systematic revisions. Alternative names used in literature are mentioned. Vernacular names (or ethnospecies) used by some of the most important ethnic groups nationwide, stages eaten and host plants number are also provided).

Orders	Families	Species_ID	Species (accepted names)	Species (synonyms)	Synon_ID	Vernacular names	References		
Blattodea	Termitidae	3XBSQ	<i>Macrotermes amplus</i> (Sjöstedt 1899) <sup>(1)</sup>	* <i>Termes gabonensis</i> Sjöstedt, 1900	8QSD9	-	DeFoliart, 2002		
		6QRW8	<i>Macrotermes bellicosus</i> (Smeathman 1781)	-	-	<i>T'swa<sup>3</sup></i> or <i>Tudwa<sup>3</sup></i>	Kelemu <i>et al.</i> , 2015		
		3XBT5	<i>Macrotermes falciger</i> (Gerstäcker 1891)	<i>Macrotermes swaziae</i> (Fuller, 1915)	-	-	<i>Maningu<sup>3</sup></i> , <i>Ndonge<sup>1</sup></i>	Malaisse, 1997	
		3XBTT	<i>Macrotermes natalensis</i> (Haviland 1898)	-	-	-	-	DeFoliart, 2002	
		3YTNV	<i>Megagnathotermes katangensis</i> Sjöstedt 1927	-	-	-	-	Malaisse, 1997	
		6WCTS	<i>Pseudacanthotermes militaris</i> Hagen 1858	-	-	-	-	Mitsuhashi, 2016	
		4NGYW	<i>Pseudacanthotermes spiniger</i> (Sjöstedt 1900)	<i>Termes (Acanthotermes) spiniger</i> Sjöstedt, 1900	-	-	-	DeFoliart, 2002	
		Coleoptera	Cerambycidae	T48N	<i>Ceroplesis burgeoni</i> Breunig 1935	-	-	-	Malaisse and Parent, 1980
6D2WL	<i>Diastraca trifasciata</i> (Fabricius 1775)			* <i>Analeptes trifasciata</i> Adlbauer, 1993	66JTL	-	Jongema, 2017		
6R47L	<i>Macrotoma natala</i> Thomson 1861			-	-	-	Malaisse, 1997		
78QMW	<i>Pycnopsis brachyptera</i> Thomson 1860			-	-	-	Malaisse and Parent, 1980		
52FVK	<i>Sternotomis itzingeri</i> Breuning 1935			<i>S. itzingeri katangensis</i> Allard, 1993	7KSV5	-	Malaisse and Parent, 1980		
5D6JY	<i>Zographus aulicus</i> Bertolini 1849			-	-	-	<i>Kipembia<sup>2</sup></i> <i>Mafundu<sup>0</sup></i>	Malaisse and Parent, 1980	
Cetoniidae	77Q5G		<i>Platygénia barbata</i> (Afzelius 1817)	-	-	-	<i>Mafundu<sup>0</sup></i>	DeFoliart, 2002	
	4SS76		<i>Rhynchophorus phoenicis</i> (Fabricius 1801)*	<i>R. phoenicis</i> Schoenherr, 1825	4SS76	-	<i>Mpose<sup>1</sup></i> , <i>Nsombi<sup>3</sup></i>	Takeda, 1990	
Dryophthoridae	5VXT5		<i>Augosoma centaurus</i> (Fabricius 1775)	-	-	-	<i>Makokolo<sup>1</sup></i> , <i>Mafulu<sup>0</sup></i>	Takeda, 1990	
	6SZPV		<i>Oryctes (Rykanoryctes) boas</i> (Fabricius 1775)	-	-	-	-	DeFoliart, 2002	
Dynastidae	Dysticidae		74ZQ5	<i>Oryctes (Rykanes) owariensis</i> (Pal. de Beauvois 1807)	-	-	-	DeFoliart, 2002	
			32RVN	<i>Cybister distinctus</i> Régimbart 1878	-	-	-	Jongema, 2017	
		Hemiptera	Belostomatidae	6Q2N4	<i>Lethocerus cordofanus</i> Mayr 1853	-	-	-	Malaisse and Parent, 1980
				65JBM	<i>Afzeliada afzelii</i> (Stal 1854)	-	-	-	Malaisse and Parent, 1980
Hemiptera	Cicadidae	65JBC	<i>Afzeliada duplex</i> (Diabola 1961)	-	-	-	Malaisse and Parent, 1980		
		3PTPV	<i>Ioba horizontalis</i> (Karsch 1860)	-	-	-	Malaisse, 1997		
		3PTPX	<i>Ioba leopardina</i> (Distant 1881)*	<i>Platyleura (Ioba) leopardina</i> (Distant 1881)	8JC89	-	-	Malaisse, 1997	
		44KYB	<i>Munza fulva</i> (Distant 1897)*	<i>Poecilopsaltria fulva</i> Distant, 1897	-	-	-	Malaisse and Parent, 1980	
		4TXHP	<i>Sadaka radiata</i> (Karsch 1890)	-	-	-	-	Malaisse and Parent, 1980	
		7DF3P	<i>Ugada limbalis</i> (Karsch 1890)	<i>Ugada limballis</i> Sueur, 2001	7DF3N	-	-	Malaisse and Parent, 1980	
		7DF3Y	<i>Ugada limbimacula</i> (Karsch 1893)	-	-	-	-	Malaisse and Parent, 1980	

**Table S1. Continued (1)**

Orders	Families	Species_ID	Species (accepted names)	Species (synonyms)	Synon_ID	Vernacular names	References	
Hymenoptera	Apidae	FN46	<i>Apis mellifera</i> L. 1758	* <i>Apis mellifera adansonii</i> Latreille, 1804	5FQ3N	<i>Lounjue</i> <sup>5</sup> , <i>Nzoyi</i> <sup>1</sup>	Takeda, 1990	
		K3MJ	<i>Axestotrigona richardsi</i> (Darchen 1981)	* <i>Trigona (Meliponula) richardsi</i> Darchen, 1981	58QYM	-	DeFoliart, 2002	
		K3MG	<i>Axestotrigona erythra</i> (Schletterer 1891)	* <i>Trigona erythra</i> Schletterer, 1891	58QTC	<i>Kipashi</i> <sup>0</sup>	DeFoliart, 2002	
		K3MK	<i>Axestotrigona simpsoni</i> Moure 1961	<i>Meliponula simpsoni</i> (Moure, 1961)	3ZJC4	-	Mitsuhashi, 2016	
		33X68	<i>Dactylurina staudingeri</i> (Gribodo 1893)	-	-	-	<i>Luchur</i> <sup>5</sup>	Takeda, 1990
		3NZXL	<i>Hypotrigona gribodoi</i> (Magretti 1884)	* <i>Trigona braunsii</i> Kohl, 1894	58QRL	<i>Mbolo</i> <sup>5</sup> , <i>Solwe</i> <sup>0</sup>	Takeda, 1990	
		3NZXH	<i>Hypotrigona araujoi</i> (Michener 1959)	<i>Trigona araujoi</i> Michener, 1959	58QQW	-	Mitsuhashi, 2016	
		3ZJBR	<i>Meliponula bocandei</i> (Spinola 1853)	-	-	-	<i>Kibonge</i> <sup>0</sup>	DeFoliart, 2002
		4K2B5	<i>Plebeïella lendliana</i> (Friese 1900)	* <i>Trigona (Meliponula) lendliana</i> Friese, 1900	3ZJBX	<i>Kanyanta</i> <sup>0</sup>	DeFoliart, 2002	
		R7D7	<i>Carebara junodi</i> Forel 1904	-	-	-	-	Malaisse, 2010
		R7DG	<i>Carebara vidua</i> Smith 1858	-	-	-	-	Kelemu <i>et al.</i> , 2015
		48V7Z	<i>Oecophylla smaragdina</i> (Fabricius 1775)*	<i>Formica smaragdina</i> Fabricius, 1775	4673406 <sup>+</sup>	<i>Matetemena</i> <sup>6</sup> , <i>Buyiri</i> <sup>7</sup>	DeFoliart, 2002	
		Lepidoptera	Brahmaeidae	6BYPG	<i>Dactyloceras lucina</i> Drury 1782	-	-	-
Erebidae	6117033 <sup>(+)</sup>		<i>Achaea catocaloides</i> Guenée 1852	-	-	<i>Minsangula</i> <sup>1</sup>	Latham, 2021	
Hesperiidae	5ZH4V		<i>Coeliades libeon</i> Druce 1875	-	-	-	DeFoliart, 2002	
	4JSBZ		<i>Platylesches moritili</i> Wallengren 1857	-	-	<i>Bitshia</i> <sup>3</sup>	Tango, 1981	
Hesperiidae	7BHRR		<i>Tagiades fesus</i> Fabricius 1781	-	-	<i>Lukowo</i> <sup>3</sup>	Latham, 2008	
Lasiocampidae	58HKZ		<i>Trichopisthia montei</i> Druce 1887	-	-	-	Latham <i>et al.</i> 2021	
Limacodidae	3J6SV		<i>Hadrapphe ethiopica</i> Bethune-Baker 1915	-	-	<i>Tubambe</i> <sup>2</sup>	Malaisse <i>et al.</i> , 2003	
Lymantriidae	4SV9L		<i>Rhyopteryx poecilanthus</i> Collenette 1931	-	-	<i>Nsongi</i> <sup>3</sup>	Latham, 2005	
Noctuidae	65929		<i>Aegocera rectilinea</i> Boisduval 1836	-	-	-	<i>Mikombidila</i> <sup>3</sup>	Numbi Muya <i>et al.</i> 2021
	74D5M		<i>Nyodes prasinodes</i> Prout 1921	-	-	<i>Finamisilu</i> <sup>2</sup>	Malaisse and Parent, 1980	
Notodontidae	487BY		<i>Nyodes vitanvali</i> Laporte 1970	-	-	-	<i>N'teku</i> <sup>1</sup>	Latham, 2021
	66KW6		<i>Anaphe venata</i> Butler 1878	-	-	-	<i>Sohu</i> <sup>9</sup>	Bocquet <i>et al.</i> 2020
	DF56		<i>Anaphe panda</i> Boisduval 1847 *	<i>Anaphe infracta</i> Walsingham, 1885	61868 <sup>LX</sup>	<i>Taku</i> <sup>1</sup> , <i>Finamisia</i> <sup>2</sup>	Malaisse and Parent, 1980	
	5VD47		<i>Antheua insignata</i> Gaede 1928	-	-	<i>Nsanga</i> <sup>3</sup> , <i>Tukoto</i> <sup>2</sup>	Malaisse and Parent, 1980	
	6DJDW		<i>Drapetides uniformis</i> Swinhoe 1907	-	-	<i>Tulongue</i> <sup>2</sup> , <i>Lubeba</i> <sup>2</sup>	Malaisse and Parent, 1980	
6LCM7	<i>Haplozana nigrolineata</i> Aurivillius 1901	-	-	<i>Nsindi</i> <sup>1</sup>	Latham, 2021			
393BC	<i>Elaphrodes lactea</i> Gaede 1932	-	-	<i>Masela</i> <sup>3</sup> , <i>Tungubi</i> <sup>3</sup>	Malaisse and Parent, 1980			
6FN4F	<i>Epanaphe carteri</i> Walsingham 1855	-	-	<i>Lusambwa</i> <sup>2</sup> , <i>Nsindi</i> <sup>3</sup>	Latham, 2005			

**Table S1. Continued (2)**

Orders	Families	Species_ID	Species (accepted names)	Species (synonyms)	Synon_ID	Vernacular names	References		
Lepidoptera		6G3MP	<i>Epidonta brunneomixta</i> Mabilie 1897			<i>Nsanga</i> <sup>0</sup> , <i>Mfundu</i> <sup>1</sup>	Latham, 2021		
	Nymphalidae	4S5WX	<i>Rhenea mediata</i> Walker 1865		-	-		Malaisse and Parent, 1980	
		9J93	<i>Acraea pharsalus</i> Ward 1871				<i>Nkaka nsani</i> <sup>1</sup> , <i>Kikuya</i> <sup>1</sup>	Latham, 2021	
		3387Y	<i>Cymothoe caenis</i> Drury 1773			-	<i>N'sani</i> <sup>3</sup> , <i>Tosake</i> <sup>5</sup>	Latham, 2005	
	Pieridae	RVM4	<i>Catopsilia florella</i> (Fabricius 1775)		-	-		Latham <i>et al.</i> 2021	
	Psychidae	6GWS5	<i>Eumeta cervina</i> Druce, 1888			-	-	DeFoliart, 2002	
		6GX3Z	<i>Eumeta rougeoti</i> Bourgogne 1955			-	-	DeFoliart, 2002	
		6GWS6	<i>Eumeta moddermanni</i> Heylaerts 1888	<i>*Clania moddermanni</i> Heylaerts 1888 (2)		-	-	DeFoliart, 2002	
	Saturniidae	5W97M	<i>Athletes gigas</i> Sonthonnax 1903			-	-	Malaisse and Parent, 1980	
		67X7M	<i>Athletes semialba</i> Sonthonnax 1904			-	<i>Finamuinga</i> <sup>2</sup>	Malaisse and Parent, 1980	
		5W9JF	<i>Aurivillius triramis</i> Rothschild 1907			-	<i>Kaba di mbedi</i> <sup>3</sup>	Konda and Ambühl, 2019	
		6949X	<i>Bunaea alcinoe</i> Stoll 1780 *		<i>Bunaea caffraria</i> (Stoll, 1790)	-	<i>Finamukuntampele</i> <sup>2</sup>	Malaisse and Parent, 1980	
		5X3YC	<i>Bunaeopsis aurantiaca</i> Rothschild 1895			-	<i>Malanga</i> <sup>1</sup> , <i>Bakanya</i> <sup>8</sup>	Malaisse and Parent, 1980	
		5X3YH	<i>Bunaeopsis licharbas</i> Maassen et Weymer 1886			-	<i>Kitete mbika</i> <sup>1</sup>	Latham, 2021	
		VCMP	<i>Cinabra hyperbius</i> Westwood 1881			-	<i>Finkubala</i> <sup>2</sup>	Malaisse and Parent, 1980	
		5Z6XW	<i>Cirina forda</i> Westwood 1849			-	<i>Mingolo</i> <sup>3</sup> , <i>Masamba</i> <sup>6</sup>	Latham, 2005	
		6FVDC	<i>Epiphora bauhiniiae</i> Guérin-Meneville 1829			-	-	Pagezy, 1975	
		6FVG9	<i>Epiphora ploetzi</i> Weymer 1880			-	<i>Mpeketa</i> <sup>6</sup>	Latham <i>et al.</i> 2021	
		6KQVL	<i>Gonimbrasia zambesina</i> Walker 1865			-	<i>Finamiembe</i> <sup>2</sup>	Malaisse and Parent, 1980	
		6L37J	<i>Gonimbrasia hecate</i> Rougeot 1955			-	<i>Likokoloko</i> <sup>9</sup> , <i>Finakibobo</i> <sup>2</sup>	Malaisse and Parent, 1980	
		6L2VQ	<i>Gonimbrasia belina</i> Westwood 1849		<i>*Imbrasia belina</i> Westwood, 1849 (3)	-	-	Kelemu <i>et al.</i> , 2015	
		9915123(4)	<i>Gonimbrasia jamesoni</i> (Druce 1890)			-	<i>Minsendi</i> <sup>1</sup>	Latham, 2021	
		6L37K	<i>Gonimbrasia tyrreha</i> Cramer 1776		<i>*Imbrasia tyrreha</i> (Cramer)	-	-	Mitsuhashi, 2016	
		3H2FL	<i>Goodia kuntzei</i> Dewitz 1881			-	<i>Mitasondwa</i> <sup>2</sup>	Malaisse and Parent, 1980	
		3HW8W	<i>Gyanisa ata</i> Strand 1911			-	<i>Kawanatengo</i> <sup>2</sup>	Malaisse and Parent, 1980	
		3HW8Y	<i>Gyanisa maja</i> Klug 1836			-	<i>Kawanatengo</i> <sup>2</sup>	Mapunzu, 2004	
		3NXXX	<i>Hyperchirioides angulata</i> Aurivillius 1893		<i>*Holocerina angulata</i> (Aurivillius, 1893)			<i>Bitefi</i> <sup>6</sup>	Latham <i>et al.</i> 2021
		3PHRJ	<i>Imbrasia (Nudaurelia) alopia</i> Westwood 1849			-	<i>Minsongo</i> <sup>3</sup> , <i>Malemba</i> <sup>3</sup>	Latham, 2005	
	3PHRM	<i>Imbrasia (Nudaurelia) anthina</i> Karsch 1892			-	<i>Minsuka</i> <sup>3</sup> , <i>Boso boso</i> <sup>3</sup>	Latham, 2005		
	3PHRX	<i>Imbrasia (Nudaurelia) dione</i> Fabricius 1793*		<i>Nudaurelia petiveri</i> Guérin-Méneville, 1875			<i>Finasepe</i> <sup>2</sup> , <i>Bisu</i> <sup>3</sup>	Malaisse and Parent, 1980	
	3PHSP	<i>Imbrasia epimethea</i> Drury 1773 *		<i>Imbrasia nictitans</i> (Fabricius, 1775)	67177		<i>Sogo</i> <sup>9</sup> , <i>Mimpemba</i> <sup>3</sup>	Malaisse and Parent, 1980	



**Table S1. Continued (3)**

Order	Family	Species_ID	Species (accepted names)	Species (synonyms)	Synon_ID	Vernacular names	Reference	
Lepidoptera	Saturniidae	3PHSQ	<i>Imbrasia ertli</i> Rebel 1904	-	-	<i>Mvinzu</i> <sup>1</sup> , <i>Misamisa</i> <sup>3</sup>	Mapunzu, 2004	
		3PHST	<i>Imbrasia obscura</i> Butler 1878	-	-	<i>Minsendi</i> <sup>3</sup>	Latham, 2005	
		3PHSD	<i>Imbrasia (Nudaurelia) rectilineata</i> Sonthonnax 1899	<i>*Gonimbrasia richelmanni</i> (Weymer, 1909)	-	-	<i>Kisansapelebele</i> <sup>2</sup>	Malaise and Parent, 1980
		3PHSF	<i>Imbrasia (Nudaurelia) rubra</i> Bouvier 1920	-	-	-	<i>Kisukubia</i> <sup>2</sup> , <i>Pambala</i> <sup>2</sup>	Malaise and Parent, 1980
		3PHSW	<i>Imbrasia truncata</i> Aurivillius 1909	-	-	-	<i>Likoto</i> <sup>1</sup> , <i>Commando</i> <sup>1</sup>	Lisingo <i>et al.</i> , 2012
		3PHSJ	<i>Imbrasia (Nudaurelia) wahlbergi</i> Boisduval 1847	-	-	-	<i>Minsendi noir</i> <sup>3</sup>	Latham, 2005
		3PHRN	<i>Imbrasia (Nudaurelia) anthinoides</i> Rougeot 1978	-	-	-	<i>Minsuka</i> <sup>3</sup>	Mapunzu, 2004
		3PHS9	<i>Imbrasia (Nudaurelia) macrothyris</i> Rothschild 1906	-	-	-	<i>Kwesu</i> <sup>3</sup> , <i>Ligegele</i> <sup>1</sup>	Malaise and Parent, 1980
		6N6B4	<i>Imbrasia (Nudaurelia) rhodina</i> Rothschild 1907	-	-	-	<i>Minsendi noir</i> <sup>3</sup>	Mapunzu, 2004
		3PHRY	<i>Imbrasia (Nudaurelia) eblis</i> Strecker 1876	-	-	-	<i>Kwesu</i> <sup>3</sup>	Latham, 2005
		3PHSC	<i>Imbrasia (Nudaurelia) oyemensis</i> Rougeot 1955	<i>*Imbrasia (Nudaurelia) melanops</i> (Bouvier, 1930)	6113516 <sup>+</sup>	-	<i>Liboyo</i> <sup>1</sup> , <i>Tumpekete</i> <sup>6</sup>	Latham, 2005
		3VSZ4	<i>Lobobunaea acetes</i> Westwood 1849	-	-	-	<i>Kaba</i> <sup>3</sup>	Latham <i>et al.</i> 2021
		3VSZ9	<i>Lobobunaea goodii</i> Holland 1893	-	-	-	<i>Lingonju</i> <sup>5</sup>	Takeda, 1990
		3VSZG	<i>Lobobunaea phaedusa</i> Drury 1780	-	-	-	<i>Kaba</i> <sup>3</sup>	Mapunzu, 2004
		3VSZJ	<i>Lobobunaea rosea</i> Sonthonnax 1899	-	-	-	<i>Kaba di mvete</i> <sup>3</sup>	Latham <i>et al.</i> 2021
		3VSZK	<i>Lobobunaea saturnus</i> Fabricius 1793	<i>*Lobobunaea angasana</i> (Westwood, 1849)	67104 <sup>LX</sup>	-	<i>Finkubala</i> <sup>2</sup>	Malaise and Parent, 1980
		3Z86F	<i>Melanocera nereis</i> Rothschild 1898	-	-	-	<i>Minsongo</i> <sup>3</sup>	Mapunzu, 2004
		3Z86G	<i>Melanocera parva</i> Rothschild 1907	-	-	-	<i>Finamumangu</i> <sup>2</sup>	Malaise and Parent, 1980
		42Q2Y	<i>Micragone ansorgei</i> Rothschild 1907	-	-	-	-	Malaise and Latham, 2014
		42Q32	<i>Micragone cana</i> Aurivillius 1893	-	-	-	-	Malaise and Parent, 1980
		42Q36	<i>Micragone herilla</i> Westwood 1849	-	-	-	-	DeFoliart, 2002
		4NKKQ	<i>Pseudantheraea discrepans</i> Butler 1878*	<i>Pseudantheraea arnobia</i> (Westwood, 1881)	66999 <sup>LX</sup>	-	<i>Boona</i> <sup>5</sup> , <i>Bitombo</i> <sup>9</sup>	Takeda, 1990
		4NNH5	<i>Pseudimbrasia deyrollei</i> Thomson, J. 1858	-	-	-	<i>Kina-kaputu</i> <sup>2</sup>	Latham <i>et al.</i> 2021
		4NQBW	<i>Pseudobunaea alinda</i> Drury 1870	-	-	-	<i>Kaba di mbedi</i> <sup>1</sup>	Latham, 2021
		4NQC8	<i>Pseudobunaea pallens</i> Sonthonnax 1899	-	-	-	<i>Kaba</i> <sup>1</sup>	Latham, 2021
		54JVS	<i>Tagoropsis flavinata</i> Walker 1865	<i>Tagoropsis natalensis</i> Felder, 1874	1867458 <sup>+</sup>	-	<i>Kisansapelebele</i> <sup>2</sup>	Malaise and Parent, 1980
		54JW6	<i>Tagoropsis sabulosa</i> Rothschild 1907	-	-	-	<i>Kisansapelebele</i> <sup>2</sup>	Latham <i>et al.</i> 2021
7DZK3	<i>Urota sinope</i> Westwood 1849	-	-	-	<i>Finakisungwa</i> <sup>2</sup>	Malaise and Parent, 1980		

**Table S1. Continued (4)**

Order	Family	Species_ID	Species (accepted names)	Species (synonyms)	Synon_ID	Vernacular names	Reference
<b>Lepidoptera</b>	<b>Sphingidae</b>	7F36D	<i>Usta terpsichore</i> Maassen et Weyding 1885	-	-	<i>Finashimpanpa</i> <sup>2</sup>	Malaisse and Parent, 1980
		9984974 <sup>+</sup>	<i>Samia ricini</i> (Jones 1791)	-	-	<i>Nsani gata</i> <sup>3</sup>	Salvation Army, 2019
		64GRC	<i>Acherontia atropos</i> L. 1758	-	-	<i>Munsona sona</i> <sup>3</sup>	Latham, 2005
		B7YD	<i>Agrius convolvuli</i> L. 1758	<i>Herse convolvuli</i> (L., 1758)	-	-	Latham, 2005
		345MT	<i>Daphnis nerii</i> L. 1758	-	-	<i>Kindengula</i> <sup>1</sup>	Latham, 2021
		M3BK	<i>Hippotion eson</i> Cramer 1779	-	-	-	Malaisse and Lognay 2003
		3M3BX	<i>Hippotion osiris</i> Dalman 1823	-	-	<i>Idishi</i> (in Mbala),	Tango, 1981
		1862765	<i>Hyles livornica</i> (Esper, 1780)	-	-	<i>Kidishi vert</i> <sup>3</sup>	Latham et al. 2021
		3W4GQ	<i>Lophostethus dumolinii</i> Angas 1849	-	-	<i>Mansanga</i> <sup>6</sup>	Tango, 1981
		46Y7C	<i>Nephele comma</i> Hopffer 1857	-	-	<i>Livuli</i> (in Niemba; Katanga)	Latham et al. 2021
		4JYTD	<i>Platysphinx stigmatica</i> Mabille 1878	-	-	<i>Munsona</i> <sup>3</sup>	Latham, 2005
		10656421	<i>Polyptychus guessfeldti</i> Dewitz 1879	-	-	<i>Finamukuntampe</i> <sup>2</sup>	Latham et al. 2021
		<b>Odonata</b>	<b>Libellulidae</b>	593VM	<i>Trithemis arteriosa</i> Burmeister 1839	-	-
<b>Orthoptera</b>	<b>Acrididae</b>	8SZB	<i>Acanthacris ruficornis</i> (Fabricius 1787)	-	-	-	Malaisse and Parent, 1980
		66J5H	<i>Anacridium burri</i> Dirsh & Uvarov 1953	-	-	-	Malaisse and Parent, 1980
		33JVM	<i>Cyrtacanthacris aeruginosa</i> (Stoll, C. 1813)	-	-	-	Malaisse and Parent, 1980
		3MJ37	<i>Homoxyrhopes punctipennis</i> (Walker F. 1870)	-	-	-	DeFoliart, 2002
		72LGF	<i>Locusta migratoria</i> (L. 1758)	-	-	<i>M'panzi</i> <sup>4</sup>	Ombeni and Munyuli, 2017
		47NN7	<i>Nomadacris septemfasciata</i> (Serville 1838)*	<i>Cyrtacanthacris septemfasciata</i> (Serville, 1838)	33JY7	-	DeFoliart, 2002
		756H9	<i>Ornithacris pictula</i> (Walker, F. 1870)	<i>*Ornithacris pictula magnifica</i> (Bolivar, I., 1882)	5K2RT	-	Malaisse and Parent, 1997
	<b>Gryllidae</b>	4KT9K	<i>Poecilocerastis tricolor</i> (Bolivar, I. 1912)	-	-	-	Malaisse, 2005
		N379	<i>Brachytrupes membranaceus</i> (Drury 1770)	-	-	<i>Makelele</i> <sup>1</sup>	DeFoliart, 2002
		3HGL5	<i>Gryllus (Gryllus) bimaculatus</i> De Geer 1773	-	-	<i>Likelele</i> <sup>1</sup>	Kelemu et al., 2015
	<b>Gryllotalpidae</b>	46FJZ	<i>Neocurtila hexadactyla</i> (Perty 1832)	<i>Gryllotalpa longipennis</i> Scudder, S.H. 1862	6KTN5	<i>N'kwananzi</i> <sup>4</sup>	Ombeni and Munyuli, 2017
	<b>Pyrgomorphidae</b>	7GF7X	<i>Zonocerus variegatus</i> (L. 1758)	-	-	-	Kekeunou and Tamesse, 2016
	<b>Tettigoniidae</b>	4HDS5	<i>Phymateus (Phymateus) viridipes</i> Stål 1873	-	-	-	Malaisse and Parent, 1980
4TRBL		<i>Ruspolia differens</i> (Serville 1838)	-	-	<i>Shonkonono</i> <sup>2</sup>	Malaisse and Parent, 1980	

**Table S1. Continued (5)**

Order	Family	Species_ID	Species (accepted names)	Species (synonyms)	Synon_ID	Vernacular names	Reference
Orthoptera	Tettigoniidae	4TRCH	<i>Ruspolia nitidula</i> (Scopoli 1786)	<i>Homorocoryphus nitidulus</i> (Scopoli, 1786) <sup>(4)</sup>	1686461 <sup>+</sup>	-	DeFoliart, 2002
Neuroptera	Myrmeleontidae	3J9H9	<i>Hagenomyia tristis</i> (Walker 1853)	-	-	-	Malaisse, 2010
		3RNTP	<i>Lachlathetes moestus</i> (Hagen 1853)	-	-	-	Malaisse, 2010
Mantodea	Mantidae	4Z27V	<i>Sphodromantis centralis</i> Rehn 1914	-	-	Likwanga-nzala <sup>1</sup>	Malaisse, 2010

- (1) The IDs (of species names or synonyms) are from <https://www.catalogueoflife.org>. Otherwise they are from: <sup>(LX)</sup> <https://www.nhm.ac.uk/our-science/data/lepindex> or <sup>(4)</sup> <https://www.gbif.org/fr>.
- (2) For Species (accepted name): <sup>(1)</sup> *Termes amplus* Sjöstedt, 1899 has priority over *Termes gabonensis* Sjöstedt, 1900 used by DeFoliart (2002). *T. gabonensis* Sjöstedt, 1900 is a new name given to *T. mülleri* Sjöstedt, 1898, as it was preoccupied by *T. mülleri* Ihering 1887 - according to Krishna et al. (2013).
- (3) The character “\*” on Species (accepted names) or Species (synonyms) indicates which one has been used by the reference reported in this table.
- (4) For Species (synonyms): <sup>(2)</sup> *Clania moddermanni* (author?) used by DeFoliart (2002) is a synonym of *Eumeta moddermanni* Heylaerts, 1888 – according to Bourgogne (1955). <sup>(3)</sup> Mopane worm (*Gonimbrasia belina*) is also known as *Imbrasia belina* – according to Kwiri et al. (2020). <sup>(4)</sup> *Homorocoryphus* species have been relegated to the genus *Ruspolia* – according to Bailey and McCrae (1978).
- (5) Stages and castes consumed are: wA = Winged Adult, A = Adult, E = Eggs, L = Larvae, N = Nymph, P = Pupae, Q = Queen, S = Soldier. Hyphen (-) stands for unavailable data.
- (6) For Vernacular names, languages used (with their ISO 639-3 language identifiers and total number of users worldwide given in parentheses - according to *Ethnologue*) are as follows: <sup>1</sup> Lingala (lin: 2,292,520.), <sup>2</sup> Chibemba (bem: 4,110,000), <sup>3</sup> Kikongo (kon: 6,932,500.), <sup>4</sup> Mashi (shr: 654,000), <sup>5</sup> Ngandu (nxd: 220,000), <sup>6</sup> Tshiluba (lua: 7,060,000), <sup>7</sup> Kinande (nnb: 903,000), <sup>8</sup> Swahili (swc: 11,143,000), <sup>9</sup> Poke (pof: 46,000), <sup>0</sup> The local language used is undetermined (Source : <https://www.ethnologue.com/browse/codes>. Website consulted on 18 January 2022).
- (7) For host plants number: the numbers (1 – 30) indicate how many host plant species are recorded in this study. For 38 selected edible lepidopterans, the ecological associations with their host plants countrywide are illustrated in Table S2. Hyphen (-) stands for data not compiled in this study as the species is not listed in Table S2. For Letters: “A” = The species is a pest of Areaceae, “C” = The species is a pest of diverse crops., “F” = The species is reported to feed mainly on the leaves of *Boerhavia diffusa* L. and secondarily on other plants of food value (e.g., *Arachis hypogaea* L., *Brassica oleracea* L., *Manihot esculenta* Crantz, *Phaseolus vulgaris* L., *Zea mays* L.). Preliminary results for its breeding on *B. diffusa* under uncontrolled conditions have been recently provided (Numbi Muya et al. 2021).

**Annexe C -**

**Table S2.** Recorded host plants for main edible Lepidopteran species (List of 35 families, 79 genera and 122 host plant species for 38 selected lepidopteran species). Hyphen (-) indicates no reported association between species of insects (columns) and host plants (rows) based on the literature reviewed in the current study.

Edible lepidopteran species	Food Plant (Species names, uses or status)																															
	<i>A. insignata</i>	<i>A. gigas</i>	<i>A. semialba</i>	<i>B. alcinoe</i>	<i>B. aurantiaca</i>	<i>C. fonda</i>	<i>C. caenis</i>	<i>E. lactea</i>	<i>G. zambesina</i>	<i>G. richelmanni</i>	<i>G. hecate</i>	<i>G. kumzei</i>	<i>I. obscura</i>	<i>I. epimethea</i>	<i>I. atopia</i>	<i>I. anthina</i>	<i>I. ditone</i>	<i>I. ertli</i>	<i>I. rubra</i>	<i>I. truncata</i>	<i>I. macrothyris</i>	<i>I. anthinoides</i>	<i>I. oyemensis</i>	<i>I. eblis</i>	<i>L. phaedusa</i>	<i>L. saturnus</i>	<i>M. nereis</i>	<i>N. prasimodes</i>	<i>P. discrepans</i>	<i>U. terpsichore</i>		
<b>Achariaceae</b>																																
<i>Caloncoba crepiniana</i> (De W. & T. D.) Gilg <sup>1</sup>	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Caloncoba subtomentosa</i> Gilg	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Oncoba welwitschii</i> Oliv. <sup>1,8</sup>	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Anacardiaceae</b>																																
<i>Mangifera indica</i> L. <sup>1,3,4,5,6,7,8,9</sup>	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	1	-	-	-
<i>Sclerocarya birrea</i> (A. Rich.) Hochst. <sup>1,2,4,5,6,8,9</sup>	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Spondias dulcis</i> Sol. ex G. Forst. <sup>1,3,5,6,8,9</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
<i>Spondias mombin</i> Jacq. <sup>1,5,6,8,9,F</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
<b>Annonaceae</b>																																
<i>Annona senegalensis</i> Pers. <sup>1,2,3,4,5,6,7,8,9,F</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
<b>Apocynaceae</b>																																
<i>Diplorhynchus condylocarpon</i> (M.A.) Pich. <sup>1,3,8,C,F</sup>	-	-	1	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
<i>Funtumia africana</i> (Benth.) Stapf <sup>1,3,5,7,8,C,F</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Funtumia elastica</i> (Preuss) Stapf <sup>1,3,7,8,F</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Holarrhena floribunda</i> (G. D.) Dur. & Sch. <sup>1,5,7,8,9,F</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Landolphia kirkii</i> Dyer <sup>1</sup>	1	-	-	-	-	1	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Balanitoideae</b>																																
<i>Balanites aegyptiaca</i> (L.) Delile <sup>1,2,3,4,7,8,9,F</sup>	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Burseraceae</b>																																
<i>Canarium schweinfurthii</i> Engl. <sup>1,3,5,6,7,8</sup>	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
<i>Dacryodes edulis</i> (G. Don) H. J. Lam <sup>1,3,5,6,7,8</sup>	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Cannabaceae</b>																																
<i>Celtis gomphophylla</i> Baker <sup>1,3,8</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Combretaceae</b>																																
<i>Combretum molle</i> R. Br. ex G. Don	1	-	-	-	-	1	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Combretum psidioides</i> Welw. <sup>3</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Terminalia mollis</i> M. A. Lawson <sup>1,3,4,5,8</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Table S2. Continued (1/5)**

	<i>A. insignata</i>	<i>A. gigas</i>	<i>A. semialba</i>	<i>B. alcinoe</i>	<i>B. aurantiaca</i>	<i>C. forda</i>	<i>C. caenis</i>	<i>E. lactea</i>	<i>G. zambesina</i>	<i>G. richelmanni</i>	<i>G. hecate</i>	<i>G. kunitzei</i>	<i>I. obscura</i>	<i>I. epimelthea</i>	<i>I. alopia</i>	<i>I. anthina</i>	<i>I. dione</i>	<i>I. ertli</i>	<i>I. rubra</i>	<i>I. truncata</i>	<i>I. macrothyris</i>	<i>I. anthinoides</i>	<i>I. oyemensis</i>	<i>I. ebis</i>	<i>L. phaedusa</i>	<i>L. saturnus</i>	<i>M. nereis</i>	<i>N. prasinodes</i>	<i>P. discrepans</i>	<i>U. terpsichore</i>	
<b>Connaraceae</b>																															
<i>Manotes expansa</i> Sol. ex Planch. <sup>1,F</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-
<b>Denstaedtiaceae</b>																															
<i>Pteridium centrali-africanum</i> (H. ex R. E.) Al. <sup>1,2,F</sup>	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
<b>Dipterocarpaceae</b>																															
<i>Monotes africanus</i> A. DC. <sup>1,3,9,CS</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>Monotes glaber</i> Sprague <sup>1,8,S</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>Monotes katangensis</i> (De Wild.) De Wild.	1	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
<b>Ebenaceae</b>																															
<i>Diospyros mespiliformis</i> Hochst. ex A.DC. <sup>1,6,8,9</sup>	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Euphorbiaceae</b>																															
<i>Macaranga monandra</i> Müll. Arg. <sup>1,3</sup>	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Macaranga spinosa</i> Müll.Arg. <sup>1,3</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ricinodendron heudelotii</i> (Baill.) Hecke1 <sup>1,4,6,7,8,9,F,S</sup>	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Fabaceae</b>																															
<i>Acacia auriculiformis</i> A.Cun. ex Benth. <sup>1,3,4,5,8,9</sup>	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	1	1	-	-	1	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-
<i>Acacia polyacantha</i> Willd. <sup>1,3,5,7,8,9,F</sup>	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Azelia quanzensis</i> Welw. <sup>1,3,4,5,8,F</sup>	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Albizia adianthifolia</i> (Schum.) W.Wight <sup>1,3,8</sup>	-	-	1	1	-	-	-	1	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
<i>Albizia antunesiana</i> Harms <sup>1,3,8,9</sup>	1	-	-	-	-	1	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
<i>Albizia ferruginea</i> (Guill. & Perr.) Benth. <sup>1,3,5,7,8,9,F</sup>	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-
<i>Albizia gummifera</i> (J.F. Gmel.) C.A.Sm. <sup>1,3,5,8,F</sup>	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Albizia lebbeck</i> (L.) Benth. <sup>1,3,4,5,7,8,9</sup>	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Albizia versicolor</i> Oliv. <sup>1,3,5,8,F</sup>	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
<i>Amphimas pterocarpoides</i> Harms <sup>1,8</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Amphimas ferrugineus</i> Pellegr. <sup>1,8</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Baphia obovata</i> Schinz <sup>1,4,9,F</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Table S2. Continued (2/5)**

Food Plant (Species names, uses or status)	A. panda	A. insignata	A. gigas	A. semiaba	B. atcinoe	C. hyperbius	C. forda	D. uniformis	E. lactea	E. carteri	G. zambesina	G. richelmanni	G. hecate	G. kuitzei	G. ata	H. ethiopica	I. obscura	I. epimeothea	I. alopia	I. anihina	I. ditone	I. ertli	I. rubra	I. truncata	I. macrothyris	I. anthinoides	I. oyemensis	L. saturnus	M. parva	U. tersichore
<b>Fabaceae</b>																														
<i>Baphia bequaertii</i> De Wild.	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	
<i>Brachystegia boehmii</i> Taub. <sup>1,3,5,8,C</sup>	-	1	-	1	1	-	1	1	1	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	
<i>Brachystegia laurentii</i> (De Wild.) Hoyle <sup>1,8,F</sup>	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Brachystegia longifolia</i> Benth. <sup>1,3,8,F</sup>	-	1	-	1	-	-	1	-	1	-	-	1	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	
<i>Brachystegia microphylla</i> Harms <sup>3,F</sup>	-	1	-	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	
<i>Brachystegia spiciformis</i> Benth. <sup>1,3</sup>	-	1	-	1	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	
<i>Brachystegia stipulata</i> De Wild. <sup>3,8,F</sup>	-	1	-	-	-	-	1	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	
<i>Brachystegia taxifolia</i> Harms <sup>F</sup>	-	1	1	1	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	-	
<i>Brachystegia utilis</i> Burt Davy & Hutch. <sup>3,4,9,F</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Burkea africana</i> Hook. <sup>1,3,4,5,7,8,9,C,FS</sup>	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Dichrostachys cinerea</i> (L.) Wi. & Arn. <sup>1,3,5,9,C,F</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Entada abyssinica</i> A.Rich. <sup>1,3,8</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Entada africana</i> Guill. & Perr. <sup>1,3,5,8,9,C</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Erythrina abyssinica</i> DC. <sup>1,3,5,8,9,C</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Erythrophleum africanum</i> (Benth.) Harms <sup>1,3,8</sup>	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Erythrophleum suaveolens</i> (G. & P.) Bren. <sup>1,3,4,5,8</sup>	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	
<i>Gossweilerodendron balsamiferum</i> (V.) Harms <sup>EN</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	
<i>Isoperlinia angolensis</i> (B.) Hoyle & Brenan <sup>1,3,8</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	-	
<i>Julbernardia globiflora</i> (Benth.) Troupin <sup>1,3,5,8,C,F</sup>	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	
<i>Julbernardia paniculata</i> (Benth.) Troup. <sup>1,3,4,8,F</sup>	-	1	1	1	1	1	-	1	1	-	1	1	1	-	1	1	-	1	-	-	-	1	-	-	1	-	-	1	1	
<i>Leptoderris congolensis</i> (De Wild.) Dunn <sup>1</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Milletia eetveldeana</i> (Micheli) Hauman <sup>1,8</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Milletia laurentii</i> De Wild. <sup>EN</sup>	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Milletia versicolor</i> Baker <sup>1,5,8</sup>	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Milletia barteri</i> (Benth.) Dunn <sup>1,8,F</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Pentaclethra eetveldeana</i> De Wil. & Dur. <sup>1,3,7,8</sup>	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	
<i>Piliostigma thonningii</i> (Schum.) Mil.-Red. <sup>1,3,4,6,8,9,F</sup>	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Piptadeniastrum africanum</i> (Hook.f.) Bren. <sup>1,8,F</sup>	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	
<i>Pterocarpus angolensis</i> DC. <sup>1,5,7,8,9,C</sup>	-	1	-	1	1	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	
<i>Pterocarpus tinctorius</i> Welw. <sup>1,3,4,8</sup>	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Scorodophloeus zenkeri</i> Harms <sup>1,2,3,8,C,S</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Gentianaceae</b>																														
<i>Anthocleista schweinfurthii</i> Gilg <sup>1,3,5,8</sup>	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

**Table S2. Continued (3/5)**

	<i>A. panda</i>	<i>A. insignata</i>	<i>A. gigas</i>	<i>A. semialba</i>	<i>B. alcinoe</i>	<i>C. hyperbius</i>	<i>C. fonda</i>	<i>D. uniformis</i>	<i>E. lactea</i>	<i>E. carteri</i>	<i>G. zambesina</i>	<i>G. richelmanni</i>	<i>G. hecate</i>	<i>G. kuntzei</i>	<i>G. ata</i>	<i>H. ethiopica</i>	<i>I. obscura</i>	<i>I. epimethea</i>	<i>I. alopia</i>	<i>I. anthina</i>	<i>I. dione</i>	<i>I. ertli</i>	<i>I. rubra</i>	<i>I. truncata</i>	<i>I. macrothyris</i>	<i>I. anthinoides</i>	<i>I. oyemensis</i>	<i>L. saturnus</i>	<i>M. parva</i>	<i>U. terpsichore</i>	
<b>Hypericaceae</b>																															
<i>Psorospermum febrifugum</i> Spach <sup>1,5</sup>	-	1	-	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Lamiaceae</b>																															
<i>Vitex madiensis</i> Oliv. <sup>1,3,6,F</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Lauraceae</b>																															
<i>Persea americana</i> Mill. <sup>1,3,4,5,6,7,8,9</sup>	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Lecythidaceae</b>																															
<i>Petersianthus macrocarpus</i> (P. Bea.) Liben <sup>1,3,5,8</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-
<b>Loganiaceae</b>																															
<i>Strychnos innocua</i> Delile <sup>1,3,6,8,9,C,F,S</sup>	-	1	-	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Strychnos potatorum</i> L. fil. <sup>1,8</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Malvaceae</b>																															
<i>Strychnos pungens</i> Soler. <sup>1,6</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eribroma oblonga</i> (Mast.) Pierre ex A. Chev. <sup>VU</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sterculia tragacantha</i> Lindl. <sup>1,8</sup>	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Triplochiton scleroxylon</i> K. Schum. <sup>1,8,F</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Meliaceae</b>																															
<i>Ekebergia benguelensis</i> Welw. ex C. DC. <sup>1</sup>	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Entandrophragma angolense</i> (Wel.) C. DC. <sup>VU</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

- (1) For Food plant uses: 1 = Medicinal; 2 = Food or Vegetables; 3 = Fuel or Coal; 4 = Dye or Tannins; 5 = Ornamental; 6 = Fruit use; 7 = Vegetable oil; 8 = Timber; 9 = Forage or Feed; C = Carbohydrates or Starch; F = Fiber; S = Spices and condiments; P = Pulses and cereals (Source: <https://www.prota4u.org/database/search.asp>. Website consulted on 19 January 2022).
- (2) For Status: NT = Near Threatened; VU = Vulnerable; EN = Endangered; CR = Critically Endangered (Source: <https://www.iucnredlist.org>. Website consulted on 20 January 2022).

**Table S2. Continued (4/5)**

Food Plant (Species names, uses or status)	<i>A. atropos</i>	<i>A. panda</i>	<i>A. insignata</i>	<i>A. gigas</i>	<i>A. semialba</i>	<i>B. alcinoe</i>	<i>B. aurantiaca</i>	<i>C. hyperbius</i>	<i>C. forda</i>	<i>E. lactea</i>	<i>G. richelmanni</i>	<i>G. hecate</i>	<i>I. obscura</i>	<i>I. epimethea</i>	<i>I. atopia</i>	<i>I. anthina</i>	<i>I. dione</i>	<i>I. ertli</i>	<i>I. rubra</i>	<i>I. truncata</i>	<i>I. macrothyris</i>	<i>I. anthinoides</i>	<i>I. oyemensis</i>	<i>I. eblis</i>	<i>L. phaedusa</i>	<i>L. saturnus</i>	<i>M. parva</i>	<i>M. nereis</i>	<i>N. prasinodes</i>	<i>P. discrepans</i>
<b>Meliaceae</b>																														
<i>Entandrophragma candollei</i> Harms <sup>VU</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1
<i>Entandrophragma cylindricum</i> (Sprague) <sup>VU</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1
<i>Entandrophragma utile</i> (D. & S.) Sprague <sup>VU</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
<i>Khaya anthothea</i> (Welw.) C. DC. <sup>VU</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Moraceae</b>																														
<i>Chlorophora excelsa</i> (Wel.) Ben. & Hook. F. <sup>NT</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Myristicaceae</b>																														
<i>Coelocaryon botryoides</i> Vermeesen <sup>8</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>Pycnanthus angolensis</i> (Welw.) Exell <sup>1,3,7,8</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>Staudtia kamerunensis</i> Warb. <sup>1,8</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
<b>Myrtaceae</b>																														
<i>Psidium guajava</i> L. <sup>1,3,5,6,8,C</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Syzygium guineense</i> (Willd.) DC. <sup>1,3,4,6,8</sup>	-	-	-	-	1	1	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
<b>Ochnaceae</b>																														
<i>Ochna afzelii</i> R. Br. ex Oliv. <sup>1</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Ochna schweinfurthiana</i> F. Hoffm. <sup>1,4</sup>	-	-	1	-	-	1	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
<b>Peraceae</b>																														
<i>Chaetocarpus africanus</i> Pax <sup>8</sup>	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	1	-	-
<b>Phyllanthaceae</b>																														
<i>Antidesma membranaceum</i> Müll. Arg. <sup>1</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Antidesma venosum</i> E. Mey. ex Tul. <sup>1,6</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Bridelia atroviridis</i> Müll. Arg. <sup>1</sup>	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Bridelia duvigneaudii</i> J. Léonard <sup>6</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Bridelia ndellensis</i> Beille <sup>1</sup>	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Hymenocardia acida</i> Tul. <sup>1,3,4,9</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
<i>Hymenocardia ulmoides</i> Oliv. <sup>1,3,8</sup>	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pseudolachnostylis maprouneifolia</i> Pax <sup>1,3,4,5,8</sup>	-	1	1	-	1	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
<i>Uapaca guineensis</i> Müll. Arg. <sup>1,3,8,F</sup>	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>Uapaca kirkiana</i> Müll. Arg. <sup>1,3,4,6,8,9,C</sup>	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
<i>Uapaca nitida</i> Müll. Arg. <sup>1,3,6,8</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Uapaca pilosa</i> Hutch. <sup>6</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Uapaca sansibarica</i> Pax <sup>1,3,6,8</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



**Table S2.** *Continued 5/5)*

	<i>A. atropos</i>	<i>A. panda</i>	<i>A. insignata</i>	<i>A. gigas</i>	<i>A. semialba</i>	<i>B. alcinoe</i>	<i>B. aurantiaca</i>	<i>C. hyperbius</i>	<i>C. forda</i>	<i>E. lactea</i>	<i>G. richelmanni</i>	<i>G. hecate</i>	<i>I. obscura</i>	<i>I. epimethea</i>	<i>I. alopia</i>	<i>I. anihina</i>	<i>I. dione</i>	<i>I. ertli</i>	<i>I. rubra</i>	<i>I. truncata</i>	<i>I. macrothyris</i>	<i>I. anihimoides</i>	<i>I. oyemensis</i>	<i>I. eblis</i>	<i>L. phaedusa</i>	<i>L. saturnus</i>	<i>M. parva</i>	<i>M. nereis</i>	<i>N. prasinodes</i>	<i>P. discrepans</i>	
<b>Poaceae</b>																															
<i>Hyparrhenia diplandra</i> (Hack.) Stapf <sup>9</sup>	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Imperata cylindrica</i> (L.) P.Beauv. <sup>1,5,9,F</sup>	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Rhamnaceae</b>																															
<i>Maesopsis eminii</i> Engl. <sup>1,3,6,8,9</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	
<b>Rubiaceae</b>																															
<i>Crossopteryx febrifuga</i> (Afz. ex G.Don) Ben. <sup>1,9</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	
<i>Nauclea latifolia</i> Sm. <sup>1,F</sup>	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Tapiphyllum discolor</i> (De Wild.) Robyns	-	-	1	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Tetrapleura tetraptera</i> (S. & T.) Taub. <sup>1,6,8</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Sapotaceae</b>																															
<i>Autranella congolensis</i> (De Wild.) A.Chev. <sup>CR</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Solanaceae</b>																															
<i>Solanum macrocarpon</i> L. <sup>1,2,6</sup>	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Urticaceae</b>																															
<i>Musanga cecropioides</i> R. Br. apud Tedlie <sup>1,3,8,C,F</sup>	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Zingiberaceae</b>																															
<i>Aframomum alboviolaceum</i> (Ridl.) K.Schum. <sup>1,6</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Aframomum giganteum</i> (Oliv. & D. Hanb.) <sup>1,6</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	

(3) For Food plant uses: 1 = Medicinal; 2 = Food or Vegetables; 3 = Fuel or Coal; 4 = Dye or Tannins; 5 = Ornamental; 6 = Fruit use; 7 = Vegetable oil; 8 = Timber; 9 = Forage or Feed; C = Carbohydrates or Starch; F = Fiber; S = Spices and condiments; P = Pulses and cereals (*Source*: <https://www.prota4u.org/database/search.asp>. Website consulted on 19 January 2022).

(4) For Status: **NT** = Near Threatened; **VU** = Vulnerable; **EN** = Endangered; **CR** = Critically Endangered (*Source*: <https://www.iucnredlist.org>. Website consulted on 20 January 2022).

## **III.2. Could entomophagy contribute to build resilient food system? Insights into insect consumption patterns in Kinshasa (DRC) on the COVID-19's era**

### **Abstract**

The implementation of restrictions due to COVID-19 disrupted trade systems and threatened food security in many countries. Given the urgency of mitigation measures in DRC and to build resilience of the local food system, this study was designed to fill knowledge gap concerning insect and meat consumption patterns during the lockdown of Kinshasa. Results indicated that 77.4 % of respondents consumed at least one species of insects 6 days/month (with  $128.7 \pm 8.8$  g/pers/month), irrespective of their socio-demographic features. As for the impacts of the pandemic, 71.9 % of consumers reported no disruption of insect supply, suggesting edible insects as resilient to shocks. Based on these findings, the study pointed out resilient local insect species that should be targeted for mass production. Furthermore, given that the pivotal role of informal markets in ensuring access (despite restrictions of mobility) has been clearly pointed out, and that the results on motives for entomophagy endorsed the image of insects as nutritious products with immunological benefits (and with no risk of transmission of zoonotic infections), the study supported the call for a better management of the informal trading of insects. This should both foster resilience of the food system (through short supply chains), and allow the sector to participate productively to economic growth. Finally, the PCA findings shed light on insect and animal-based foodstuffs consumption patterns, suggesting inequalities and variations among consumers with different socio-demographic characteristics. The current study supported entomophagy as a promising route to mitigate food and nutritional insecurity in DRC.

### **Keywords**

Coronavirus, edible insects, local food, food security, resilience.

## 1. Introduction

The outbreak of the pandemic caused by the novel coronavirus SARS-CoV-2 and responsible for the current worldwide sanitary crisis unpredictably affected many countries around the globe (Galanakis, 2020; Raoult *et al.*, 2020; WHO, 2020a; WHO 2020b). With particular reference to developing countries in Africa, there was belief that the healthcare system would be adversely affected to a greater extent than in other parts of the world, due to numerous challenges on the continent (including notably overcrowding in urban areas, poverty, the fragility of public services and health system constraints, weak institutions and ineffective policies, crop pests, diseases and the adverse effects of climate change, high dependence on trade for inputs supply, insecurity and conflicts) (Nchanji *et al.*, 2021a; WEF, 2020; Zurayk, 2020). However, doomsday predictions seem to be defied, considering reports highlighting how well most African countries have fared against all odds (Abdool Karim *et al.*, 2021; Bloomberg, 2020; Eboko and Schlimmer, 2020).

Gradually, focus is shifting from the fatal effects of COVID-19 (broadly referred to as ‘coronavirus’) to the threat it poses on the production and daily supply of food, especially for subsistence farmers or smallholders, children and vulnerable populations (FAO, 2020b; Mukiibi, 2020; UNDP, 2020). Indeed, restrictive measures introduced in many African countries to limit the spread of the COVID-19 pandemic (*e.g.* the closure of canteens or schools, mandatory stay-at home, social distancing, banning travels and border closures) affected eating patterns of millions people and induced disruptive shocks to food systems - based notably on the situation report released by the Food and Agriculture Organization (FAO) concerning West African countries (including Burkina Faso, Ivory Coast, Gambia, Ghana, Guinea, Liberia, Mali and Senegal), Eastern Africa (*e.g.* Burundi, Rwanda, Kenya and Uganda), Central Africa (*e.g.* Cameroon, Central African Republic, Chad, Democratic Republic of the Congo) and South African countries (including Angola, Botswana and South Africa) (FAO, 2020a).

Therefore, to mitigate the negative impacts of the pandemic, shortening food supply chains and strengthening local food production have been pointed out as key measures to be enacted at national and local levels (FAO, 2020b). In this regard, traditional local foods (*e.g.* non-timber forest products) (Balinga *et al.*, 2004; Malaisse, 1997; Mbemba and Remacle, 1992; Ombeni and Munyuli, 2017; Tabuna, 2000) deserve more attention as they could benefit to Sub-Saharan African (SSA) cities and towns in building resilience to disruptive shocks to food systems (UNDP, 2020). Among them, edible insects particularly should be carefully considered as they encompass multiple dimensions of sustainability at different scales (economic, social, environmental) that could help SSA countries in keeping the food supply chains going (Baiano, 2020; DeFoliart, 2002; Kelemu *et al.*, 2015; Paoletti, 2005; Ramos-Elorduy, 2009; Van Huis, 2020; Van Huis *et al.*, 2013).

This is in line with reports related to entomophagy (*i.e.* the practice of eating edible insects) in the Democratic Republic of the Congo (DRC) specifically, since a crescent number of researches corroborate the importance of edible insect consumption in this Central African country (Bocquet *et al.*, 2020; Bomolo *et al.*, 2017; Halloran *et al.*, 2018; Jongema, 2017; Latham, 2005; Madamo *et al.*, 2022; Malaisse, 1997; Mapunzu, 2004; Mitsuhashi, 2016; Nsevolo *et al.*, 2016). As a matter of facts, it has been documented 148 edible insects belonging to the orders Lepidoptera (89 species), Orthoptera (15 species), Coleoptera and Hymenoptera (12 species each), Hemiptera (9 species), Blattodea (7 species), Neuroptera (2 species), Odonata and Mantodea (1 species each) (Nsevolo *et al.*, 2022a). Moreover, for Kinshasa (the official administrative, economic, and cultural center of the country); it has been reported that millions people (*viz.* 80.0 % of the inhabitants of the capital city) consume at least one species of edible insects as a regular part of diets (*viz.* 5 days per month with 66 to 154 g/person/day) and not as an emergency food item (Nsevolo *et al.*, 2016). Furthermore, the trade of edible insect species in the country - reported as an income-generating activity involving many actors nationwide (collectors, resellers, wholesalers, retailers, end-users), is contributing to youth and women empowerment as well as to the wellbeing of households (Malaisse, 2005; Mapunzu, 2004; Nsevolo *et al.*, 2014).

However, after the COVID-19 outbreak in the capital city (on March 2020), the Congolese government declared a state of emergency and set up a series of precautionary measures including the lockdown in Kinshasa and then across the country, border restrictions, the suspension of flights from COVID-19 infected countries, self-quarantine of Congolese returnees, the closure of schools and universities as well as the prohibition of mass gatherings of more than 20 individuals (Juma, 2020). Since cases of infected people was on the rise, public authorities gradually enforced strict directives (*i.e.* fines for not wearing mask in public, compulsory limitation of ridership in public transport), closed the main official market and quarantined the economic and administrative center of the capital city, resulting in job losses, skyrocketing prices, business slowdown and economic recession (Pinshi, 2020; UNDP, 2020).

Unfortunately, the extent to which aforementioned measures affected either the national food system and the different actors of the supply chain or Congolese consumers (taking into account their sociodemographic characteristics) is under-documented to date. Moreover, there is little-to-no research in DRC concerning the immediate impacts of the pandemic on local food production and supply chains despite reports that the implementation of coronavirus containment measures disrupted the trade of local food commodities in neighboring countries (Aday and Aday, 2020; Mukiibi, 2020; Nchanji *et al.*, 2021b) and threatened food security or economic growth as well as the achievement of the United Nations Sustainable Development Goals number 1 and 2 (FAO, 2020a; Nchanji and Lutomia, 2021; UNDP, 2020).

Owing to these concerns, this study aimed at documenting entomophagy practices since the onset of the pandemic in DRC, as it is hypothesized that the COVID-19 containment measures disrupted the interactions between the different actors of the sector, resulting in a distortion of the supply chain that will impact edible insect consumption patterns - comparatively to previous reports (Nsevolo *et al.*, 2016). Besides this, the current cross-sectional study is also designed to give the very first snapshot picture of edible insect and animal-based foodstuffs consumption patterns (AFCP) for urban, peri-urban and rural areas of the capital city – since actions are needed immediately (and/or in the long run) in order to build more resilient local food system (FAO, 2020b; UNDP, 2020) and to mitigate food insecurity or poor diets which are an aggravating factor for the impact of COVID-19 (Zurayk, 2020).

## 2. Materials and methods

### 2.1. Questionnaire design

Data on edible insect consumption patterns (EICP) and perceptions of the COVID-19 impacts on the supply was collected through a survey. The semi-structured questionnaire used was based on the conceptual model proposed by Manditsera *et al.* (2018). This conceptual model, based on common food preference studies and literature on entomophagy, presents possible factors influencing the consumption patterns of insects notably availability, food preference, food characteristics (*i.e.* taste, flavor, appearance), consumer characteristics (*i.e.* gender, age, education), motives and the characteristics of the consumer's social environment (*i.e.* individual upbringing, family habits or religion).

The questionnaire consisted of four sections, as the objectives of this research were to determine the main factors affecting EICP amongst urban, peri-urban and rural areas of Kinshasa as well as to investigate whether the outbreak of COVID-19 had an impact on insect consumption patterns as compared to previous data (Nsevolo *et al.*, 2014; Nsevolo *et al.*, 2016). The first part included common questions about consumer's sociodemographic: gender, age, educational level, employment situation among other variables. Specific questions related to EICP (*i.e.* species consumed, frequency of consumption, quantity, form of consumption, processing methods, amount of purchases, procurement location) and to the main motives for entomophagy constituted the second section. The third part concerned meat consumption and related behavior in order to compare the relative importance of animal-based foodstuffs consumption with EICP. The last section included questions related to COVID-19's impacts on prices, availability and supply of edible insects from consumer's point of view.

## 2.2. Study area and sampling

Data collection was conducted from January to March 2021. The target of the sample was consumers who regularly purchased food and are residents in urban, peri-urban and rural areas of Kinshasa (epicenter of the COVID-19 pandemic in the DRC) (Figure S1). Questionnaires were administered to a total of 270 respondents who were randomly selected from these areas and had given consent to be interviewed without financial compensation (see Table 1 for a summary of the sample description). Furthermore, as Kinshasa is the country's official administrative, economic and cultural center; the questionnaire was edited in French. However, local languages (namely Lingala, Swahili, Kikongo, Tshiluba) were used to translate (if appropriate), in order to improve the accuracy of meaning and avoid misunderstandings by the various lingual cohorts.

## 2.3. Data analysis

Chi-square ( $\chi^2$ ) tests of independence were performed to determine any significant difference (tested at the 5% level) between the EICP from the three areas (urban, peri-urban and rural) of Kinshasa and to unravel relationship between consumption and socio-demographic characteristics of consumers. However, prior to data analysis, outliers were checked using Minitab statistical software (version 19.1.1) and removed in order to minimize bias (Osborne and Overbay, 2004; Zijlstra *et al.*, 2011). Analysis of variance (followed by pairwise comparisons with LSD, if needed) were performed to test the differences between meat and insect consumption patterns among consumers from the three areas of Kinshasa. Finally, edible insect and meat consumption patterns among urban, peri-urban and rural residents were explored by Principal Components Analysis (PCA) using the R statistical software (version 3.6.1).

# 3. Results and discussion

## 3.1. Edible insect consumption patterns during and after lockdown

Table 2 summarizes EICP for the three different areas of Kinshasa. As can be seen, data indicated high consumption practice, as 77.4 % of respondents (on the whole) consume at least one species of edible insects per month. The majority of consumers were female (65.5 %) and under the age of 50 (66.1 %). Most of them have secondary or tertiary education level (44.6 % and 38.2 % respectively) and are, in decreasing order, petty traders (22.9 %), housewives (17.7 %) and people involved in informal activity or formal employment (14.4 % for each of the two categories) (Table 1).

These results for Kinshasa - globally in line with relevant insect consumption practices reported for other African megacities, such as Lagos (Nigeria) (Adeoye *et al.*, 2014; Alamu *et al.*, 2013) or Nairobi (Kenya) (Alemu *et al.*, 2015; Kelemu *et al.*, 2015), support both the reports that edible insects are not a fallback food (as they are not only chosen when resources are strained) and that entomophagy in African megalopolis and cities is not a factor of density (as no relationship between population density and reliance on edible insects has been reported) (Lesnik, 2017).

**Table 1.** Socio-demographic characteristics of the respondents

Variable	Level	Respondents n = 270 (n = 209) <sup>a</sup>
<b>Gender</b>	<i>Men</i>	35.9 (34.5)
	<i>Women</i>	64.1 (65.5)
<b>Age Group</b>	<i>≤ 18</i>	3.0 (2.4)
	<i>19 – 29</i>	28.9 (27.8)
	<i>30-39</i>	20.0 (19.6)
	<i>40-49</i>	17.4 (16.3)
	<i>≥ 50</i>	23.3 (24.9)
	<i>undetermined</i>	7.4 (9.1)
<b>Level of education</b>	<i>No education</i>	2.2 (1.4)
	<i>Primary level</i>	10.0 (10.0)
	<i>Secondary level</i>	41.4 (44.6)
	<i>Vocational training</i>	5.9 (5.7)
	<i>Tertiary level</i>	40.4 (38.2)
<b>Profession (Source of livelihood)</b>	<i>Student</i>	10.7 (9.6)
	<i>Formal employment</i>	14.4 (14.4)
	<i>Informal</i>	16.3 (14.4)
	<i>Commercial farming</i>	1.5 (1.9)
	<i>Petty trade</i>	22.6 (22.9)
	<i>Self-employed</i>	10.4 (10.5)
	<i>Housewife</i>	15.2 (17.7)
	<i>Casual labour</i>	5.2 (4.3)
<b>Residence area</b>	<i>Undetermined</i>	3.7 (4.3)
	<i>Urban</i>	43.3 (42.6)
	<i>Peri-urban</i>	26.7 (25.8)
	<i>Rural</i>	30.0 (31.6)

<sup>a</sup> The values between brackets represent characteristics of the respondents who actually consume edible insects.

Nevertheless, as compared to the former cross-sectional survey for Kinshasa as a whole (Nsevolo *et al.*, 2014; Nsevolo *et al.*, 2016), insect consumption frequency indicated a relative increase since the onset of the pandemic (from 5 to 6 days/month) while the percentage of edible insect consumers indicated a notable drop (-2.6 %).

Notwithstanding that a decrease in prevalence of traditional practices of insect consumption has been formerly reported even in communities in developing countries where entomophagy used to be common (Dube *et al.*, 2013; Mandistera *et al.*, 2018; Riggi *et al.*, 2016), such a drop (unreported to date for the DRC) could be imputed to the COVID-19 pandemic based on to two compounding plausible scenarios. First and foremost, the drop could be imputed to reactions of hoarding food and stockpiling conservable products which consequently exacerbated stock-out situations in local markets of Kinshasa. Secondly, the drop could be correlated to unavailability of products in local markets due to supply chain disruption following restrictive measures implemented in the capital city.

The first scenario is supported by reports of panic buying because consumers feared potential food shortages (FAO, 2020c) or as they wanted to lower their exposure to COVID-19 (and hence the risk of contracting it due to frequent purchasing trips)

(Cranfield, 2020; FAO, 2020d; Fanelli, 2021; Yuen *et al.*, 2020). The second lines with reports that mentioned observable differences in consumption patterns and frequency of local food commodities due to lockdown directives, suggesting that the effect of the pandemic depends on the levels of strictness in the application of containment measures (Aday and Aday, 2020; Nchanji *et al.*, 2021a).

Furthermore, as can be seen in Table 2, consumption habit during (and after) the lockdown is high among all the respondents irrespective of their residence areas in Kinshasa (*i.e.* neither the percentage of consumers [ $\chi^2 = 1.127$ ,  $p = 0.569$ ] nor the frequency of insect consumption [ $F = 2.44$ ,  $p = 0.090$ ,  $df = 2$ ] are significantly different between urban, peri-urban and rural areas). These results - in agreement with reports that entomophagy is a common practice in rural and urban areas of SSA countries (*e.g.* Zimbabwe) (Mandistera *et al.*, 2018), argue for considering edible insects as vital in ensuring food security to all segments of Kinshasa's population.

Nonetheless, it is noteworthy that results in Table 2 also indicated a significant difference between the three areas of the capital city for processing methods and meal type: eating insects as “natives” (*i.e.* raw) or as the main dish is significantly associated to rural consumers [ $\chi^2 = 16.580$ ,  $p = 0.000$ ] whereas smoking, roasting, frying and boiling are relatively common to all consumers. However, since variation in duration and/or temperature of processing is likely to exist (as reported for insect processing techniques in Zimbabwe) (Manditsera *et al.*, 2018) and, taking into account the effects of processing on the microbial loads of edible insects (Caparros *et al.*, 2017) or on the shelf life of processed insects, an accurate characterization of traditional processing techniques is advocated.

In the same vein, knowledge gaps about the impacts of the different traditional preparations methods on the micronutrients bioavailability (particularly of iron and zinc) (Van Huis, 2013) as well as on the overall nutritive value of local insect species - as reported for *Imbrasia epimethea* Drury 1773 (Lautenschläger *et al.*, 2017a), *Imbrasia obscura* (Butler, 1878) (Mabossy-Mobouna *et al.*, 2018; Mba *et al.*, 2019) or *Bunaeopsis aurantiaca* Rothschild 1895 (Amisi *et al.* 2013), support the call for further investigations on processing methods, in order to reliably assess local edible species' contribution as valuable sources of proteins, fatty acids and fiber for alleviating food and nutrition insecurity, which are aggravating factor for the COVID-19 pandemic (Zurayk, 2020).

Table 2 also summarizes data related to ways of procurement of insects (during and after the lockdown) as well as the main orders of insects consumed in the three areas of Kinshasa. Considering ways of procurement, most of urbanites bought insects either on official (37.2 %) or informal (35.9 %) markets whereas peri-urbans (76.5 %) and rurals (60.0 %) have significantly resorted on informal markets (*i.e.* markets with no specific regulation nor appropriate management strategies from the State). These findings endorse both the pivotal role of informal markets in ensuring access to edible insects (more than likely, through short food supply chains given the lockdown directives with restriction of mobility in Kinshasa), and the need for structural changes



in informal trading of edible insects (for the sector to participate productively to economic growth and constructively to the resilience of the local food system).

**Table 2.** Frequencies (as percentage) of the EICP and quantities consumed in areas of Kinshasa

	Urban	Peri-urban	Rural
<b>Overall consumption patterns</b>	<i>n</i> = 117	<i>n</i> = 72	<i>n</i> = 81
Consumers	76.1	75.0	81.5
Non-consumers	23.9	25.0	18.5
<b>Frequency of consumption</b>	<i>n</i> = 85	<i>n</i> = 51	<i>n</i> = 61
Greater than 10 times/month	15.3	5.9	13.1
8-10 times/month	15.3	13.7	4.9
5-7 times/month	24.7	23.5	13.1
2-4 times/month	38.8	47.1	45.9
Once a month	5.9	9.8	23.0
<b>Processing technique*</b>	<i>n</i> = 84	<i>n</i> = 51	<i>n</i> = 65
Fresh/Raw	1.2	2.0	12.3
Frying	28.6	17.6	7.7
Boiling	10.7	5.9	10.7
Smoking	35.7	45.1	40.0
Roasting	22.6	29.4	26.2
Flour	1.2	0	3.1
<b>Meal type*</b>	<i>n</i> = 81	<i>n</i> = 48	<i>n</i> = 45
Main dish	27.2	20.8	46.7
In combination with other relishes	72.8	79.2	53.3
<b>Procurement*</b>	<i>n</i> = 78	<i>n</i> = 51	<i>n</i> = 65
From official markets	37.2	11.8	21.5
From informal markets	35.9	76.5	60.0
From wholesalers	11.5	3.9	1.5
From Restaurants	14.1	5.9	7.7
Directly from collection areas	1.3	2.0	1.5
Self-collection from the wild	0	0	7.7
<b>Insects consumed</b>	<i>n</i> = 74	<i>n</i> = 40	<i>n</i> = 43
Lepidoptera	50.2	69.7	58.4
Orthoptera	20.7	11.5	16.1
Coleoptera	11.3	5.7	9.3
Isoptera	10.8	5.7	7.1
<b>Quantities consumed (g/day)</b>	<i>n</i> = 52	<i>n</i> = 33	<i>n</i> = 36
Lepidopterans*	144.1 ± 9.9	103.5 ± 2.7	87.9 ± 4.7
Orthopterans	84.2 ± 9.2	85.2 ± 4.5	80.8 ± 3.6
Coleopterans	98.1 ± 3.6	265.4 #	162.8 ± 8.4
Isopterans	53.1 ± 3.7	59.7 ± 1.9	59.6 ± 2.0

\* Significantly different between urban, peri-urban and rural areas. # For information only.

As for insect orders, caterpillars (Lepidoptera) are by far the most consumed insects as compared to Orthoptera, Coleoptera and Isoptera. Their daily intakes (in terms of g/day) are also significantly different [ $F = 7.12$ ,  $p = 0.001$ ,  $df = 2$ ] between urban, peri-urban and rural consumers ( $144.1 \pm 9.9$  g,  $103.5 \pm 2.7$  g and  $87.9 \pm 4.7$  g respectively) (Table 2). Although these results are in agreement with former reports pointing out edible caterpillars as the main insects contributing to food security in DRC (Latham *et al.*, 2021; Malaisse, 1997; Mapunzu, 2004; Nsevolo *et al.*, 2016; Nsevolo *et al.*,

2022a), statistically lower quantities for rural consumers (as compared to consumers from the 2 other areas) were unexpected given that rural communities are often reported to have greater access to insect species harvested from natural habitats, and that availability stands for a major factor driving their consumption (Meyer-Rochow and Chakravorty, 2013; Lesnik, 2017). Consequently, these findings tend to corroborate reports that exclusive reliance on wild populations of edible insects will neither sustain entomophagy nor contribute to build resilience to shocks (UNDP, 2020; Van Huis *et al.*, 2013).

Therefore, as we look beyond the COVID-19 pandemic, there is a need to better investigate the rearing of targeted Lepidoptera species with mass-production potential locally - *e.g.* *Aegocera rectilinea* Boisduval 1836, *Samia ricini* (Jones 1791) (Numbi Muya *et al.*, 2022; Nsevolo *et al.*, 2022a) and to foster zootechny of insects as food in DRC (that is, through the implementation of regulatory framework, subventions and support to emerging edible insect startups) in order to strengthen local food production, as expressly suggested by the FAO and the UNDP (FAO, 2020b; UNDP, 2020).

### 3.2. Motives for insect consumption during and after the lockdown

Figure 1 illustrates the motives for consumption of edible insects (in the three areas of Kinshasa) during and after the lockdown. As can be seen, the main motives were proteins, health, food security, vitamins and taste (29.1 %, 14.8 %, 13.9 %, 9.7 % and 8.2 % respectively). Food habitus and traditions or culture were minor motives (acknowledged only by 4.1 % and 3.6 % of respondents), as did economic reasons (affordability), hunger or insect availability (access).

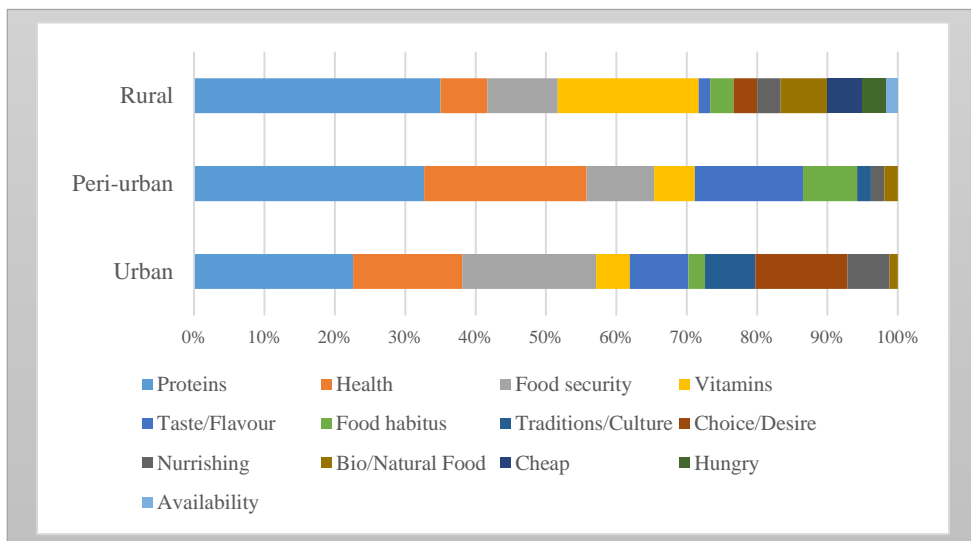


Figure 1. Motives of insect consumption according to living environment.

Additionally, [Table 3](#) reports motives of consumption following socio-demographic variables of respondents. Considering gender; proteins, health, food security and vitamins were the main motives for women (33.1 %, 18.7 %, 11.0 % and 8.5 % respectively) as well as for men (27.1 %, 10.6 %, 22.7 % and 13.6 % respectively). Taking age into account, respondents older than 30 years more often reported proteins, food security and vitamins (32.3 %, 24.7 % and 20.3 % respectively) whereas those younger mainly reported health (33.5 %). Considering education level, proteins remain the major motive for respondents with vocational training, secondary or tertiary education level (27.2 %, 28.6 % and 34.7 % respectively) whereas respondents with no educational level more often (66.7 %) argued for health and consumers with primary education more often (30.0 %) reported vitamins. As for profession, protein content of edible insects was also the main motive for self-employed (or independents), petty traders and respondents with casual labor, formal or informal employment whereas vitamins content of insects was the main motive for housewives (20.6 %) ([Table 3](#)).

These results are noteworthy knowing how often entomophagy is associated to culture, to affordability or to shortages of food ([Latham et al., 2021](#); [Mapunzu, 2004](#); [Pagezy, 1975](#); [Payne et al., 2016a](#)). As can be seen in [Table 3](#), current results rather suggest that consumers' perception of the nutritive value of edible insects and the search for a healthier diet both play a significant role as motives for entomophagy on the COVID-19's era. These findings that line with studies present in the international literature mentioning a shift towards healthier and more sustainable foods since the coronavirus crisis ([Borsellino et al., 2020](#); [Fanelli, 2021](#)) could help to set up commercialization trajectories and strategies fostering acceptability of edible insects (and insect-based products) in Kinshasa. Indeed, considering such a radiant image of edible insects (that is, as nutritious products with immunological benefits), the ongoing pandemic seems to offer an unparalleled opportunity to forge with all the stakeholders of the food industry in the country, more solid and equitable partnerships expected to boost the demand for edible insects and to enhance resilience of the local production system.

### **3.3. Local insect species resilient to disruption during the lockdown**

[Table 4](#) presents (per order, respondents gender and areas) the edible insect species consumed during (and after) the confinement of Kinshasa. Overall, a higher diversity was found for Lepidoptera as compared to the remaining taxa (namely Orthoptera, Coleoptera, Isoptera). Unfortunately, a significant number of insects remained unidentified at the species level and were simply enlisted using their ethnospecies (*i.e.* common vernacular names). Species standing out for Lepidoptera are notably *Cirina forda*<sup>1</sup> (locally called “Mikwati”), *Usta terpsichore* and two undetermined caterpillars (namely “Misa-Misa” and “Bangala”).

---

<sup>1</sup> The full species names of insect taxa cited throughout this sub-chapter are listed in [Table 4](#).

**Table 3.** Motives of insect consumption following sociodemographic variables of respondents

Socio-demographic variables	Modalities	Availability	Natural Food	Cheap	Choice/Desire	Food habits	Food security	Health	Hungry	Nourishing	Proteins	Taste/Flavor	Traditions	Vitamins
Sex	Men	1,51	0,00	1,51	3,04	6,05	22,73	10,60	0,00	7,59	<b>27,28</b>	4,55	1,51	13,64
	Women	0,00	5,08	1,70	0,84	3,38	11,02	18,65	1,70	2,54	<b>33,06</b>	8,47	5,08	8,47
Age group*	< 18 y	0,00	20,00	0,00	20,00	0,00	20,00	<b>40,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	19 - 29 y	0,00	3,86	1,93	11,53	7,68	5,78	<b>26,92</b>	1,93	7,68	23,06	3,86	0,00	5,78
	30 - 39 y	0,00	0,00	2,57	7,71	0,00	17,94	10,23	0,00	0,00	<b>30,75</b>	17,94	5,14	7,71
	40 - 49 y	0,00	6,07	0,00	6,07	9,11	<b>27,26</b>	3,04	0,00	3,04	24,23	6,07	3,04	12,09
	> 50 y	2,00	0,00	0,00	0,00	2,00	16,00	7,98	2,00	6,01	<b>41,98</b>	2,00	2,00	18,00
Education level*	No education	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>66,67</b>	0,00	0,00	33,33	0,00	0,00	0,00
	Primary level	0,00	5,01	5,01	0,00	5,01	24,98	0,00	5,01	0,00	14,95	0,00	10,03	<b>29,99</b>
	Secondary level	0,00	1,19	2,39	10,71	4,76	15,48	13,09	1,19	3,56	<b>28,58</b>	5,95	2,39	10,71
	Vocational training	9,12	18,25	0,00	0,00	0,00	9,12	27,19	0,00	0,00	<b>27,19</b>	0,00	0,00	9,12
	Tertiary level	0,00	2,68	0,00	5,33	3,99	11,99	17,35	0,00	6,67	<b>34,67</b>	9,34	3,99	3,99
Profession*	Student	0,00	10,55	0,00	10,55	5,27	10,55	<b>31,54</b>	0,00	5,27	15,72	10,55	0,00	0,00
	Formal employment	0,00	0,00	3,59	3,59	3,59	28,55	14,28	0,00	3,59	<b>39,24</b>	0,00	3,59	0,00
	Informal	0,00	0,00	0,00	6,92	0,00	13,78	17,24	0,00	3,46	<b>24,10</b>	6,92	3,46	<b>24,10</b>
	Commercial farming	<b>25,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>25,00</b>	25,00	0,00	0,00	0,00	<b>25,00</b>
	Pretty trade	0,00	4,67	0,00	13,96	2,33	6,96	11,63	0,00	2,33	<b>37,18</b>	9,30	4,67	6,96
	Self-employed	0,00	0,00	0,00	0,00	4,78	19,03	19,03	0,00	0,00	<b>42,83</b>	9,56	0,00	4,78
	Housewife	0,00	0,00	5,90	5,90	2,95	14,71	8,80	2,95	2,95	17,66	8,80	8,80	<b>20,56</b>
Living environment	Casual labor	0,00	25,00	0,00	0,00	12,50	12,50	12,50	0,00	12,50	<b>25,00</b>	0,00	0,00	0,00
	Urban	0,00	1,19	0,00	13,10	2,38	<i>19,05</i>	15,48	0,00	5,95	<b>22,62</b>	8,33	7,14	4,76
	Peri-urban	0,00	1,92	0,00	0,00	7,69	9,62	<i>23,08</i>	0,00	1,92	<b>32,69</b>	15,38	1,92	5,77
	Rural	1,67	6,67	5,00	3,33	3,33	10,00	6,67	3,33	3,33	<b>35,00</b>	1,67	0,00	<i>20,00</i>

\* Significant difference was found between socio-demographic modalities. Values in bold are the main motives for each category.

For Coleoptera, two representatives are to be mentioned: *Rhynchophorus phoenicis* (locally called “Mposé”) and *Augosoma centaurus* (locally called “Likokolo”). As for Orthoptera, *Brachytrupes membranaceus* (locally called “Makelele”) takes the lead in citations followed by *Ruspolia sp.* (locally called “Libanki ya vert”).

Although some ethnospecies were exclusively cited in specific areas of Kinshasa - e.g., a caterpillar locally called “Makonzo” (*Imbrasia sp.*) is exclusively cited in rural areas while another locally called “Mindanda” is only cited in urban areas (Table 4), overall, species consumed indicated few variations between urban, peri-urban and rural areas. Reasons of commonalities in consumption of the same insect species could include ease of access (availability) to them or an income-generating trade - as formerly reported in some SSA countries (e.g. Angola, Togo, Nigeria, South Africa) (Badanaro *et al.*, 2014; DeFoliart, 1995; Fasoranti and Ajiboye, 1993; Lautenschläger *et al.*, 2017b), whereas differences in preference and prevalence of insect species could be attributed to people’s alimentary habits (Séré *et al.*, 2018), to ethnicity (Chakravorty *et al.*, 2011; Riggi *et al.*, 2016) or to seasonality (Kinyuru *et al.*, 2013). These findings are noteworthy as they shed light on insect species that could be targeted for mass production (or zootechnic development) in order to ensure access to proteins and improving food security during food shocks in Kinshasa.

Regretfully, an accurate list of the different insect species consumed since the onset of the pandemic was tricky to compile, due notably to the various lingual cohorts used for vernacular names in the capital city, to issues of identification based on morphological characters (of processed larvae and imagoes) and given unavailability of information in identification keys for numerous African species (Malaisse and Lognay, 2003; Nsevolo *et al.*, 2022a).

Similar challenge reported in other parts of SSA countries - such as in the northern Angola (Lautenschläger *et al.*, 2017b), hampers the effectiveness of strategies aiming to foster resilience to shocks through the promotion of local food production (FAO, 2020b). Accordingly, providing more support and means both to research aiming to DNA-barcoding local insect species (using notably the mitochondrial COI gene) (Hebert *et al.*, 2003) and to ethnospecies inventories (on a collaborative basis between taxonomic experts and key informants from local ethnic groups) is advocated (Nsevolo, 2016; Nsevolo *et al.*, 2022a).

### **3.4. Evolution and trends of the demand for edible insects**

Figure 2 illustrates the evolution of the demand for edible insects (before, during and after the lockdown) in the three areas of Kinshasa. As can be seen, insect demand presented different characteristics depending on areas: for peri-urban and rural ones, the peak was situated between May to October (4 months’ period globally corresponding to the dry season), whereas for urban areas, insect demand was globally stable all the year, with an increase from September to December (4 months’ period globally corresponding to the start of the rainy season and the end of year celebrations).

**Table 4.** Frequencies of cited edible species following urban, peri-urban and rural areas of Kinshasa

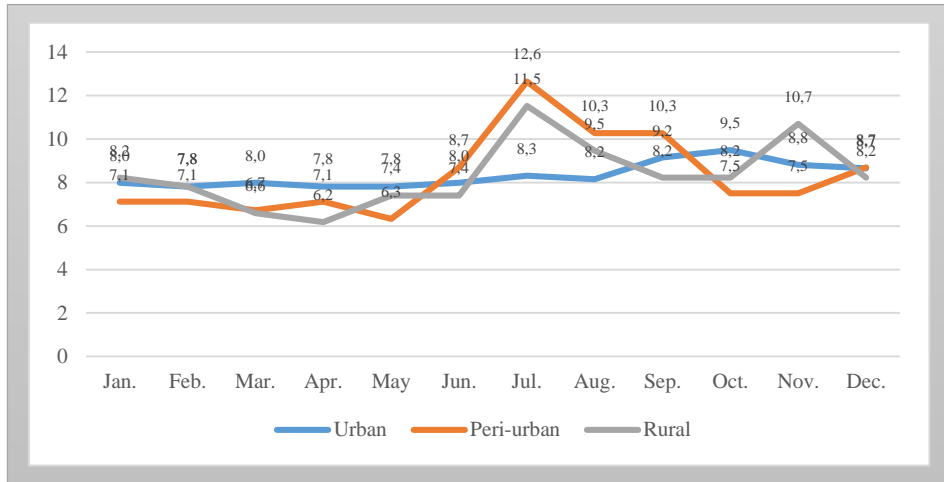
Insects	Urban			Peri-urban			Rural		
	Male	Female	Total	Male	Female	Total	Male	Female	Total
<b>Coleoptera</b>	3.76	7.51	11.27	2.46	3.28	5.74	3.85	6.92	10.77
<i>Augosoma centaurus</i> (F. 1775)	0.94	1.88	2.82	1.64	0.00	1.64	1.54	2.31	3.85
<i>Rhynchophorus phoenicis</i> (F. 1801)	2.82	5.63	8.45	0.82	3.28	4.10	2.31	4.61	6.92
<b>Isoptera</b>	5.16	5.63	10.79	1.64	4.1	5.74	1.54	3.08	4.62
<b>Lepidoptera</b>	15.49	34.74	50.23	28.69	40.98	69.67	14.62	40.77	55.39
<i>Cirina forda</i> Westwood 1849	1.88	5.17	7.05	8.19	7.38	15.57	6.16	16.93	23.09
<i>Usta Terpsichore</i> Maass. & Weymer 1885	1.88	4.23	6.11	1.64	2.46	4.10	0.00	1.54	1.54
“Misa-Misa” <sup>(1)</sup>	0.47	1.88	2.35	3.28	3.28	6.56	1.54	0.77	2.31
“Bangala” <sup>(4)</sup>	1.41	2.82	4.23	0.82	0.00	0.82	0.00	2.31	2.31
<i>Elaphrodes lactea</i> Gaede 1932	0.47	2.35	2.82	1.64	1.64	3.28	0.00	0.00	0.00
<i>Cinabra hyperbius</i> Westwood 1881	0.94	1.88	2.82	1.64	0.00	1.64	1.54	0.00	1.54
<i>Gonimbrasia zambesina</i> Walker 1865	0.00	0.00	0.00	0.82	1.64	2.46	0.00	3.08	3.08
“Kaba” <sup>(2)</sup>	0.94	0.00	0.94	1.64	0.82	2.46	0.77	0.00	0.77
“Bingubala” <sup>(3)</sup>	0.94	0.47	1.41	0.00	2.46	2.46	0.77	0.77	1.54
“Mindanda” <sup>(4)</sup>	0.47	1.88	2.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Imbrasia sp.</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.77	1.54	2.31
Other ethnospecies	6.09	14.06	20.15	9.02	21.3	30.32	3.07	13.83	16.90
<b>Orthoptera</b>	8.45	12.21	20.66	6.56	4.92	11.48	4.62	11.54	16.16
<i>Ruspolia sp.</i>	1.41	1.41	2.82	2.46	0.00	2.46	0.77	1.54	2.31
“Criquet” (Acrididae_1)	0.94	0.94	1.88	0.82	0.00	0.82	0.00	0.77	0.77
<i>Brachytripes membranaceus</i> (D. 1773)	6.10	9.86	15.96	3.28	4.92	8.20	3.85	6.92	10.77
Other ethnospecies	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.31	2.31
Undetermined taxa	2.82	4.23	7.05	3.28	4.10	7.38	5.38	7.69	13.07

(1) This ethnospecies is likely to refer to *Imbrasia erli* (Rebel, 1904) (Latham *et al.*, 2021)

(2) This ethnospecies could refer to *Lobobunaea phaedusa* Drury 1780 or to *Pseudobunaea pallens* Sonthonnax 1899 (Nsevolo *et al.*, 2022a).

(3) This ethnospecies could refer to *Gonimbrasia zambesina* Walker 1865, to *Imbrasia rectilineata* Sonthonnax 1899, to *Bunaeopsis aurantiaca* Rothschild 1895 or to *Athletes semialba* Sonthonnax 1904 (R. M. Lundanda, personal communication, May 15, 2022)

(4) The corresponding insect species (following Linnaean nomenclature) could not be determined based on this vernacular name (ethnospecies).



**Figure 2.** Evolution of the demand for edible insects in the three areas of Kinshasa

One could also note that, apart from the second peak experienced in rural areas (between October and December, corresponding to the end of year celebrations), the trends in peri-urban and rural areas are relatively comparable since they seem to fluctuate similarly (as compared to consumers' demand in urban areas). However, due to the absence of previous data related to insect demand to compare with current results, it is unclear at this point whether these trends could be in some way associated to COVID-19. Anyway, as against the unavailability of conventional livestock or given meat (and fish) expensiveness, the country should take every effort for moving the gears of insects supply chains during food shocks, in order to alleviate food and nutrition insecurity threatening millions people in DRC (Voiculet and Pănoiu, 2020; Von Grebmer *et al.*, 2019).

### 3.5. Impacts of restriction measures on insect consumption habit

Table 5 summarizes COVID-19's impacts on insect consumption habit in Kinshasa. The data show that 3.4 % of entomophagous respondents adopted entomophagy only at the onset of the pandemic in the capital city and that a significant higher percentage (28.0 %) of urbanites reported to eat more insects than before the sanitary crisis (as compared to peri-urbans and rurals) [ $\chi^2 = 8.283$ ,  $p = 0.016$ ]. With regard to urban areas of Kinshasa specifically, and taking into account reports (in the international literature) of a decrease in the willingness to consume insects or insects-based products since the outbreak of the pandemic (because consumers became more health conscious) (Fanelli, 2021; Khalil *et al.*, 2021), these results seem to support the image of edible insects, in the capital city of DRC, as a healthy food with no potential virus transmission (or other zoonotic diseases).

This is in contrast to other foods of animal origin during outbreaks of infectious diseases in the history of mankind - *e.g.* the reportedly Bovine Spongiform Encephalopathy (BSE) crisis in Germany ensued with a 50-80 % decrease in meat

consumption, or the highly pathogenic avian influenza (HPAI H5N1) in Italy which resulted in a 40-50 % drop in chicken meat demand (Khalil *et al.*, 2021; Lobb *et al.*, 2006; Van Huis, 2013; Weitkunat *et al.*, 2003). As the DRC struggles with the negative impacts of the outbreak on the local food system (UNDP, 2020), such reassuring considerations for consumers (that is to say, insects are unlikely to be transmission vector of COVID-19) (Dicke *et al.*, 2020) could be used to dispel misinformation regarding edible insects, to address their stigmatization (in relation with transmission of infectious diseases to humans, COVID-19 included) and to strengthen the local production expected to mitigate food and nutrition insecurity.

Table 5 also reports consumers' perception of disruption in edible insects' supply due to the pandemic outbreak or its related challenges summarized in Figure 3. As can be seen, the data show that most of respondents (71.9 %) not perceived disruption due to the outbreak's impacts. This finding is noteworthy, as it suggests edible insects as resilient local food to shocks as against conventional livestock or other foodstuffs whose disruption has been reported (Aday and Aday, 2020; Mukiibi, 2020; Nchanji *et al.*, 2021b). Therefore, given various pressing concerns underlying food security raised since the onset of the pandemic (that is, production, transport and maintenance of the supply chain), and the need to ensure food aid to be scaled up in the event of similar food shocks, the call to enhance entomoculture (*i.e.* edible insects breeding) in DRC is vindicated, since current finding endorses it as a positive path towards increasing redundancy and diversity within the local food system (Doi *et al.*, 2021; FAO, 2020b).

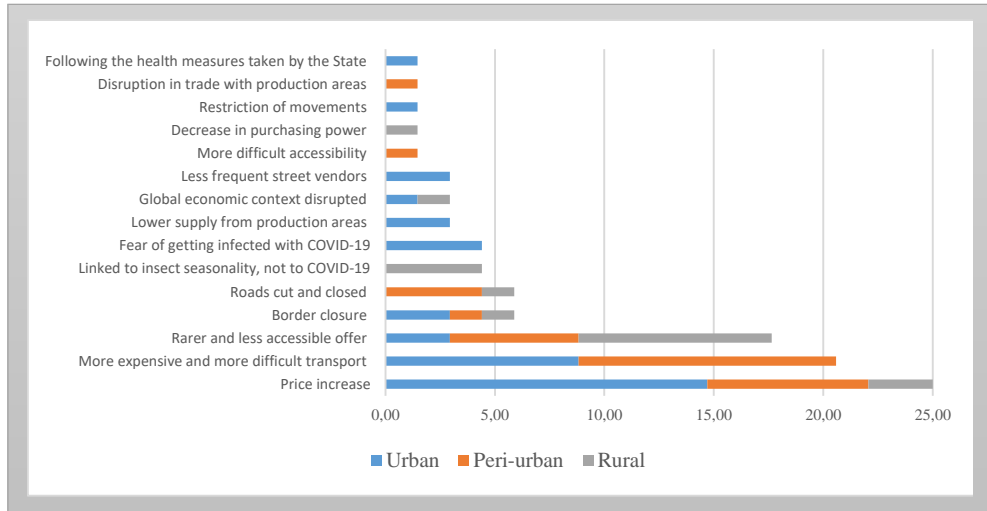
**Table 5.** Insect-eating habit and perception of disruption with regard to the pandemic

Edible insect consumption habit (n = 206)	Change over insect consumption since COVID-19 (n = 189)					Perception of disruption caused by COVID-19 (n = 256)		
	Prior to COVID-19	Since COVID-19	Eat more	Eat less	Not changed	Yes	No	Uncertain
Urban	41.74	0.49	28.04	1.06	17.46	15.23	15.63	10.55
Peri-urban	24.27	1.47	12.17	2.12	12.17	8.98	6.64	12.11
Rural	30.58	1.47	6.88	4.76	15.34	3.91	12.89	14.06

### 3.6. Consumption patterns of animal-based foodstuffs vs EICP

Table 5 summarizes the consumption patterns of insect and animal-based foodstuffs (fish, poultry, beef, pork and goat) since the onset of the COVID-19 pandemic. As can be seen, for the frequency of consumption, the top four were, in descending rank order: fish, poultry, insects and beef. Results show significant difference between urban, peri-urban and rural areas for fish, poultry, beef and pork, except for insects and goat. As for quantities consumed by respondents from the three areas, results differed significantly for insects and not for the remaining animal-based foodstuffs. As for monthly expenditure related to consumption, results indicated significant difference between the three areas (for fish, beef, pork as well as for insects) with monthly meat expenditure higher for urban and peri-urban residents than for rurals.





**Figure 3.** Perception of disruption causes, COVID-19's impacts and related challenges

**Table 5.** Consumption patterns of animal-based foodstuffs/areas

Living environment						
	F	P	Urban	Peri-urban	Rural	Overall mean
<b>Frequency (day/month)</b>						
<i>Insects</i>	2.440	0.090	6.8 ± 0.6	4.9 ± 0.5	5.3 ± 0.8	5.9 ± 0.4
<i>Fish</i> *	6.260	0.002	12.9 ± 0.8 <sup>a</sup>	10.1 ± 0.9 <sup>b</sup>	8.4 ± 1.1 <sup>b</sup>	10.7 ± 0.6
<i>Poultry</i> *	7.300	0.001	10.1 ± 0.8 <sup>a</sup>	6.6 ± 0.8 <sup>b</sup>	6.0 ± 0.9 <sup>b</sup>	7.8 ± 0.5
<i>Beef</i> *	6.780	0.002	4.2 ± 0.7 <sup>a</sup>	3.2 ± 0.9 <sup>a</sup>	1.3 ± 0.2 <sup>b</sup>	2.9 ± 0.4
<i>Pork</i> *	4.230	0.021	3.3 ± 0.7 <sup>a</sup>	3.6 ± 0.9 <sup>a</sup>	1.4 ± 0.2 <sup>b</sup>	2.6 ± 0.4
<i>Goat</i>	0.480	0.627	1.4 ± 0.2	2.5 ± 0.9	2.3 ± 0.9	2.1 ± 0.5
<b>Quantity (g/pers/month)</b>						
<i>Insects</i> *	4.270	0.016	158.8 ± 18.0 <sup>a</sup>	109.9 ± 8.5 <sup>b</sup>	105.9 ± 11.6 <sup>b</sup>	128.7 ± 8.8
<i>Fish</i>	2.250	0.106	973.0 ± 85.9	811.0 ± 103.0	699.1 ± 95.3	840.7 ± 54.8
<i>Poultry</i>	0.060	0.938	909.8 ± 71.4	893.0 ± 94.5	866.4 ± 98.2	891.3 ± 49.8
<i>Beef</i>	3.120	0.051	993.0 ± 113.0	638.0 ± 119.0	1010.0 ± 95.2	912.1 ± 64.9
<i>Pork</i>	0.650	0.528	916.0 ± 193.0	990.0 ± 146.0	778.0 ± 101.0	884.1 ± 80.5
<i>Goat</i>	3.850	0.054	1000.0 ± 37.2	663.0 ± 208.0	800.0 ± 93.5	775.0 ± 149.0
<b>Expenditure (\$/month)</b>						
<i>Insects</i> *	5.600	0.004	7.77 ± 0.7 <sup>a</sup>	7.17 ± 0.9 <sup>a</sup>	4.27 ± 0.7 <sup>b</sup>	6.57 ± 0.5
<i>Fish</i> *	5.930	0.003	26.92 ± 2.2 <sup>a</sup>	23.01 ± 2.4 <sup>a</sup>	15.84 ± 2.3 <sup>b</sup>	22.33 ± 1.4
<i>Poultry</i>	1.170	0.313	23.87 ± 2.3	20.85 ± 2.9	18.11 ± 3.1	21.21 ± 1.6
<i>Beef</i> *	3.980	0.024	19.56 ± 3.5 <sup>a</sup>	14.89 ± 4.7 <sup>ab</sup>	7.70 ± 1.0 <sup>b</sup>	14.14 ± 1.9
<i>Pork</i> *	10.040	0.000	18.92 ± 3.4 <sup>a</sup>	12.28 ± 2.8 <sup>a</sup>	4.35 ± 0.5 <sup>b</sup>	10.84 ± 1.5
<i>Goat</i>	1.990	0.177	9.50 ± 0.3	7.46 ± 0.9	9.60 ± 1.1	8.77 ± 0.5

\* Significantly different between urban, peri-urban and rural areas. Different superscript letters across the same variable denote a significant difference between areas ( $p < 0.05$ ).

Furthermore, based on the results of PCA, three factors with eigen-values greater than one accounted for 73.5% of the variance of the original dataset. The first factor (F1: 41.32 % of variance) labelled as “Meat Frequency-Expenses Factor”, concerned the frequency and amount of expenditure related to consumption of animal-based foodstuffs. Pork consumption expenditure (PCE), beef consumption frequency (BCF), pork consumption frequency (PCF), beef consumption expenditure (BCE) and poultry consumption expenditure (PCE) were, in descending rank order, the top five variables with the highest loads on this factor. As for the second (F2: 22.13 % of inertia) labelled as “Meat Quantity Factor”, pork, poultry, beef and fish quantities (respectively: PrQ, PoQ, BeQ, FiQ) were the main four variables with the highest loads. As for the third (F3: 10.11 % of inertia) labelled as “Insect Quantity-Expenses Factor”, the quantity, expenditure and frequency of edible insect consumption (respectively: QuI, ExI, FrI) loaded high.

Figure 4 and Figure 5 illustrate the PCA findings for the three aforementioned factors - with location area and educational level as supplementary categorical variables (SCV). For location as SCV, the first factor illustrates association with low values for the frequency and expenditure related to consumption particularly for rural consumers and an increase of PCE, BCF, PCF, BCE, PCE and QuI for urban residents mainly (Table 5 and Figure 4). Likewise, for education as SCV, the first factor indicated significant association with low values for the frequency and expenditure related to meat, fish and edible insects particularly for respondents with primary educational level or vocational training and significant association with higher values of PCE, BCF, PCF, BCE, PCE and QuI for consumers with a higher educational level (Figure 5).

These findings suggest three groups of consumers: the first (1<sup>st</sup>) one typically with ‘low frequencies, low expenditure’ is dominated by respondents with primary educational level or vocational training. This group is mainly composed by housewives, by respondents involved in commercial farming and by residents of rural areas. The third (3<sup>rd</sup>) group, typically with ‘high frequencies, high expenditure’ is mainly composed of respondents financially well-off with secondary or tertiary educational level. They are mainly from urban areas, most of them being independent or involved in formal employment.

The second group (2<sup>nd</sup>) typically with ‘medium frequencies, medium expenditure’ is “a bridge” and/or “a transition” between the 1<sup>st</sup> and the 3<sup>rd</sup>. This group is mainly composed of respondents with secondary educational level, most of them being involved in informal activities and living in peri-urban areas (Figure 6). Substantially, these findings line with reports that inequalities and variations in food consumption patterns may be the result of differences in socio-demographic factors and different characteristics of the consumers (Kearney, 2010; Muteba *et al.*, 2013). However, as this was the very first study (to the best of our knowledge) giving an insight into edible insects, meat and fish consumption patterns (at once) for urban, peri-urban and rural areas of Kinshasa, it is not possible for the moment to draw conclusions about whether shifts in the choices of animal-based foodstuffs (*i.e.* meat, fish or insects), among

consumers from these areas, have occurred since the spread of the infectious novel coronavirus disease - although the current paper reported an increase in the frequency of insect consumption compared to previous report (Nsevolo *et al.*, 2016).

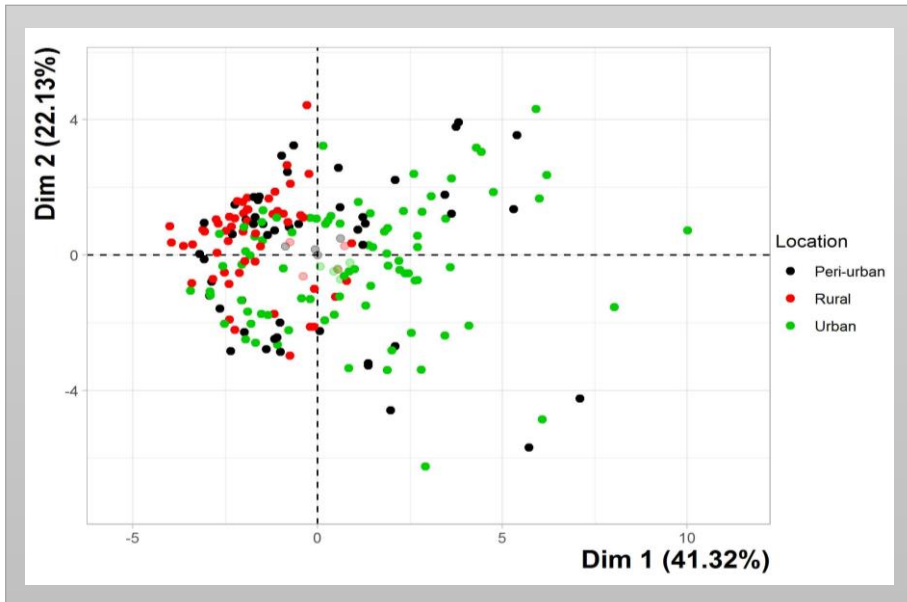


Figure 4. PCA graph of individuals according to location areas.

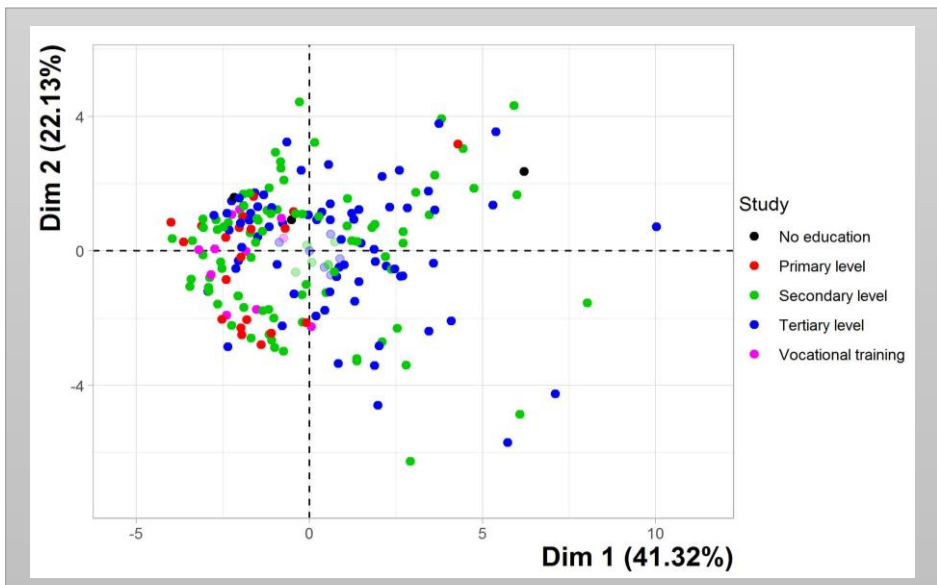
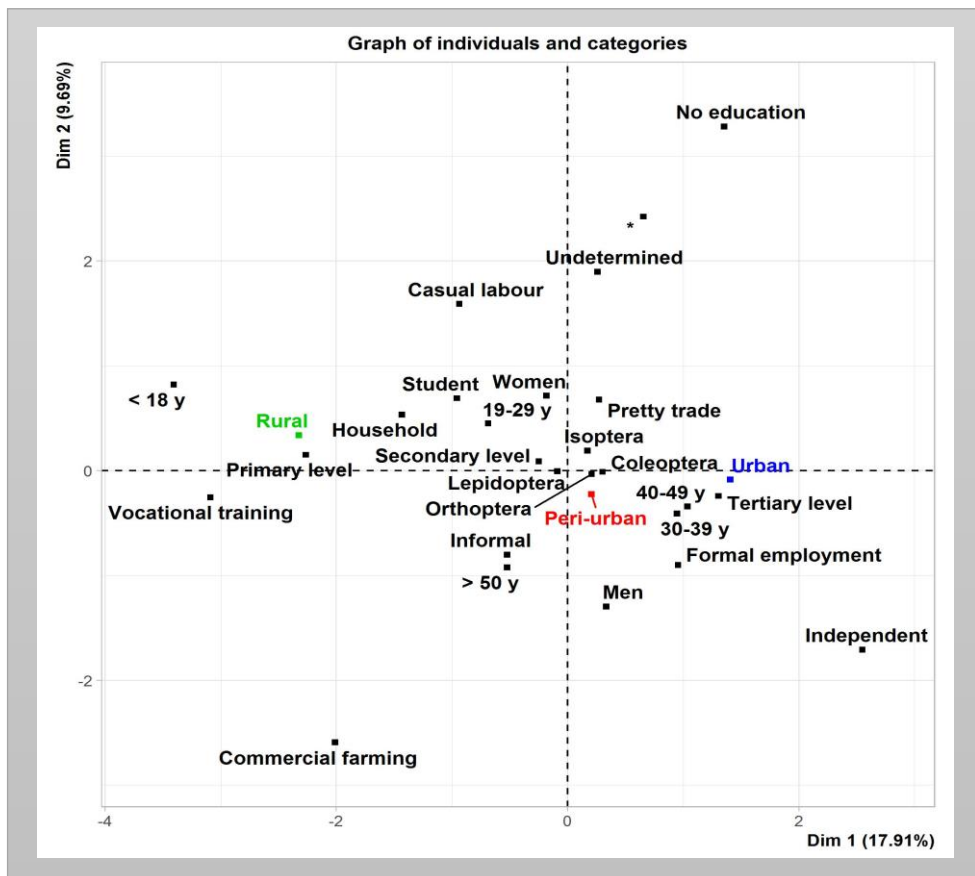


Figure 5. PCA graph of individuals according to educational level.



**Figure 6.** Graph of supplementary categorical variables

Furthermore, the lack of dietary data and/or statistics on food consumption in DRC (Tollens, 2008) makes an assessment of where the country is located in the different phases of the nutrition transition tricky (Popkin 1993, 2006). Anyway, regardless of the phase of the transition the country is in (likely the first – as meat is a relatively expensive commodity) (Vranken *et al.*, 2014), the reportedly increase of some diseases such as type II diabetes, coronary heart diseases or other chronic non-communicable diseases among the middle classes of emerging countries (Mathijs, 2015), coupled with concerns on food security driven by the spread of COVID-19, made it essential to provide insights into future possible scenarios of food consumption, in order to implement effective mitigation measures and to build resilience of the local food system.

As we look beyond the pandemic, actions are needed in order to reshuffle the food system and to alleviate inequalities in access to, in availability and utilization of animal-based nutrients among the different socio-demographic groups of consumers in DRC (Figure 6). Taking into account that meat production and consumption are

increasingly contested following concerns for human health, animal welfare and the environment (Mathijs, 2015), this could be achieved by boosting entomophagy locally, given its reportedly merits in the post COVID-19 world (*viz.* production efficiency, minimal risk of zoonotic disease transmission, epidemiological safety of insect breeding and insect-based products), and its effective contribution to the expansion of redundancy and diversity in the food system (Doi *et al.*, 2021).

#### **4. Conclusions and perspectives**

As the local food system was radically altered since COVID-19 (due to under-documented concatenating problems related the national production and distribution of food), the present study documented edible insect and meat consumption patterns since the onset of the pandemic for residents from different living environments (urban, peri-urban and rural areas of Kinshasa) and with different sociodemographic characteristics. Although the study reported high insect consumption habit among the consumers during and after lockdown, a drop of edible insect consumers (imputable to the COVID-19 pandemic based on two scenarios) has been recorded. The study also shed light on the determinants of acceptance that could serve to set up commercialization trajectories and strategies fostering acceptability of edible insects (and insect-based products) in the country. The results also endorsed the pivotal role of informal markets in ensuring access to edible insects through short food supply chains and supported the call for a better management of informal trading, to allow the sector of edible insects to participate constructively to the resilience of the local food system.

Since local insect species resilient to disruption have been pointed out, and based on reported results supporting the image of edible insects as a healthy food with no potential virus transmission (or other zoonotic diseases), the study further supported the call for mass production (or zootechnic development) of targeted species as well as for solid (and equitable) partnerships with all the stakeholders of the food industry in the country, in order to move the gears of insects supply chains and to address household food insecurity during food shocks. As we look beyond the pandemic, actions are needed in DRC to increase resiliency of the local food system and to alleviate inequalities in access to, in availability and utilization of animal-based nutrients among the socio-demographic groups of consumers. Results of the current study supported entomophagy as a promising pathway to that aim.

Appendice A.

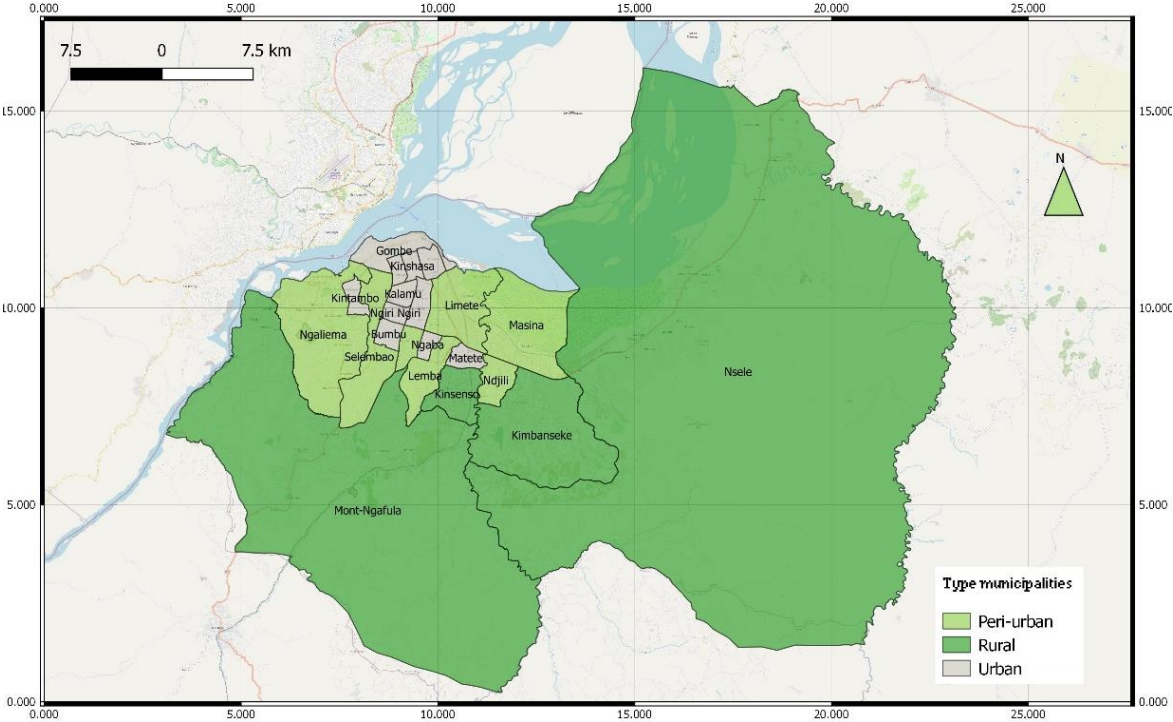


Figure S1. Map of Kinshasa's areas.

# IV

---

## Chemical and morphometrical characterization





## Introduction du chapitre

L'état des lieux (dressé au chapitre précédent) a mis en lumière, entre autres, l'importante biodiversité entomologique (et végétale) qui soutiennent les pratiques entomophages à travers les provinces de la RDC, et le rôle majeur des insectes comestibles dans le système alimentaire local (en tant qu'aliments accessibles à tous les groupes sociodémographiques étudiés). Ces considérations qui encouragent à la promotion des insectes comestibles comme moyens de réduire les inégalités dans l'utilisation des nutriments d'origine animale, ont invité à examiner un certain nombre de préoccupations importantes relatives aux aspects (i) chimiques – comme préalables à la caractérisation rigoureuse de la contribution des insectes à la sécurité nutritionnelle et, (ii) zootechniques – comme préalables avant de développer la production d'insectes en masse et soutenir durablement la sécurité alimentaire.

En effet, s'agissant des aspects chimiques, l'état des lieux a mis en évidence la double problématique de la valeur nutritionnelle des espèces commercialisées sur le territoire national, et celle de l'effet des techniques traditionnelles de transformation sur le contenu en macro et micronutriments. S'agissant des aspects zootechniques, cet état des lieux a fait ressortir la nécessité d'enrichir le corpus de connaissances sur *R. phoenicis* (principal candidat pour la promotion de l'entomoculture en RDC) - la variabilité phénotypique entre ses populations naturelles étant encore très peu documentée à ce jour.

Sur base de préoccupations susmentionnées, et au regard des questions de recherche 3 et 4 (cf. chapitre II.1.), le présent chapitre a pour objectifs spécifiques (i) de signaler le profil nutritionnel (en termes de protéines et d'acides aminés) de quelques espèces d'insectes comestibles pertinentes pour un commerce transfrontalier et, (ii) dans une perspective de production en masse de *R. phoenicis*, de documenter la variabilité phénotypique entre des populations récoltées sur le territoire national. Les deux sous-chapitres qui le composent sont notamment basés sur les publications (remises en forme) suivantes :

**IV.1. Nsevolo Miankeba, P., Taofic, A., Kiatoko, N., Mutiaka, K., Francis, F., & Caparros Megido, R. (2022b).** Protein Content and Amino Acid Profiles of Selected Edible Insect Species from the Democratic Republic of Congo Relevant for Transboundary Trade across Africa. *Insects*, 13(11), 994.

**IV.2. P.M. Nsevolo, R.M. Lundanda, R. Caparros Megido, F. Francis and N. Kiatoko, (in review).** Analysis of sexual dimorphism and morphometric characteristics of *Rhynchophorus phoenicis* (Fabricius 1801) populations for mass-rearing perspective in DR Congo.

## **IV.1. Protein content and amino acid profiles of selected edible insect species from the Democratic Republic of Congo relevant for transboundary trade across Africa**

### **Abstract**

This study analyzed the protein content of ten edible insect species (using the Dumas method), then focused on the amino acid (AA) profiles of the six major commercially relevant species using HPLC (high-pressure [or performance] liquid chromatography). The protein contents varied significantly from 46.1% to 52.9% (dry matter); the Orthoptera representative yielding both the highest protein content and the highest values in three essential amino acids (EAAs). Regarding Lepidoptera species, the protein content of Saturniidae varied more than for Notodontidae. *Imbrasia ertli* gave the best example of a species that could be suggested for dietary supplementation of cereal-based diets, as the sample contained the highest values in five EAAs and for the EAA index. Furthermore, first-limiting AAs in the selected insects have also been pointed out (based on a species-specific AA score), supporting that the real benefit from eating insects is correlated to a varied diet. Additionally, preliminary insights into AA distribution patterns according to taxa provided three clusters based on protein quality and should be completed further to help tailor prescriptions of dietary diets. Since the AA composition of the selected insects was close to the FAO/WHO EAA requirement pattern for preschool children and met the requirements of 40% EAAs with high ratio EAAs/NEAAs, the current study endorses reports of edible insects as nutrient-rich and sustainable protein sources.

### **Keywords**

Entomophagy, food security, high-quality protein, clusterization, nutritional health

## 1. Introduction

Since 2019, new challenges driven by the pandemic outbreak have been unavoidably imposed on global food systems [1,2]. Taking these varied challenges and a global population expected to reach 9.8 billion people by 2050 into account [3,4], the problem of food security is likely to worsen worldwide more than previously predicted. With particular reference to developing countries in Africa facing numerous challenges (*viz.*, fragility of food systems, overcrowding of cities, ineffective policies, and poverty) [2,5,6], sustainable and nutrient-rich foods should consequently be considered in order to mitigate food insecurity. Data on nutrient-rich foods are also required, all the more so as the focus is gradually shifting from the fatal effects of COVID-19 to the threat it poses to the production and daily supply of food, especially for children, smallholders, and vulnerable populations [7,8].

As one of the prevailing food cultures traditionally ingrained in most of Sub-Saharan African (SSA) countries, entomophagy (*i.e.*, edible insect consumption by humans) should be meaningfully considered as a promising route for alleviation of food insecurity in several SSA countries [9]. This is in line with an increasing number of reports highlighting edible insects as valuable sources of essential proteins, amino acids (AAs), fatty acids, carbohydrates, vitamins, minerals, and other bio-functional compounds [10,11]. As a matter of fact, based on the history, custom, consumption habits, and status of edible insects in several SSA countries, it has been proven that edible insects could well match needs for human health [12–16].

Moreover, carefully considering insects as food could also contribute to efficient expansion of redundancy or diversity within food systems and to an increased resiliency to food shocks [7,17]. Such an endorsement is supported by a growing number of authors reporting significant diversity of edible insect species in many SSA countries, including the Democratic Republic of the Congo (DRC) (148 species), the Central African (CA) Republic (up to 96 species), Gabon (75 species), and Cameroon (31 species) [18–22].

Furthermore, similar patterns are reported throughout SSA countries in the use of some insect species as food, in harvesting techniques (mainly traditional), and/or in processing methods (*e.g.*, roasting, boiling, or frying) of insects harvested from the wild. For example, species like *Imbrasia ertli* Rebel 1904 (Saturniidae, Lepidoptera) are widely consumed in Zambia, South Africa, Cameroon, Congo-Brazzaville, the CA Republic, Zimbabwe, Botswana, Angola, and the DRC. An additional example is given with *Carebara vidua* Smith 1858 (Formicidae, Hymenoptera) whose consumption is reported in more than 10 countries on the continent [22,23]. Such a finding should be pointed out for SSA countries given the need to develop sustainable solutions for mitigating food insecurity and increasing resiliency of food systems (at local and national scales) [7,8]. This should also be highlighted for enhancing cross-border trade of edible insects. Such an enhancement might boost local production of species linked to potential economic, social, and ecological benefits for rural and vulnerable communities involved in the insect value chain.

Sadly, the potential of African edible insect species as food and profitable foodstuffs has a long way to go. This assertion is supported by existing scientific knowledge pointing out gaps to be filled in most SSA countries regarding this practice, resting on lingering traditions. Based on some of these reports [24–26], food safety and nutritional composition issues of edible insects (taking into account the different traditional techniques used to process them prior to consumption, or to increase their shelf life) are two of the major concerns in order to gain society's approval of insects as food [27,28]. Moreover, outcomes from investigations linked to the latest aforementioned concern might also enhance strategies ensuring nutrient-rich foods in the event of further food shocks.

As a relevant corpus of knowledge is necessary in SSA countries to reliably assess edible insect contribution to food security, the current study gives preliminary insights into the protein content of selected edible insects from the DRC and then focuses on the AA profiles of major commercially relevant species that might be targeted for cross-border trade with SSA countries. Its results might contribute (along with existing nutrient data for African edible insect species) to building a valuable baseline that could help to develop nutritious diets for vulnerable populations still suffering from food insecurity and malnutrition.

## 2. Materials and methods

### 2.1. Sample Collection and Identification

Ten edible species from two orders of insects (Table 1) were randomly collected from different markets in Kinshasa (the capital city of the DRC) and transferred to the Agro-Bio Tech entomological laboratory at Gembloux (University of Liège, Belgium). To avoid degradation during storage or transportation, insect samples were stored as purchased in 50 mL Falcon tubes filled with one volume of norvanol (88.5% v/v ethanol, 2.7% v/v diethyl ether, 8.6% w/v water), then kept cool at an average temperature of  $3 \pm 0.5$  °C. The identification process was carried out based on dichotomous keys [29] and comparisons with reference specimens kept at the Gembloux Entomological Conservatory [30]. Insects that could not be taxonomically identified due to degradation during the processing phases (*i.e.*, sun-drying or smoking) (Table 1) were simply enlisted using their ethnospecies—that is, corresponding vernacular names as used in local markets—and cross-checked with recent literature reviewing edible insect species from the DRC [22].

### 2.2. Protein Content Analysis

The protein content of the ten samples (Table 1) was analyzed following the Dumas method according to AOAC (Association of Official Analytical Chemists) method 968.06 [31]. The samples were freeze-dried for 48 h and stored at  $-18$  °C. Prior to analysis (performed using a RapidN cube [V4.0.6] from Elementar Americas, Inc.), the system was calibrated, aspartic acid being used as the nitrogen calibration standard according to the manufacturer's protocol. The whole bodies of sampled insects were ground up to be powdered. Approximately 200 mg of each sample was weighed, wrapped, and tightly pelleted in nitrogen-free paper. Afterward, three replications of

each were used to determine whether the nitrogen values obtained were acceptable based on the known nitrogen content of the aspartic acid, and from satisfactory results, the protein content was calculated using the conversion factor of 4.76 [32–34].

### **2.3. Total and Sulfur Amino Acid Analysis**

The six major commercially relevant species—based on reports by Nsevolo et al. [22] and Nsevolo et al. [35]—were selected (out of the ten sampled insect species), then ground to pass through a 750  $\mu\text{m}$  sieve before the analysis process. Amino acid profiles were determined at the chemistry laboratory of Gembloux Agro-Bio Tech (University of Liège, Belgium) based on previously described methods [36]. In brief, each of the six samples (5.0 mg of protein) was acid hydrolyzed (with 10 mL of 6N HCl containing phenol at 0.1%) in vacuum-sealed hydrolysis (Schott glassware) at 110 °C for 24 h. After hydrolysis, the opened Schott brand bottles (100 mL) were cooled during addition of NaOH 7.5N to adjust pH to 1, and then with NaOH 1N to end pH at 2.2 [36]. Norleucine in citrate buffer was added to the HCl as an internal standard. The final solution was filtered using a 0.45  $\mu\text{m}$  polytetrafluorethylene syringe filter, and amino acid composition was determined using an automated amino acid analyzer (HPLC, Biochrom 20 Plus, Biochrom Ltd., Cambridge, UK). A sodium high-performance protein hydrolysate column (200  $\times$  4.6 mm, with a flow rate of 20 mL/h), commercial standards, sodium citrate buffers, and ninhydrin reagent were employed to achieve derivatization. Performic acid oxidation (16 h, 4 °C) prior to acid hydrolysis (24 h, 110 °C) permitted determining sulfur-containing amino acids like cysteine and methionine according to previously published methods (AOAC 994.12) [36]. As conventional acid hydrolysis is destructive for tryptophan, alkaline hydrolysis with barium hydroxide (20 h, 110 °C) was performed to quantify tryptophan based on a previously described technique (AOAC 988.15) [36]. Amino acid content (expressed as g/100 g dry sample) was calculated based on the peak area for known concentration of amino acids.

### **2.4. Statistical Analysis**

The protein content of the sampled edible insect species was compared to data reported in the FAO/INFOODS food composition table for Western Africa (Table 2) [38] for the common conventional animal-based protein sources in the DRC, according to reports from Nsevolo et al. [17]. In addition, statistical analysis of protein and amino acid contents (expressed as mean  $\pm$  SD) in the edible insect samples were performed using R statistical software (version 3.6.1). Normalcy of data was checked using the Anderson–Darling test performed on Minitab (version 19.1.1) for Windows, whereas the R Commander GUI was used to complete analysis of variance (ANOVA) and Tukey’s test for comparison of means (with  $p$  values  $<$  0.05). For further exploration (clusterization) of data and comparison with the AA profiles for selected insect species derived from the literature (Table S1), correspondence analysis was carried out using the R statistical packages (FactoMiner and FactoShiny).

**Table 1.** Nomenclature of sampled edible insect species—[n/d] stands for “no data”.

Order	Family	Scientific Name <sup>(9)</sup>	Vernacular Name <sup>(9)</sup>	Countries Reported	Selected Host (and/or Food) Plant Family Reported in the DRC
Lepidoptera	Saturniidae	Und. sp_1	Bingubala jaune <sup>(1)</sup> “S”	n/d	n/d
		Und. sp_2	Binkubala <sup>(2)</sup>	n/d	n/d
		<i>Cirina forda</i> Westwood 1849 <sup>(3)</sup>	Mikwati “S”	17	Anacardiaceae, Apocynaceae, Combretaceae, Euphorbiaceae, Fabaceae.
		<i>Imbrasia ertli</i> Rebel 1904 <sup>(4)</sup>	Misati “D”	9	Achariaceae, Apocynaceae, Dennstaedtiaceae, Euphorbiaceae, Fabaceae
		<i>Imbrasia rectilineata</i> Sonthonnax 1899 <sup>(5)</sup>	Mangaya “D”	7	Annonaceae, Fabaceae, Myrtaceae, Ochnaceae, Phyllanthaceae
		<i>Imbrasia sp.</i> <sup>(6)</sup>	Makonzo “D”	± 7	
		Und. sp_3	Mifwangi fwangi “D”	n/d	n/d
		Notodontidae	<i>Elaphrodes lactea</i> Gaede 1932 <sup>(7)</sup>	Tunkubi “D”	3
	<i>Elaphrodes sp.</i> <sup>(8)</sup>	Mingingi “D”	± 3		
Orthoptera	Gryllidae	Und. sp_4	Makonki “D”	± 11	Field crops, vegetables

<sup>(1)</sup> This ethnospecies could refer to *Gonimbrasia zambesina* Walker 1865, to *Imbrasia rectilineata* Sonthonnax 1899, to *Bunaeopsis aurantiaca* Rothschild 1895, or to *Athletes semialba* Sonthonnax 1904 (R. M. Lundanda, personal communication, May 15, 2022). <sup>(2)</sup> This ethnospecies could indistinctly refer to *Cinabra hyperbius* Westwood 1881 or to *Lobobunaea saturnus* Fabricius 1793 [22,37]. <sup>(3)</sup> This species is one of the major insects reported as food throughout Africa, under different local names according to Latham et al. [37], including “Amacimbi” (in Ndebele; Zimbabwe), “Iilir” (in Bekwel; Congo-Brazzaville), “Fikoso” (in Bemba, Lala-Bisa; Zambia), “Kadwisa” (in Nyanja; South Africa), “Minlone” (Ewondo; Cameroon), “Mpampala” (Western Téké; Gabon), “Nato” (Setswana; Botswana), “Ndinguiza” (Aka; Central African [CA] Republic), and “Nkuati” (Kongo; Angola). The caterpillar is also consumed in Burkina Faso, Nigeria, Mozambique, Namibia, Ghana, Togo, and Chad [23].

<sup>(4)</sup> This species is used as food throughout Central and Southern Africa under different local names, including “Avamukundu” (Shona; Zimbabwe), “Cuva” (Mbunda;

Zambia), “Ovungu” (Umbundu; Angola), and “Makalampapa” (Chewa; Malawi) [37]. The caterpillar is also consumed in South Africa, Cameroon, CA Republic, Congo-Brazzaville, and Botswana [23]. <sup>(5)</sup> The species also known as *Gonimbrasia richelmanni* (Weymer, 1909) [22] is distributed and/or consumed across African countries including Congo-Brazzaville (locally called “Binkélé; Lari), Tanzania (likely called “Insega”; Malila), Angola, Uganda, Kenya, Malawi, and Zambia [37]. <sup>(6)</sup> The *Imbrasia* (*Nudaurelia*) genus has been reported as the most represented taxa of edible insects in the DRC [22], with about 16 edible species consumed nationwide, including *I. alopia* Westwood 1849, *I. anthina* Karsch 1892, *I. dione* Fabricius 1793, *I. epimethea* Drury 1773, *I. obscura* Butler 1878, *I. rubra* Bouvier 1920, *I. truncata* Aurivillius 1909, *I. wahlbergi* Boisduval 1847, *I. anthinoides* Rougeot 1978, *I. macrothyris* Rothschild 1906, *I. rhodina* Rothschild 1907, *I. eblis* Strecker 1876, and *I. oyemensis* Rougeot 1955. Regrettably, the exact match between the reported vernacular name (ethnospecies) and the corresponding Linnaean species could not be found. <sup>(7)</sup> This species is also consumed in a certain number of African countries, including Congo-Brazzaville (locally called “Shushu”), Zambia (called “Kakandu” or “Tunkubi”), and probably in Zimbabwe as well [37]. Furthermore, the species has been ranked the top polyphagous lepidopteran consumed in the DRC, as it feeds on 30 different plant species countrywide [22]. <sup>(8)</sup> For the *Elaphrodes* genus, 3 other species exist apart from *E. lactea*, namely: *E. duplex* (Gaede 1928), *E. nephrocrossa* (Bethune-Baker 1909), and *E. simplex* (Viette 1955) [37]. *E. fusca* and *E. erato* cited by these authors are subspecies. These species need further studies given the pending questions as to which ones are used as food in Africa. <sup>(9)</sup> For scientific names, “Und. sp.” stands for “Undetermined species”. Vernacular names (V.N.) for lepidopterans refer to caterpillars, as they were sampled in their larval stage. The representative of Orthoptera was sampled as adult (imago). Superscript letters next to each V.N. are as follows: “S” = smoked; “D” = sun-dried. They indicate the processing methods of insects as they were purchased and stored.

**Table 2.** Protein content on dry matter basis for selected food sources of animal origin.

Animal Protein Sources	Description	Edible Portion (EP)	% Protein (DM) *	INFOODS _Code
Egg	Egg, chicken, local breed, raw	0.87	50.00	08_005
<i>Trachurus trachurus</i>	Atlantic horse mackerel, wild, fillet without skin, grilled (without salt or fat)	0.48	72.40	09_071
<i>Bos taurus</i>	Beef meat, lean, ca. 5% fat, grilled (without salt or fat)	1.00	78.80	07_011
<i>Sus domesticus</i>	Pork meat, moderately fat, ca. 20% fat, grilled (without salt or fat)	1.00	43.90	07_058
<i>G. gallus domesticus</i>	Chicken, light meat with skin, grilled (without salt or fat)	1.00	69.70	07_038

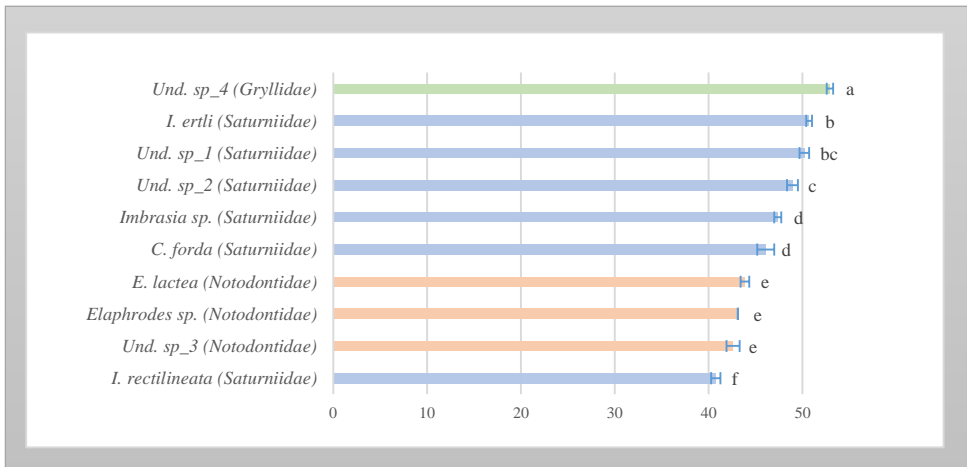
\* The protein content of dry matter basis (DM) was calculated from data provided on fresh matter basis for an edible portion (EP) coefficient 1 (from as purchased to as described) obtained from the FAO [38].

### 3. Results

#### 3.1. Protein Content

The protein content of the selected edible insect species is presented in Figure 1. As can be seen, the protein content of the nine lepidopterans varies from species to species, ranging between 40–50% (DM). In addition, the protein content of the three Notodontidae varied less as compared to the Saturniidae representatives (coefficients of variation = 1.47 and 8.01%, respectively). It should also be pointed out that high protein content (52.9%) was also recorded for the Orthoptera representative. Based on results from the statistical analysis, significant difference ( $F = 268.35$ ;  $p < 0.001$ ) was found among the sampled insects, the Gryllidae (Orthoptera) representative ranking at the top of the first three, followed by two representatives of Saturniidae (Lepidoptera)—namely *I. ertli* and Und. sp\_1 (an unidentified species locally called “Bingubala jaune”).

Furthermore, data on protein content (illustrated on Figure 1) have also been compared to the protein content of the most common animal-based foods in the DRC [17] from official nutrient composition tables (notably, the food composition tables available on the Food and Agriculture Organization website) [38]. Based on selected entries summarized in Table 2, the protein content of the sampled edible insect species was found to be relatively comparable to values reported in the FAO/INFOODS food composition table for Western Africa for the common conventional protein sources (poultry, fish, beef and pork) in the DRC.



**Figure 1.** Protein content (g/100 g DM basis) of sampled edible Lepidoptera (Saturniidae or Notodontidae) and Orthoptera (Gryllidae) representatives. Different superscript letters denote a significant difference between sampled species ( $p < 0.001$ ).



### 3.2. Amino Acid Profiles

Table 3 indicates the AA composition characterizing the protein quality of the major commercially relevant edible insect species in the DRC (namely: *C. forda*, *I. ertli*, “Binkubala”, *Elaphrodes sp.*, “Mifwangi-fwangi”, and “Makonki”) (Table 1), based on reports from Nsevolo et al. [22] and Nsevolo et al. [35]. Although the content of essential or non-essential amino acids (NEAAs) varies between edible insect species, results showed that the six selected species contained 18 AAs, with essential amino acid (EAA) profiles close to the FAO’s recommended values (Figure 2).

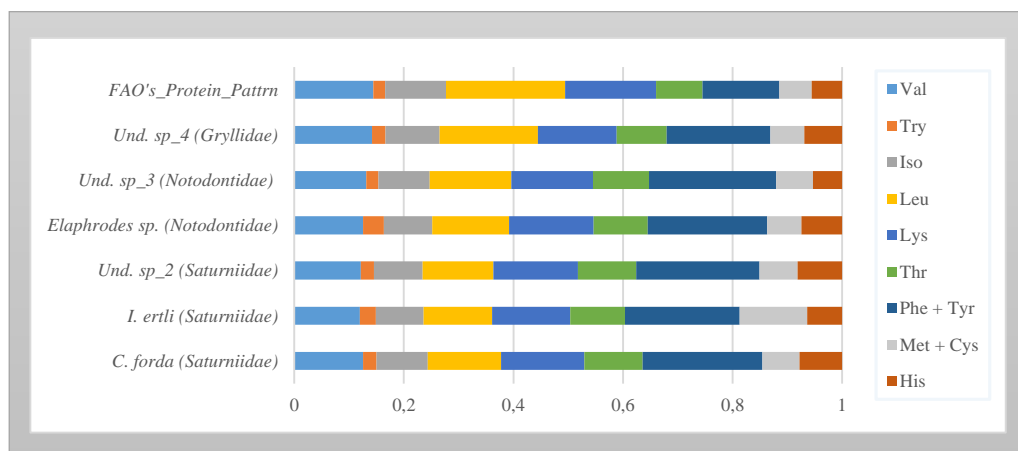
Furthermore, *I. ertli* (Saturniidae) should be highlighted, as its contents of Ile, Phe, Thr, and Trp were the highest compared to the other species analyzed in this study. Moreover, *I. ertli* also had the highest Lys content along with another representative of Saturniidae (“Binkubala”—Und. sp\_2) and the highest essential amino acid index (EAAI) (Table 3). In addition, it is noteworthy that the representative of Orthoptera (“Makonki”—Gryllidae) had the highest content of three EAAs (namely, Met, Val, and Leu) and the lowest value for Phe, whereas an unidentified representative of Lepidoptera (“Mifwangi fwangi”—Und. sp\_3) showed both the lowest values for all the EAAs (except for Phe) (Figure 2) and the lowest EAAI (0.90) (Table 3). As for NEAAs, Gln and Asn predominated among the 18 AAs identified in the sampled edible insects. The representatives of Saturniidae (“Binkubala”—Und. sp\_2) and Gryllidae (“Makonki”—Und. sp\_4) yielded the highest values in Asn and Gln (respectively).

Individual values for all EAAs (except for Trp) from the sampled insects were also compared to the EAA content of conventional foods of animal origin. Related results illustrated in Figure S1 showed that the EAA profiles from sampled insects were comparable to common animal-based protein sources, taking human requirements for a healthy diet into account [39–41]. However, as can be seen in Table 4, the first limiting AAs for the selected insects (by computing the ratio of each amino acid compared to the reference profile) [41] were Leu for all the Lepidoptera species and sulphur-containing AAs (i.e., Met and Cys) for the Orthoptera representative (“Makonki”—Und. sp\_4). Additionally, this latter species also had both the highest NEAA content (notably in Arg, Gln, Gly, Ala, and Pro) and AA score (0.85).

**Table 3.** AA composition (g/100 g DM) of the main commercial edible insect species.

	Saturniidae			Notodontidae		Gryllidae
Amino acids (AAs) <sup>a</sup>	<i>Cirina forda</i>	<i>Imbrasia erтли</i>	“Binkubala”	<i>Elaphrodes sp.</i>	“Mifwangi fwangi”	“Makonki”
<b>Essential AAs (EAAs)</b>						
Valine (Val)	3.61 ± 0.093	4.12 ± 0.024	3.85 ± 0.103	3.31 ± 0.165	3.20 ± 0.067 <sup>#</sup>	4.28 ± 0.083 <sup>*</sup>
Isoleucine (Ile)	2.69 ± 0.065	3.00 ± 0.034 <sup>*</sup>	2.82 ± 0.076	2.32 ± 0.069	2.29 ± 0.081 <sup>#</sup>	2.98 ± 0.036
Leucine (Leu)	3.85 ± 0.105	4.30 ± 0.055	4.10 ± 0.110	3.70 ± 0.092	3.63 ± 0.084 <sup>#</sup>	5.40 ± 0.093 <sup>*</sup>
Lysine (Lys)	4.39 ± 0.116	4.91 ± 0.035 <sup>*</sup>	4.91 ± 0.132 <sup>*</sup>	4.07 ± 0.090	3.62 ± 0.006 <sup>#</sup>	4.34 ± 0.012
Threonine (Thr)	3.05 ± 0.000	3.42 ± 0.014 <sup>*</sup>	3.38 ± 0.091	2.59 ± 0.030	2.50 ± 0.050 <sup>#</sup>	2.76 ± 0.004
Phenylalanine (Phe)	2.75 ± 0.034	3.17 ± 0.153 <sup>*</sup>	2.93 ± 0.078	2.57 ± 0.065	2.35 ± 0.079	2.26 ± 0.048 <sup>#</sup>
Methionine (Met)	0.95 ± 0.008	1.15 ± 0.011	1.08 ± 0.029	1.05 ± 0.006	0.82 ± 0.093 <sup>#</sup>	1.17 ± 0.036 <sup>*</sup>
Histidine (His)	2.24 ± 0.008	2.19 ± 0.025	2.58 ± 0.069 <sup>*</sup>	1.95 ± 0.040	1.29 ± 0.040 <sup>#</sup>	2.08 ± 0.059
Tryptophan (Trp)	0.71 ± 0.288	1.01 ± 0.027 <sup>*</sup>	0.77 ± 0.021	0.99 ± 0.150	0.53 ± 0.010 <sup>#</sup>	0.73 ± 0.012
EAAs	24.24	27.27	26.42	22.53	20.23	26.01
<b>Non-essential AAs (NEAAs)</b>						
Tyrosine (Tyr) <sup>b</sup>	3.55 ± 0.046	4.04 ± 0.071	4.23 ± 0.113 <sup>*</sup>	3.62 ± 0.041	3.29 ± 0.107 <sup>#</sup>	3.46 ± 0.086
Arginine (Arg)	3.30 ± 0.110	3.56 ± 0.085	3.54 ± 0.095	3.12 ± 0.054	2.88 ± 0.101 <sup>#</sup>	4.28 ± 0.142 <sup>*</sup>
Aspartic acid (Asn)	5.37 ± 0.045	5.87 ± 0.011	5.87 ± 0.157 <sup>*</sup>	4.92 ± 0.089	4.76 ± 0.081 <sup>#</sup>	5.19 ± 0.008
Glutamic acid (Gln)	7.13 ± 0.081	7.65 ± 0.025	7.71 ± 0.207	6.63 ± 0.117	5.88 ± 0.161 <sup>#</sup>	7.53 ± 0.064 <sup>*</sup>
Serine (Ser)	3.21 ± 0.036	3.72 ± 0.034 <sup>*</sup>	3.37 ± 0.09	2.62 ± 0.010	2.60 ± 0.077 <sup>#</sup>	3.02 ± 0.036
Glycine (Gly)	2.82 ± 0.037	3.11 ± 0.021	3.04 ± 0.081	2.38 ± 0.026	2.22 ± 0.004 <sup>#</sup>	3.78 ± 0.192 <sup>*</sup>
Alanine (Ala)	2.98 ± 0.063	3.24 ± 0.048	3.31 ± 0.089	2.90 ± 0.038 <sup>#</sup>	2.90 ± 0.003 <sup>#</sup>	5.63 ± 0.401 <sup>*</sup>
Cysteine (Cys)	1.01 ± 0.008	1.07 ± 0.028	1.14 ± 0.030 <sup>*</sup>	0.61 ± 0.014 <sup>#</sup>	0.83 ± 0.022	0.69 ± 0.006
Proline (Pro)	2.87 ± 0.161	3.16 ± 0.137	2.86 ± 0.077	2.39 ± 0.085	2.26 ± 0.072 <sup>#</sup>	3.97 ± 0.170 <sup>*</sup>
NEAAs	32.19	35.41	35.05	29.18	27.59	37.55
Total AAs	56.43	62.68	61.47	51.71	47.82	63.56
Ratio EAAs/NEAAs	0.75	0.77	0.75	0.77	0.73	0.69
EAAI <sup>c</sup>	1.11	1.36	1.22	1.04	0.90	1.15

<sup>a</sup> The amino acid (AA) abbreviations used here (and throughout the rest of the text) are in accordance with the International Union of Biochemistry and Molecular Biology to designate proteinogenic AAs [39]. Values are given as mean ± standard deviation from triplicate determinations. For each AA, ‘\*’ indicates the highest value (*i.e.*, max) whereas ‘#’ indicates the lowest one (*i.e.*, min). <sup>b</sup> Conditional EAA. <sup>c</sup> Essential amino acid index calculated using human requirements based on the recommended protein pattern (individual AA in g/100 g protein, *i.e.*, %) from FAO/WHO/UNU expert consultation [40]. According to Nielsen [41,42], values for methionine + cysteine and phenylalanine + tyrosine were used in calculation of the EAAI.



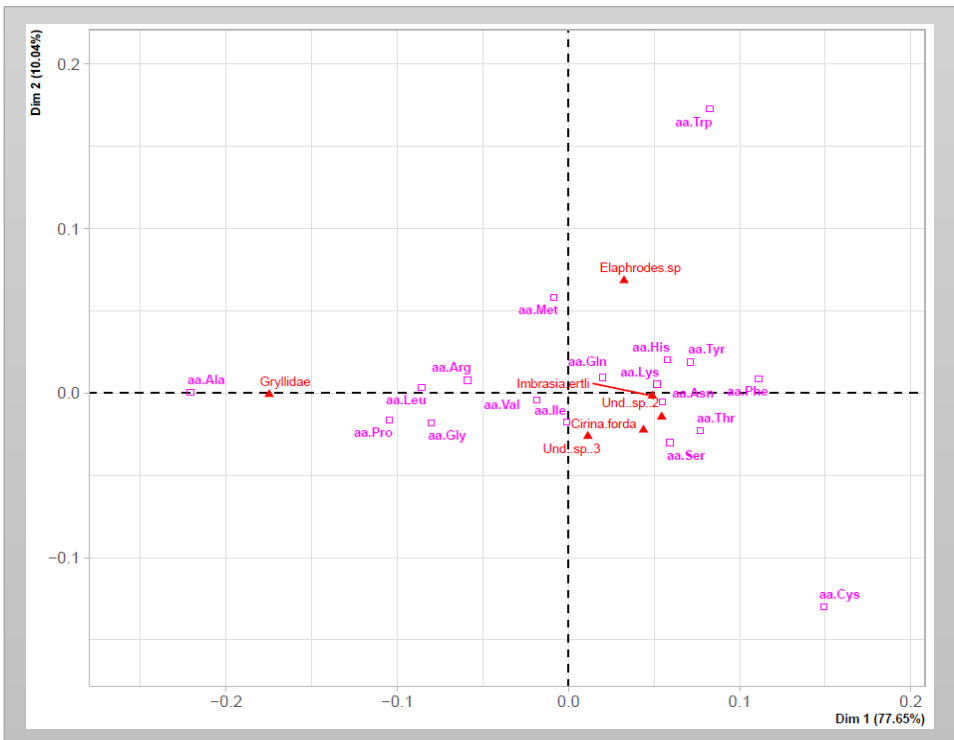
**Figure 2.** Comparison of EAA distribution in the protein fraction (% of total AAs) of six selected edible insects to protein pattern (individual AAs in g/100 g protein, *i.e.*, %) based on recommendation by the FAO [40].

**Table 4.** EAA ratios calculated based on the FAO/WHO pattern for preschool children (2–5 years old), estimated AA score, and limiting AA of the selected insects.

Edible Insects	Saturniidae		Notodontidae		Gryllidae	
	<i>C. forda</i>	<i>I. ertli</i>	“Binkubala”	<i>Elaphrodes sp.</i>	“Mifwangi”	“Makonki”
Valine	1.00	1.14	1.07	0.92	0.89	1.19
Tryptophan	1.10	1.58	1.20	1.54	0.83	1.15
Isoleucine	1.00	1.11	1.04	0.86	0.85	1.10
Leucine	0.71	0.80	0.76	0.68	0.67	1.00
Lysine	0.97	1.09	1.09	0.90	0.80	0.96
Threonine	1.33	1.49	1.47	1.13	1.09	1.20
Phenylalanine + Tyrosine	1.57	1.80	1.79	1.43	1.41	1.43
Methionine + Cysteine	0.89	1.93	1.01	0.75	0.75	0.85
Histidine	1.49	1.46	1.72	1.30	0.86	1.38
AA score <sup>a</sup>	0.71	0.80	0.76	0.68	0.67	0.85
Limiting AA	Leu	Leu	Leu	Leu	Leu	Met + Cys

<sup>a</sup> AA score = (mg of AA in 1 g of test protein/mg of AA in 1 g of reference protein) according to Nielsen [42], with preschool children’s EAA requirement pattern adapted from the FAO [40].

Finally, results of Table 3 were further explored through correspondence analysis (CA) to confirm whether the studied edible insect species showed significant differences based on their taxonomical membership (Figure 3). CA explained 87% of the variance with the first two principal dimensions and clearly suggested three distinct groups based on the EAA and NEAA composition of the studied insects. Cluster 1 (including *I. ertli*, *C. forda*, and “Binkubala”—Saturniidae) was associated with a higher content of Phe, Asn, Lys, His, and Ser; whereas cluster 2 (including *Und. sp\_4*—Gryllidae) was characterized by a higher content of Ala, Leu, Arg, Pro, Gly, and Val. Conversely, cluster 3 (including *Elaphrodes sp.*—Notodontidae) was associated with the lowest content of five EAAs (namely Val, Ile, Leu, Lys, Thr, and His) and seven NEAAs (Table 3).

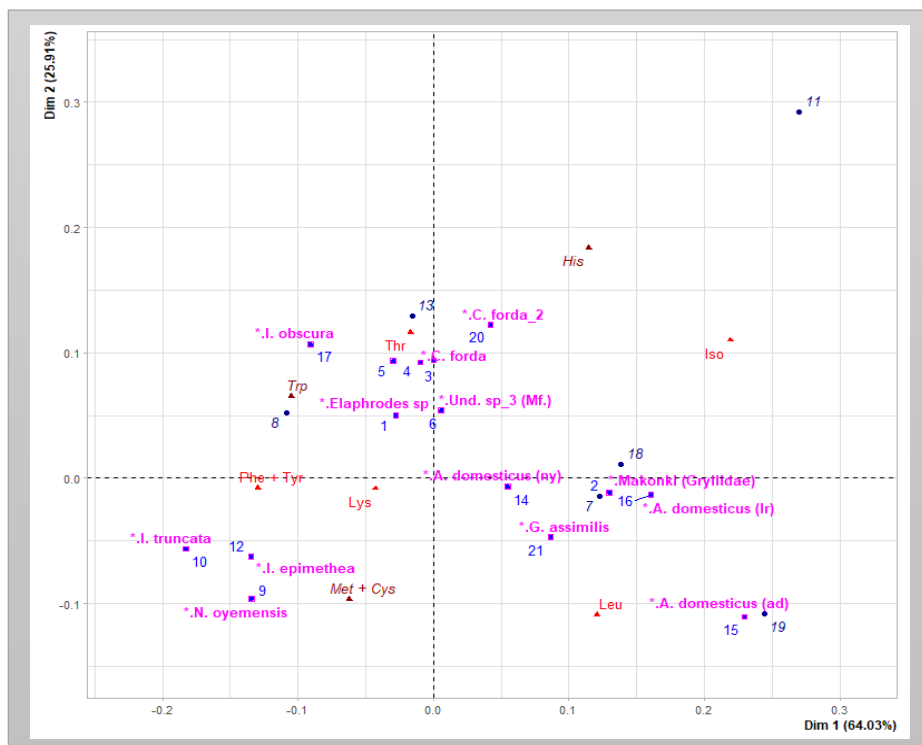


**Figure 3.** Graph of the first two principal components provided by correspondence analysis (CA) of the AA composition in the sampled edible insect species.

### 3.3. EAA Profiles Compared to Data Derived from Literature

Correspondence analysis (CA) was performed to compare the EAA profiles of the studied insect species with data (dry matter basis) on selected edible insect species derived from the literature (Table S1). Related results (illustrated in Figure 4), suggest similar EAA profiles between the studied representative of Gryllidae (namely, *Und. sp\_4*: “Makonki”) and the remaining representatives of Orthoptera (including *A. domesticus*, *Gryllodes sigillatus*, *Gryllus bimaculatus*, and *G. assimilis*). Likewise,

CA also supports similar EAA profiles (a) between *C. forda* (“Mikwati”) and data derived from the literature for the same species, and (b) between *I. ertli* (“Misati”) and *Und. sp\_2* (“Binkubala”) with *I. obscura* from the literature (Table S1). It is worth mentioning that the CA also suggests similar EAA profiles between some representatives of Lepidoptera (namely *I. truncata*, *I. epimethea*, and *N. oyemensis*) that contained higher levels of some EAAs (namely Lys, Met + Cys, and Phe + Tyr) than Orthopterans (Figure 4).



**Figure 4.** CA graph of the EAA profiles of the studied insects (from 1 to 6) and of selected species derived from the literature (from 7 to 21). Species are as follows: (1) *Elaphrodes sp.* (“Mingingi”); (2) *Und. sp-4* (“Makonki”); (3) *C. forda* (“Mikwati”); (4) *I. ertli* (“Misati”); (5) *Und. sp-2* (“Binkubala”); (6) *Und. sp-3* (“Mifwangi-fwangi”); (7) *Gryllus bimaculatus*; (8) *Samia ricini* (pupae); (9) *N. oyemensis*; (10) *I. truncata*; (11) *I. ertli*; (12) *I. epimethea*; (13) *Anaphe venata*; (14) *A. domesticus* (nymphs); (15) *A. domesticus* (adults); (16) *A. domesticus* (larvae); (17) *I. obscura*; (18) *Grylloides sigillatus*; (19) *Schistocerca gregaria*; (20) *C. forda*; (21) *G. assimilis*. The full names of species derived from the literature are given in Table S1.

## 4. Discussion

Information regarding the nutritional composition of edible insects in SSA countries is limited, disparate in terms of methodology or data quality, and may vary depending on the location of the published sources [10,43–45]. However, available reports claim that edible insects are nutritious and should be seriously considered as a sustainable alternative to resource-intensive meat production [11,46-47]. Current results

regarding the sampled edible insects from the DRC aligned with the aforementioned reports while complementing them in terms of protein content and AA profiles, the chemical characterization of relevant edible insect species for cross-border trade among SSA countries.

Moreover, the current study supports reports that edible insects should be meaningfully considered in interventions aiming to alleviate food insecurity, or to prevent malnutrition and morbidity due to inadequate nutrient intake [10,27,46–49]. This assertion is based on significant protein content reported for the different species analyzed (46.0% on average for Lepidoptera representatives), as well as high-quality protein in terms of AA spectra and EAAI—which is a rapid calculation to determine protein nutritional quality [42]. Based on the results, all the analyzed species met the FAO/WHO requirements of 40% EAAs and exhibited a high ratio of EAAs/NEAAs (ranging from 0.69 to 0.77). Furthermore, on average, the concentrations of EAAs (especially Met + Cys, reported to be in low amounts in insect proteins) [10] were close to the FAO/WHO EAA requirement pattern for preschool children (2–5 years) and adults (> 18 years) according to the FAO [40], with some exceptions, however (especially for Leu).

The prime example of nutrient-rich edible insect species in this study was *I. ertli* (Saturniidae, Lepidoptera), as the species contained the highest values in four EAAs (namely Ile, Phe, Thr, and Trp) and the highest EEAI as compared to the remaining selected insects. In addition, the same species also contained high values of Lys, which is essential for healthy growth in children, for calcium absorption, and to form collagen for healthy connective tissue. In addition, Lys is also well-known to be the limiting AA in cereal proteins [50,51]. This is noteworthy as it gives a relevant example of an edible insect species, broadly consumed across Africa (including Zambia, South Africa, Cameroon, Congo-Brazzaville, the CA Republic, Zimbabwe, Botswana, Angola, and the DRC) [22,23,52], which could be used for dietary supplementation given that cereals are assumed as staple diets in many developing countries [43].

An additional example of a species with high levels of nutritive proteins was the representative of Orthoptera (“Makonki”—Gryllidae). Regrettably, the unidentified sample at species level (due to degradation during the processing phase to increase its shelf life) was simply enlisted using its related ethnospecies. Regardless of this challenge of accuracy in Linnaean identification (and species correspondence with vernacular names), the sample showed the highest protein content, the highest values in three EAAs (namely Val, Leu, and Met) and five NEAAs (namely Arg, Gln, Gly, Ala, and Pro). Taking into consideration the varied roles of the aforementioned AAs in human growth or health and their interactive networks in the body [39,53], these findings support an additional species that should be targeted for better description and chemical characterization. Mass production of such species should also increase access to proteins of animal origin. This could help alleviate nutrition insecurity and poor diets (which are incidentally an aggravating factor of the ongoing COVID-19 pandemic) [2].

Pragmatically speaking, the fortification and enrichment of food products with edible insect powder could be an effective solution to address food-related challenges and other public health issues linked to poor diets. This could be effectively implemented to mitigate food insecurity in developing countries in Africa (such as the DRC, Congo-Brazzaville, and Angola) where entomophagy is culturally accepted. Indeed, such an approach has been successfully implemented in Asia (*e.g.*, Thailand) where food companies produce pasta enriched with 20% cricket powder [3]. This is also already considered in some SSA countries (notably Kenya) where the consumer acceptability and physical quality of bread and cookies enriched with 10% house cricket powder were comparable to control products [54].

However, it is worth mentioning that the AA score, which measures the content of the first limiting AA compared to requirements of preschool age children - as a part of the protein digestibility corrected amino acid score (PDCAAS) assay (the method of choice for dietary protein quality assessment) [41] indicated Leu as the limiting AA in all the selected lepidopterans, and sulphur-containing AAs (Met and Cys) for the Orthoptera representative (Table 4). Similar findings are also reported for a number of commercially relevant edible insect species worldwide [55,56].

Such reports on specific limiting AAs in edible insects should raise awareness that the real benefit one can derive from eating edible insects is necessarily correlated to a wholesome and varied diet (to optimally meet human requirements for essential nutrients as suggested by the FAO/WHO) [40]. Therefore, nutritious and attractive new products (or formulations), coupled with relevant information derived from a better knowledge of limiting AAs in edible insects, should be made available for commercially relevant insect species. This information could be made accessible to consumers through effective labeling of insect-based products (on a species-specific basis). Moreover, operational labeling of insect-based products and efficient outreach could encourage consumers toward edible insects as healthy foods and part of healthy diets. This could also help reduce reliance on meat and fast foods linked to the prevalence of chronic diet-related conditions (such as obesity, hypertension, and diabetes) emerging in developing African countries [3,57].

Furthermore, considering questions related to variation of protein content and AA spectra both within and between species from the three taxa analyzed, CA results suggested three clusters based on the AA profiles of the selected insect species. Membership in cluster 1 was positively associated with Saturniidae insect species, containing the highest values of three EAAs (Phe, Lys, and His) and two NEAAs (Asn and Ser). Membership in cluster 2 was associated with Orthoptera species, exhibiting both the highest content of two EAAs (Leu and Val) as well as four NEAAs (Ala, Arg, Pro, and Gly), and low values of aromatic AAs (principally Phe). Membership in cluster 3 was associated with Notodontidae representatives, showing the lowest values of six EAAs (Val, Ile, Leu, Lys, Thr, and His), as well as in all the NEAAs (except Cys). This finding is in part probably associated with the taxonomic group, since it is well known that closely related species use the same class of resources [58]. As some edible insect species may be less beneficial to human health than hitherto believed [44], complementary insights into distribution patterns of AAs (or their

relative proportions according to the taxonomical origin of edible insect species) might be relevant for tailored prescriptions for diets in relation to the nutritive profiles of edible insects.

Documenting the protein and AA richness of insect species used as food in the DRC was not without its challenges. First and foremost, as a number of methods exist to determine protein quality, comparisons with available data as derived from literature for the studied species were complex. For example, the protein content of *C. forda* (Saturniidae) whose caterpillar is consumed in no less than 17 countries throughout Africa, varied from 20.2–33.1% to 62.5–74.4%, making comparisons with current results (46.1%) tricky and inconclusive. A similar challenge has been documented by a couple of studies as well, notably Rumpold and Schlüter [10] and Payne et al. [44], who reported tremendous data variations on a dry matter basis (based on a compilation of 236 nutrient compositions of edible insects as published in the literature). Such variations might be related to the different measuring methods or could originate either from distinct development stages, from differences in insects' diets (*i.e.*, feed), ecology, or notably from processing methods.

Notwithstanding, the reported protein content for Lepidoptera from the literature (45.38%) [10] was close to the average protein content of the studied representatives of Notodontidae and Saturniidae (Figure 1). In addition, the studied representative of *Imbrasia* showed similar content of some EAAs (namely Trp, Thr, Phe + Tyr, Met + Cys, Ile, and His) to its congeneric species *I. obscura* (with SDs as follows: 0.008, 0.370, 0.063, 0.367, 0.421, and 0.132, respectively) (Tables 3 and S1). Likewise, *Und. sp\_2* (“Binkubala”) yielded relatively similar EAA contents to the other representatives of Saturniidae (*I. obscura*, *I. ertli*, and *I. truncata*) (Tables 3, S1 and S2), supporting its membership in cluster 1 (Figures 3 and 4). Similarly, the protein content of the studied representative of Gryllidae was relatively close to the value reported for orthopterans (61.32% on average) [10]—as was its EAA profile (Figure 4).

Although the protein and AA contents of the studied edible insect species were in the range of data previously reported for representatives of orthopterans or lepidopterans (Tables S1 and S2) as derived from the literature [10, 59-67], the current study supports the call for adherence to global standards of nutrient composition analysis to circumvent methodology-related variations hampering (at least in part) the full understanding of insect nutritional composition [44].

For a reliable assessment of the nutritional quality of insect proteins, this study also suggests complementary investigations of protein digestibility and anti-nutrient compounds present in the studied edible insects. The most commonly used approaches in evaluating protein or AA digestibility (and bioavailability) include AA score, biological value, net protein utilization, *in vitro* or *in vivo* protein digestibility, PDCAAS, and the digestible indispensable AA score (DIAAS) [40,41,68]. The latter method, recommended by the FAO, also incorporates up-to-date scientific information about AA reference patterns and AA digestibility, as well as the effects of anti-nutritional factors and food processing [40,68].

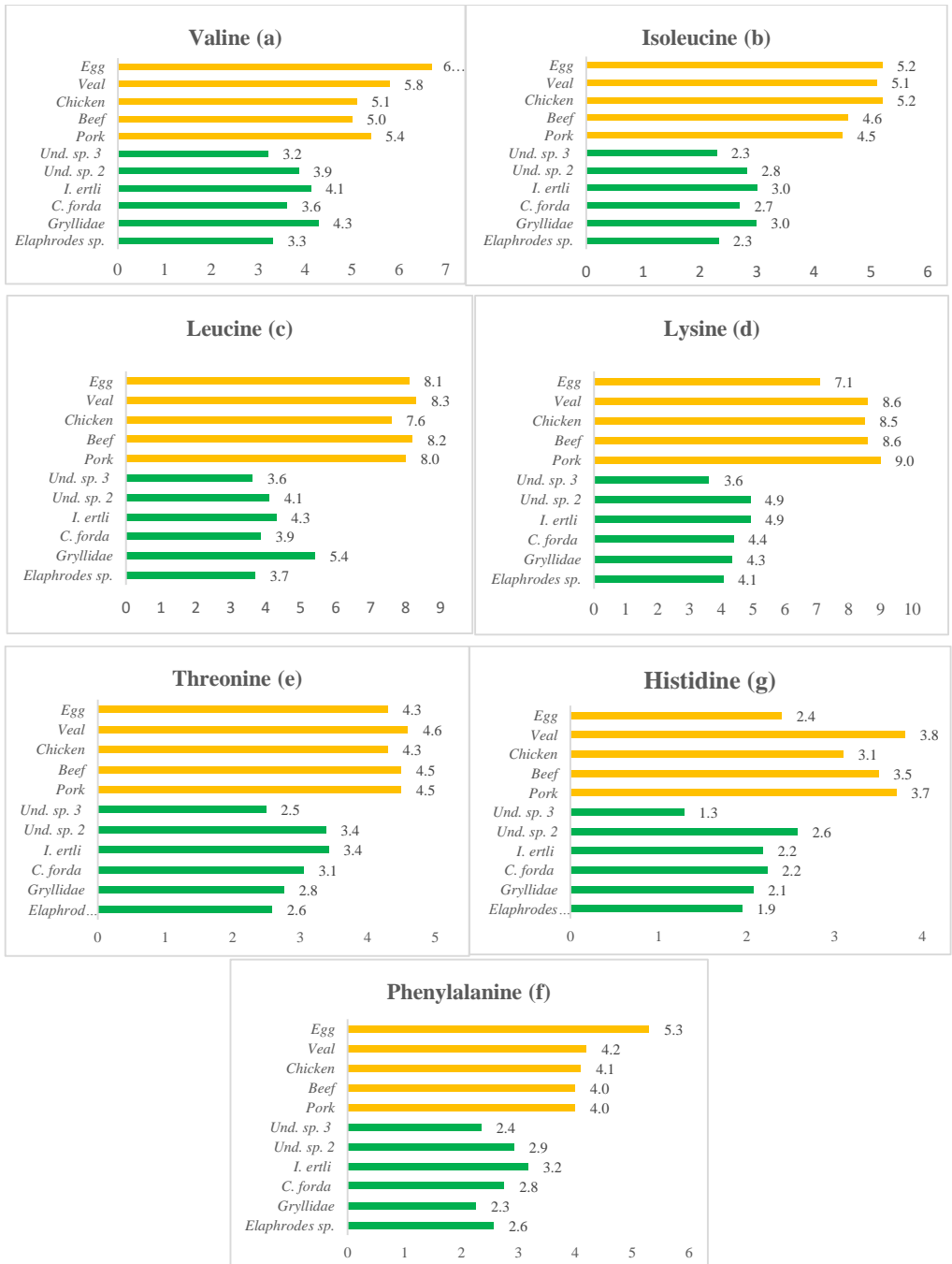


A further impediment that hinders rigorous assessment of the global contribution of insects to human nutrition is related to traditional ecological knowledge (TEK). As TEK is basically shared orally from one generation to another, the accurate taxonomical identification of many edible insect species using Linnaean nomenclature is tricky. In effect, as reported in Table 1, too many ethnospecies used as food in rural communities (and whose common names may vary according to the plants they feed on, their life stage, or the local languages used) are under-documented. This issue is already reported for edible insect species from the DRC [69,70] and for many other edible insect species harvested from the wild and traditionally processed by rural communities in most SSA countries [71,72]. Accordingly, a call is made for considering citizen science [69] as a pathway to unravel insect species amidst vernacular names used for edible insects in the DRC, or from the tremendous number of ethnospecies still hitherto unidentified [22].

## 5. Conclusions and perspectives

This study provided insights into the protein content and AA spectra of selected commercial edible insects from three taxa and showed the high quality of insect proteins (as reflected in the various protein quality indices determined). These findings are of relevance both on a national level and across Africa, as some of these edible insect species are broadly consumed in Sub-Saharan (SSA) countries. Moreover, since food security was challenged due to the disruption of food systems induced by COVID-19, this study documented a needful corpus of knowledge related to commercially relevant edible insect species. Its outputs might help in implementing nutritious diets for alleviation of nutrition and food insecurity, particularly in SSA countries where entomophagy is culturally ingrained. However, results from this study also raised awareness of species-specific deficiencies, notably in leucine (for the five selected species of Lepidoptera) or in sulphur-containing AAs (for the Orthoptera representative analyzed). These limiting AAs should be taken into account for outreach to consumers, since the real benefit derived from eating insects (or from eating any other nutrient-rich foods) is necessarily associated with a varied diet. Moreover, a wholesome and varied diet is paramount to optimally meeting human requirements for essential nutrients as recommended by the FAO/WHO. Finally, preliminary insights into the distribution patterns of AAs according to the taxa of selected insects have been given. This information should be improved with larger samples and other analytical data (*e.g.*, on edible insects' protein digestibility and bioavailability, as well as on anti-nutrient compounds) with respect to processing methods used to increase their shelf life. Related outputs should help in tailoring insect-based diets, in labeling of insect-based products, and their marketing among SSA countries.

## Appendix A.



**Figure S1 (a – g).** Selected AA distribution's comparison in the protein fraction (% of total AA) of sampled insects with common sources of animal-based proteins - data other than insects are from Ghosh et al. [67].

**Appendix B - Table S1:** EAA profiles (g/100 g dry matter) of selected edible insects derived from literature

Edible insect species	His	Ile	Leu	Lys	Met + Cys	Phe + Tyr	Thr	Trp	Sources
<b>Lepidoptera</b>									
<b>Saturniidae</b>									
<i>Cirina forda</i> Westwood, 1849	2,080	3,680	5,910	4,590	1,280	8,450	5,190	1,840	[42]
<i>Samia ricini</i> Jones, W., 1791 (pupae)	2,670	4,420	6,630	6,540	2,840	14,640	4,750	N/A	[10,60]
<i>Nudaurelia oyemensis</i> Rougeot, 1955	1,810	2,560	8,270	7,980	4,320	13,430	4,450	1,600	[10,61]
<i>Imbrasia truncata</i> Aurivillius, 1909	1,740	2,420	7,310	7,890	3,870	13,870	4,690	1,650	[10,61]
<i>Imbrasia ertli</i> Rebel, 1904	N/A	3,600	3,670	3,930	2,920	3,060	4,050	0,810	[10,48]
<i>Imbrasia epimethea</i> Drury, 1773	1,970	2,860	8,100	7,420	4,110	14,000	4,800	1,600	[10,61]
<i>Imbrasia obscura</i> Butler, 1878	2,000	2,400	3,300	3,300	1,700	7,300	2,900	1,000	[62]
<b>Notodontidae</b>									
<i>Anaphe venata</i> Butler, 1878	0,780	2,140	1,310	0,880	N/A	4,640	0,380	0,000	[10,63]
<b>Orthoptera</b>									
<b>Gryllidae</b>									
<i>Acheta domesticus</i> (Linnaeus, 1758) (nymphs)	2,570	4,060	7,260	6,230	2,450	9,490	3,890	0,630	[10,64]
<i>A. domesticus</i> (adults)	2,340	4,590	10,000	5,370	2,290	8,050	3,610	0,630	[10,64]
<i>A. domesticus</i> (larvae)	2,100	4,200	7,300	5,600	3,600	7,400	3,500	0,600	[10,65]
<i>Gryllodes sigillatus</i> (Walker, 1869)	1,720	2,660	5,780	3,840	2,700	5,380	3,680	N/A	[66]
<i>Gryllus bimaculatus</i> De Geer, 1773	2,500	2,160	3,970	2,420	5,370	4,560	2,000	N/A	[67]
<i>Gryllus assimilis</i> (Fabricius, 1775)	2,520	3,360	6,620	5,290	3,430	7,600	3,090	2,530	[43]
<b>Acrididae</b>									
<i>Schistocerca gregaria</i> (Forskål, 1775)	2,060	2,820	7,770	3,510	1,180	5,180	3,550	N/A	[66]

**Table S2.** EAA profiles (mg/100 g fresh weight) of selected Saturniidae derived from literature

Insect species	His	Ile	Leu	Lys	Met + Cys	Phe + Tyr	Thr	Trp	Sources
<i>Imbrasia truncata</i>	666	809	1148	1449	563	3446	1036	245	[68]
<i>Imbrasia epimethea</i>	685	865	1250	1479	575	2938	1207	266	[68]

## 6. References\_Index

1. FAO (2020d)
2. Zurayk (2020)
3. Adegboye *et al.* (2021)
4. UN (2020)
5. Nchanji *et al.* (2021b)
6. WEF (2021)
7. FAO (2022)
8. UNDP (2022)
9. Van Huis (2020)
10. Rumpold & Schlüter (2013)
11. Van Huis *et al.* (2013)
12. DeFoliart (xxxx)
13. Malaisse (1997)
14. Malaisse (2005)
15. Malaisse & Parent (1997)
16. Malaisse *et al.* (2003)
17. Nsevolo *et al.* (2022c)
18. Balinga *et al.* (2004)
19. Detilleux *et al.* (2021)
20. Djouffa *et al.* (2021)
21. Roulon-Doko (1998)
22. Nsevolo *et al.* (2022a)
23. Kelemu *et al.* (2015)
24. Fraqueza & Patarata (2017)
25. Murefu *et al.* (2019)
26. Saeed *et al.* (1993)
27. Belluco *et al.* (2013)
28. Belluc *et al.* (2018)
29. Delvare & Aberlenc (1989)
30. Francis & Haubruge (2012)
31. A.O.A.C. (2005)
32. Janssen *et al.* (2017)
33. Jung *et al.* (2003)
34. Thompson *et al.* (2002)
35. Nsevolo *et al.* (2016)
36. McCusker *et al.* (2014)
37. Latham *et al.* (2021)
38. INFOODS (2019)
39. Wu (2021)
40. FAO (2013)
41. Nielsen (2017)
42. Nielsen (2021)
43. Oibiokpa *et al.* (2018)
44. Payne *et al.* (2016b)
45. Rumpold & Schlüter (2015)
46. Halloran *et al.* (2018)
47. Vantomme *et al.* (2014)
48. Chen *et al.* (2010)
49. Bukkens (1997)
50. Joyce (2019)
51. Temba *et al.* (2016)
52. Malasi *et al.* (2022)
53. Rose (2019)
54. Bawa *et al.* (2020)
55. Köhler *et al.* (2019)
56. Ramos-Elorduy (1997)
57. Mathijs (2015)
58. Krüger *et al.* (2010)
59. Longvah *et al.* (2011)
60. Kodondi *et al.* (1987a)
61. Mabossy-Mobouna *et al.* (2018)
62. Banjo *et al.* (2006)
63. Finke (2007)
64. Ramos-Elorduy *et al.* (2012)
65. Zielińska *et al.* (2015)
66. Ghosh *et al.* (2017)
67. Mba *et al.* (2019)
68. Mahmud *et al.* (2020)
69. Nsevolo (2016)
70. Nsevolo (2021)
71. Lautenschläger *et al.* (2017b)
72. Malaisse & Lognay (2003)

## IV.2. Analysis of sexual dimorphism and morphometric characteristics of *Rhynchophorus phoenicis* (Fabricius 1801) populations for mass-rearing perspective in DR Congo

### Abstract

*Rhynchophorus phoenicis* F. (Coleoptera: Dryophthoridae) is a nutrient-rich edible insect and highly sought-after species in sub-Saharan African countries. Mass-rearing of the species and enrichment of food with larvae powder have been investigated across Africa, but morphometric features of populations from the wild, taking into account mass-breeding prospects supported as sustainable alternative to resource-intensive meat production, are under-documented. Through a combination of statistical approaches, *i.e.* independent *t*-test, regression analysis, analysis of variance, Principal Components Analysis and Linear Discriminant Analysis (LDA), the study investigated sexual dimorphism parameters and pronotum patterns on both sexes, as well as discriminant morphometric characters of three distinct populations from central Africa. The results supported sexual dimorphism of *R. phoenicis* adults based on four morphological characters (*viz.* snout length, profemur length, protibial length and metacoxal distance) and indicated no association with sex for the nine types of dorsal markings. Furthermore, the selected LDA model (Wilk's Lambda = 0.0942,  $p < 0.0001$ ) derived from reduced dataset (20 morphometric characters) suggested two groups based on insects' geographical origin, and achieved a good discrimination with ten diagnostic characters showing low probability of misidentification between morphotypes. In addition, LDA revealed two significant functions (F1: 82.2%, F2: 17.8%) accounting for 100% of the variation that explained a canonical correlation of 0.903 and 0.699, respectively. Moreover, the standardized canonical discriminant function coefficients indicated the highest character loadings for both functions (*viz.* pronotum width, total length, snout width, antenna width, protarsus length, distance between eyes, snout length, mesotarsus length, profemur length and elytra width). However, the study pointed out the need of a comprehensive body of knowledge related to weevils' diversity in DRC and called for phylogenetic investigation based on molecular genetics in order to validate discrimination of groups through the functions derived from the suggested multivariate analysis model. Such findings might significantly improve routine identification of this species and comparability of identification results across different countries, while being useful towards mass-rearing implementation prospects.

### Keyword

African palm weevil, edible insect, multivariate analysis, morphometrics, insect mass-farming, DRC.

## 1. Introduction

The African palm weevil (APW), *Rhynchophorus phoenicis* (Fabricius 1801) (Coleoptera: Dryophthoridae), is a large weevil (with elongate-oval body, varying from black to nearly red) distributed throughout African countries (its geographical range extending from Guinea, across the continent eastward to Uganda and southward to South Africa) (Wattanapongsiri, 1966). The species, reported as a pest of many plants of family Arecaceae (including *Raphia monbuttorum* Drude, *Elaeis guineensis* Jacq., *Phoenix dactylifera* L. and *Cocos nucifera* L.) (Singh 2008, Tambe *et al.*, 2013), is broadly used as human food on the continent and highly sought-after, as reflected by the various reports about the larvae being included in national menus across sub-Saharan African (SSA) countries such as the Democratic Republic of Congo (DRC) (the species being locally called “Mpose” or “Nsombi”) (Malaisse 1997; Takeda, 1990), Congo-Brazzaville (the grub is known under different names, including “Posi” or “Tsombi”) (Mabossi-Mobouna and Malaisse, 2020; Nzikou, 2010), Cameroon (under different names used for larvae according to the 270 official spoken dialects) (Mba *et al.*, 2018; Tambe *et al.*, 2013), Ivory Coast (Gnanda, 2018) or Nigeria (Okunowo *et al.*, 2017; Thomas *et al.*, 2004).

The taxonomic history of *R. phoenicis* experienced many twists and turns, as the genus *Rhynchophorus* (to which APW belongs, along with at least 6 other accepted species, notably *R. cruentatus* (Fabricius, J.C., 1775), *R. crustatus* Illiger, J.C.W., 1801, *R. ferrugineus* (Olivier, A.G., 1791), *R. palmarum* (Linnaeus, C., 1758), *R. vulneratus* (Panzer, G.W.F., 1798) and *R. quadrangulus* Quedenfeldt, G., 1888)<sup>12</sup> is challenging, in part due to remarkable color variation, phenotypic plasticity and high polymorphism between species (Rugman-Jones *et al.*, 2013; Sazali *et al.*, 2018; Wattanapongsiri, 1966).

A comprehensive revision of the genus has been given by Wattanapongsiri (1966), who by the way, both clarified the features that could be used to differentiate *R. phoenicis* from congeneric species, and stated that only two species (*viz.* *R. phoenicis* and *R. quadrangulus*) co-occurred in Africa. However, based on recent reports (Monzenga, 2022), it is likely that *R. ferrugineus* (the red palm weevil - RPW) is actually expanding its range, in DRC notably, as the result of multiple accidental anthropogenic introductions. Regretfully, related concerns are still under-documented so far in this central African country, although RPW could be challenging to oil palm, sugar cane, cacao, pineapple, papaya and banana plantations countrywide based on worldwide reports depicting it as a fearsome invasive and devastator pest species (Mizzi *et al.*, 2009; Peri *et al.*, 2013; Rugman-Jones *et al.*, 2013; Wattanapongsiri, 1966).

---

<sup>12</sup> For more details on the on-going revision of the genus *Rhynchophorus*, the reader is referred to <https://www.catalogueoflife.org/data/search?facet=rank&facet=issue&facet=status&facet=nomStatus&facet=nameType&facet=field&facet=authorship&facet=extinct&facet=environment&limit=50&offset=0&q=Rhynchophorus&sortBy=taxonomic>

Less harmful to palms than RPW, APW is traditionally semi-farmed in DRC since long (Monzenga, 2015; Nsevolo *et al.*, 2022a). Moreover, the species is extensively reported as nutrient-rich food throughout Africa (Braide and Nwaoguikpe, 2010; Ekpo, 2010; Rumpold and Schlüter, 2013), and has been successfully assessed for food enrichment or fortification. For example, addition of APW larvae powder (at 10%, 15 and 20% protein inclusion levels) to fermented cereals (*i.e.* maize, sorghum) significantly increased the macro and micronutrients enriched complementary foods, supporting that food enrichment with APW larvae powder can alleviate the deficiency in essential nutrients (needed for child's growth and development notably) reported in many parts of developing countries (Adepoju and Ayenitaju, 2021; FAO, 2020a).

Furthermore, given its high economic value (Gnanda, 2018; Nsevolo *et al.*, 2016) and mass-rearing potential (Monzenga *et al.*, 2017), the fitness and the life cycle of *R. phoenicis* have been extensively investigated *ex-situ*, using different diets or under different conditions (Table 1) throughout SSA countries (Gnanda, 2018; Thomas *et al.*, 2004). As global levels of food insecurity are expected to increase further (Anankware *et al.*, 2021; Voiculesţ and Pănoiu, 2020, Von Grebmer *et al.*, 2019), mass-production of edible insects (increasingly supported as sustainable alternative to resource-intensive meat production) (Halloran *et al.*, 2018; Van Huis *et al.*, 2013; Vantomme *et al.*, 2014) should be designedly envisaged in developing countries (generally speaking) and in DRC especially, and this all the more so as the COVID-19 outbreak disrupted food systems worldwide (FAO, 2020b; Mukiibi, 2020; UNDP, 2020), and imposed new challenges related to nutrition and food security in this central African country where entomophagy (that is, insects consumption practice) is culturally rooted (Latham *et al.*, 2021; Malaise, 2010; Mbemba et Remacle, 1992; Nsevolo and Theeten, 2015).

Since APW is linked to potential social, economic and ecological proceeds in DRC (Mapunzu, 2004; Nsevolo *et al.*, 2016), there is a need to improve knowledge on such an edible species and to characterize its natural populations - for nationwide mass-production perspectives. Keeping these in view, the present study is proposed to bridge glaring lacuna on sexual differences of *R. phoenicis* adults from the wild, and at documenting the corpus of knowledge related to phenotypic variations (in terms of both pronotum patterns and morphometric parameters) between distinct populations of APW in DRC.

**Table 1.** Selected parameters from fitness and life cycle *ex-situ* assessment of *R. phoenicis*

Country	Facility/ Substrat	Temp. (°C)	Relative humidity (%)	Incuba tion (days)	Daily oviposition rate (eggs)	Ovipo sition period (days)	Egg- hatcha bility (%)	Total cycle time (days)
Nigeria <sup>(1)</sup>	Plastic containers with 30 - 40 g of fresh decaying palms	26 - 30	76 - 88	3 - 4	3 - 50	5 - 20	60.5	N/A
Ivory Coast <sup>(1)</sup>	Plastic boxes with pieces of palm trunks	27.7 ± 0.5	74.2 ± 2.2	3 - 5	15.1 ± 3.6	17 - 36	88.3	108 ± 4
DRC <sup>(3)</sup>	Plastic containers (238.79 cm <sup>3</sup> ) with pieces of sugarcane	25.3 - 33.8	50 - 85	N/A	6 ± 2.9	36 ± 3.3	50	50 - 74

Sources : <sup>(1)</sup>Thomas *et al.*, 2004; <sup>(2)</sup> Gnanda, 2018; <sup>(3)</sup> Monzenga, 2015

## 2. Material and methods

### 2.1. Insects

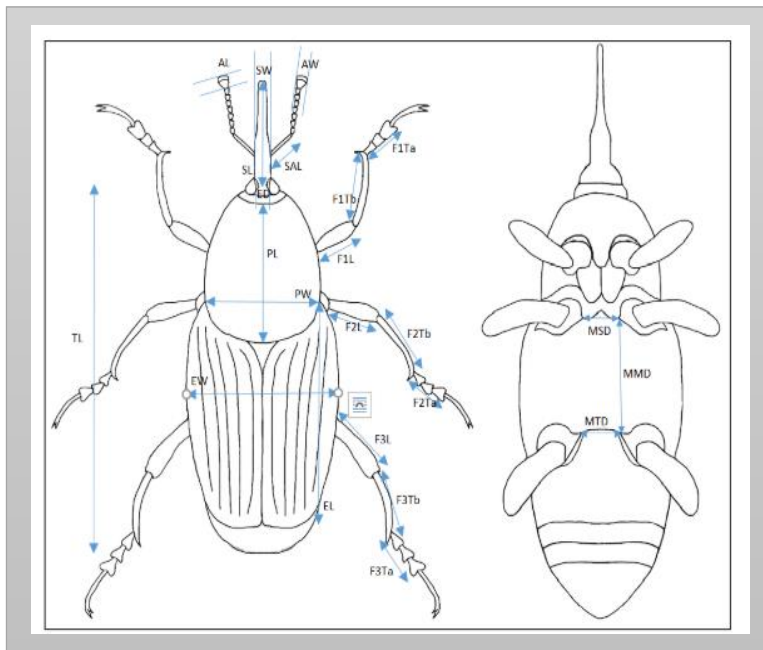
A total of 135 specimens of APW were collected from palms (*Elaeis guineensis* and *Raphia spp.*) throughout nine localities of 3 different provinces in DRC, namely Kinshasa (4° 19' 30" S, 15° 19' 19.999" E), Kongo-central (5° 14' 11.645" S, 13° 54' 51.836" E) and Kwilu (5° 7' 7.975" S, 18° 25' 39.378" E). The sampling was carried out from June 2020 to October 2021 with the help of local farmers, who also willingly served as field guides. Insects were counted, stored in ethanol (85%) and further divided according to sex (after binocular observation of the curvature/sculpturing of the rostrum, and the presence/absence of the rostral setae or the setae on the ventral side of the front femur) (Singh 2008; Wattanapongsiri, 1966). Furthermore, the pronotum patterns of all the collected insects were observed and inventoried based on drawings from Tambe *et al.* (2013), and their morphometric measurements were recorded to two decimal points (with a digital caliper, calibrated to 0.01 mm). For each specimen, 25 distinct parameters (Figure 1) were linearly measured as described by Sazali *et al.* (2018).

### 2.2. Statistical analysis

Based on the different typologies of dorsal pronotum patterns drawn by Tambe *et al.* (2013), the frequencies of identified patterns (between APW males *versus* females from the three aforementioned provinces) were subjected to Chi-square analysis ( $\chi^2$ ) (Zar, 1999). Prior to parametric methods for data analysis, normalcy was checked (using Anderson-Darling test - after logarithmic transformations of data, if needed), and outliers were identified (using Grubbs's test) for removal in order to minimize bias (Osborne and Overbay, 2004; Zijlstra *et al.*, 2011). Following this, the 25 selected morphometric parameters (expressed as mean ± standard deviation), linearly measured on APW males and females, were subjected to *t*-test ( $p = 0.05$ ) and to regression analysis to define any correlations between body length and the other morphometric parameters.



Moreover, one-way ANOVA (followed by Tukey tests for comparison of means, with a statistical significance determined by  $p$  values  $< 0.05$ ) was conducted on data from morphometric measurements of APW specimens from the three provinces (Figure 1). All these analyses were performed with Minitab statistical software (version 19.1.1). Furthermore, Principal Components Analysis (PCA) were successively performed for exploration of sex related morphometric characters, and for removal of redundant (or dependent) features - to achieve a space with lower dimensions prior to Linear Discriminant Analysis (LDA) for discriminating potential groups based on insects' geographical origin (Tharwat *et al.*, 2017). These analyses were performed with XLSTAT statistical software (Addinsoft, New York, USA) (Vidal *et al.*, 2020) and statistical packages (Biplot, FactoMiner, FactoShiny, ggord and MASS) from the R statistical software (version 3.6.1).

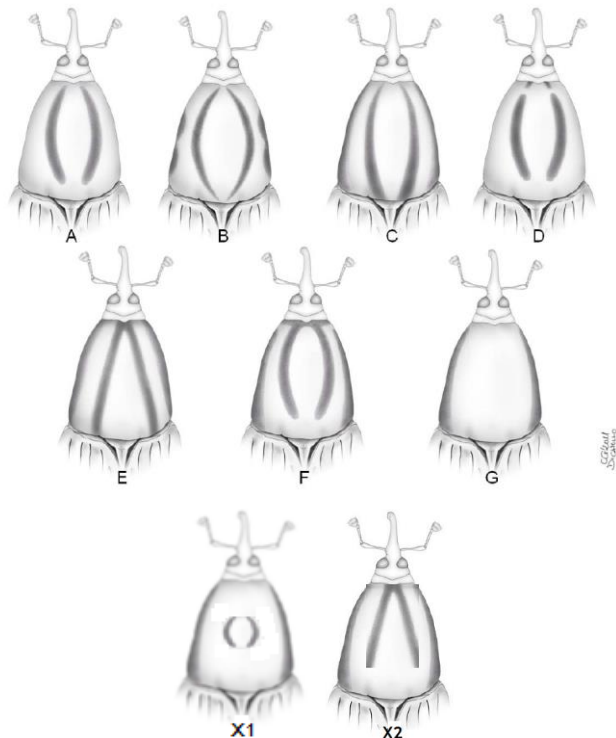


**Figure 1.** Characteristics used for morphometric measurements of APW. These variables are as follows: snout length (SL), snout width (SW), scape of antenna length (SAL), antenna (club) length (AL), antenna (club) width (AW), distance between eyes (ED), pronotum length (PL), pronotum width (PW), elytra length (EL), elytra width (EW), total length (without snout) (TL), profemur length (F1L), protibial length (F1Tb), protarsus length (F1Ta), mesofemur length (F2L), mesotibia length (F2Tb), mesotarsus length (F2Ta), metafemur length (F3L), metatibia length (F3Tb), metatarsus length (F3Ta), mesocoxal distance (MSD), metacoxal distance (MTD), meso-metacoxal distance (MMD), pro-mesocoxal distance (PMD) and pro-meso-metacoxal distance (PMM) [image from Sazali *et al.* (2018)].

### 3. Results

#### 3.1. Pronotum patterns

Observation of markings on the pronotum of APW from the three provinces indicated nine distinct dorsal patterns (Figure 2). Out of these nine patterns, seven corresponded to the drawings (A – G) from Tambe *et al.* (2013), and the two remaining (X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>) were new. The type F specimens (31.1%) showing red bands that form a continuum with the anterior pronotum have predominated, followed by the type D specimens (19.8%) showing a discontinuity in the markings, and then the type A (18.9%) with markings or bands on the pronotum arranged in a semi-lunar form, facing one another. It is noteworthy that the Type F predominated for males APW (24.5%), whereas the types D and C (with markings running the entire length of the pronotum) predominated for females (7.5% each). Moreover, although no statistical differences ( $\chi^2 = 3.855$ ,  $p > 0.05$ ) were found between APW males and females for the frequencies of pronotum pattern types (A, C, D, F), four other patterns (*viz.* B, E, X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>) were exclusive to females.



**Figure 2.** Different pronotum patterns of *R. phoenicis* from DRC. Letters A – G are patterns (and drawings) reported by Tambe *et al.* (2013) while X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub> are unreported hitherto. Pattern frequencies are alphabetically as follows: A (18.9%), B (5.7%), C (17.0%), D (19.8%), E (2.8%), F (31.1%), G (2.8%), X<sub>1</sub> (0.9%) and X<sub>2</sub> (0.9%).

### 3.2. Sexual dimorphism

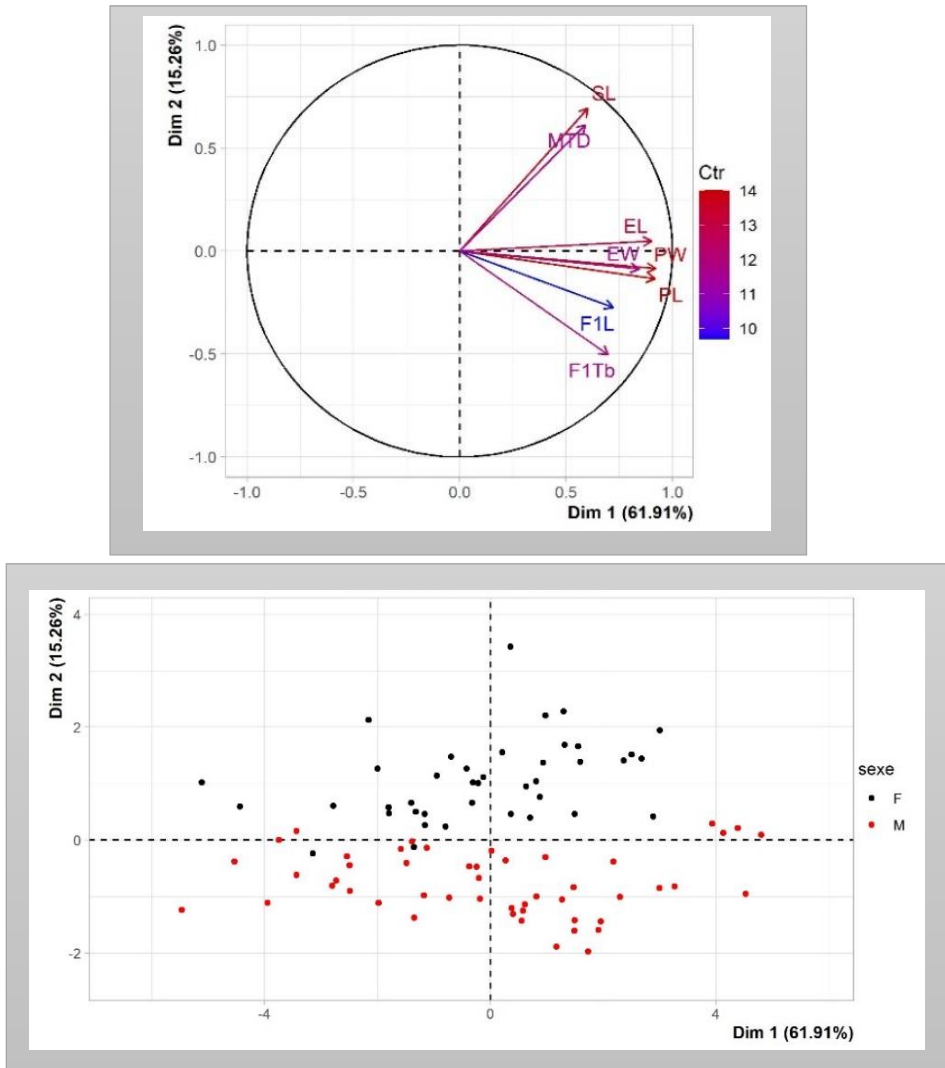
Descriptive data from the measurement of the 25 morphological characters from the bodies of APW males vs females is summarized in Table 2. As can be noted, using independent *t*-test, four characters (SL, F1L, F1Tb and MTD) showed significant difference (at  $p < 0.05$ ), which suggested them as potential useful characters for differentiating the two sexes.

**Table 2.** Summary of morphometric measurements of 25 characters on APW

Char.	Males				Females				<i>p</i> value (M vs F)
	Mean (mm)	SD (mm)	Min (mm)	Max (mm)	Mean (mm)	SD (mm)	Min (mm)	Max (mm)	
SL	8.89	1.49	4.06	12.12	10.20	1.40	6.20	13.07	< 0.001*
SW	1.70	0.26	0.90	1.98	1.62	0.30	0.82	2.02	0.110
SAL	3.65	0.66	1.58	5.13	3.75	0.65	2.20	6.23	0.367
AL	1.35	0.38	0.65	2.60	1.26	0.29	0.62	1.99	0.130
AW	1.68	0.52	0.53	2.69	1.70	0.31	0.94	2.70	0.785
ED	0.75	0.22	0.39	1.51	0.74	0.29	0.16	1.56	0.858
PL	11.22	1.76	5.11	15.79	11.19	1.06	8.46	14.40	0.921
PW	10.24	1.46	4.61	13.33	10.24	0.96	7.62	12.72	0.994
EL	17.29	2.23	8.66	20.85	17.62	1.60	13.97	21.12	0.314
EW	12.82	1.74	6.34	15.61	12.90	1.14	10.11	15.52	0.758
TL	31.12	4.41	14.62	38.95	30.84	3.07	23.86	37.24	0.665
F1L	6.71	1.13	3.46	8.74	6.30	0.66	4.70	7.61	0.011*
F1Tb	6.84	1.06	3.65	8.78	6.13	0.93	4.19	8.34	< 0.001*
F1Ta	3.16	0.75	1.39	4.88	2.91	0.83	1.57	6.80	0.070
F2L	6.73	1.16	2.67	9.54	6.56	0.64	4.96	7.67	0.293
F2Tb	5.19	0.85	2.71	7.00	4.95	0.69	3.37	6.67	0.073
F2Ta	2.99	0.86	1.22	6.59	2.86	0.58	1.91	4.10	0.296
F3L	7.31	1.43	1.92	10.07	7.28	1.02	2.25	8.70	0.908
F3Tb	6.30	0.99	3.27	8.60	6.13	0.83	4.36	8.89	0.269
F3Ta	2.86	0.79	1.16	5.25	2.94	0.82	1.86	6.66	0.556
MSD	2.46	0.47	1.04	3.53	2.47	0.43	1.24	3.52	0.963
MTD	3.32	0.66	1.67	5.22	3.66	0.63	2.42	6.27	0.003*
PMD	1.35	1.35	0.40	11.29	1.30	1.64	0.50	11.44	0.892
MMD	7.75	1.13	3.75	10.18	7.91	0.80	5.70	9.77	0.342
PMM	12.08	1.78	6.63	15.74	12.06	1.19	9.68	14.52	0.952

\* Significant difference between APW Males vs Females. Note: Characters are as follows: snout length (SL), snout width (SW), scape of antenna length (SAL), antenna length (AL), antenna width (AW), distance between eyes (ED), pronotum length (PL), pronotum width (PW), elytra length (EL), elytra width (EW), total length (without snout) (TL), profemur length (F1L), protibial length (F1Tb), protarsus length (F1Ta), mesofemur length (F2L), mesotibia length (F2Tb), mesotarsus length (F2Ta), metafemur length (F3L), metatibia length (F3Tb), metatarsus length (F3Ta), mesocoxal distance (MSD), metacoxal distance (MTD), pro-mesocoxal distance (PMD), meso-metacoxal distance (MMD) and pro-meso-metacoxal distance (PMM)

Afterwards, following regression analysis (Figure S3), eight characters (namely, SL, FIL, F1Tb, PL, PW, EL, EW, MTD) significantly correlated with body length (TL) in both males and females APW, were further subjected to PCA. As can be seen (Figure 4\_a), PCA explained 77.17% of the cumulative percentage of variance between APW males vs females with the first two principal components (Dim 1 & Dim 2).



**Figure 4.** (a) Principal component plot (PC1 vs PC2) of APW males and females and (b) PCA graph of variables for PC with eigenvalue > 1.0. For abbreviations, see Figure 1.

Only components with eigenvalue greater than 1.0 were considered for further data interpretation (Figure 4\_b) (Sazali *et al.*, 2021). In the first principal components (Dim 1), the three first morphometric characters that indicated the higher loadings were PW (0.922), PL (0.920) and EL (0.903), supported with eigenvalue of 4.95 and 61.91% variation. As for the second principal components (Dim 2), higher loadings were due to SL (0.693), MTD (0.614) and F1Tb (-0.503), with eigenvalue of 1.22 and 15.26% variation. Although some individuals overlapped, Figure 4 (a – b) gives insight into how these eight selected characters allowed sex-grouping of APW (males vs females).

### 3.3. Morphometric analysis of distinct populations

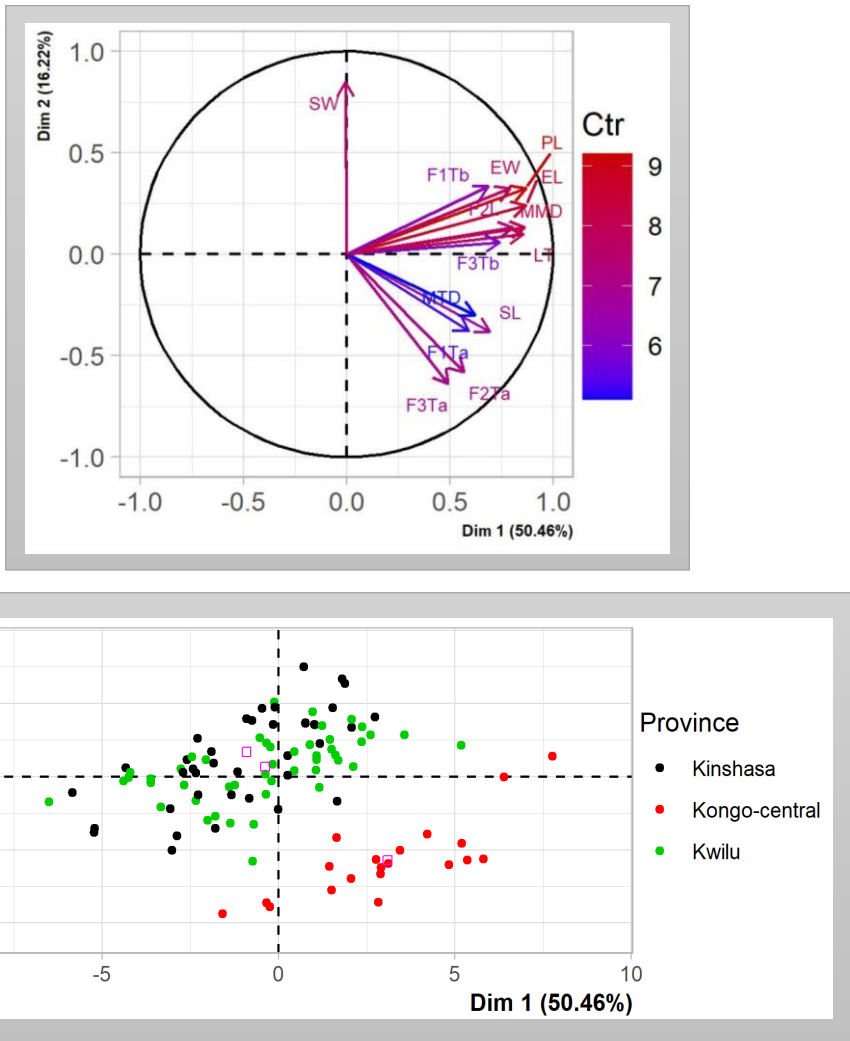
The 25 morphometric parameters of adult (males and females) APW specimens from the three provinces are summarized in Table 3. As can be seen, statistical calculations indicated significant difference between provinces for all the morphometric characters, except for the protibial length (F1Tb) ( $F = 0.847, p > 0.05$ ). Moreover, measurements of 15 morphometric characters (*viz.* snout length, antenna length, distance between eyes, pronotum length, pronotum width, elytra length, elytra width, protarsus length, mesotibia length, mesotarsus length, metatibia length, metatarsus length, metacoxal distance, meso-metacoxal distance and total length) were significantly greater in APW specimens from the Kongo-central as compared to the two other provinces. Conversely, APW specimens from Kinshasa clearly indicated the lowest values for eight characters (namely, scape of antenna length, antenna length, antenna width, distance between eyes, profemur length, metatibia length, metatarsus length and pro-mesocoxal distance) (Table 3).

Furthermore, the dataset was subjected to PCA for selection of the noncollinear characters (from the original dataset) with highest separation power, prior to LDA for extracting discriminative functions between potential groups (Tharwat *et al.*, 2017). As can be seen (Figure 5a), the two first principal components (Dim 1 & Dim 2) of PCA explained 66.7% of the variance between APW specimens with a subset of 14 selected characters (Figure 5b), and clearly suggested two separated groups based on insects' geographical origin [Kongo-central vs (Kinshasa x Kwilu)]. Given that, for the practical application, a linear discriminant function must be found with as few characters as possible (Buholzer, 1978), LDA model selection procedure was implemented forward (*i.e.* by adding variables progressively) from different subsets of 5, 10, 15 (*i.e.* including the 14 characters selected through PCA) and 20 characters, up to the complete dataset (*i.e.* 25 morphological characters). This selection procedure gave insights into the robustness of each model (Table 4) and allowed to select the best trade-off (that is, Model\_4), based on % of eigenvalues and accuracy gain (Figure 6), as well as considerations for practical application.

**Table 3.** Summary of morphometric measurements (mean  $\pm$  SD, in mm) on APW from the 3 provinces

Char.	Prov.	Kinshasa			Kongo-central			Kwilu			p value
		Males	Females	Mean	Males	Females	Mean	Males	Females	Mean	
SL <sup>♂,♀</sup>		8.69 $\pm$ 0.74	9.76 $\pm$ 1.23	9.18 $\pm$ 1.12b	10.92 $\pm$ 1.33	11.83 $\pm$ 0.82	11.40 $\pm$ 1.17a	8.73 $\pm$ 0.80	9.74 $\pm$ 1.22	9.13 $\pm$ 1.1b	< 0.001
SW <sup>♂,♀</sup>		1.80 $\pm$ 0.13	1.75 $\pm$ 0.15	1.78 $\pm$ 0.14a	1.44 $\pm$ 0.33	1.19 $\pm$ 0.36	1.31 $\pm$ 0.6b	1.76 $\pm$ 0.13	1.71 $\pm$ 0.11	1.74 $\pm$ 0.12a	< 0.001
SAL <sup>♂</sup>		3.33 $\pm$ 0.30	3.53 $\pm$ 0.66	3.42 $\pm$ 0.50b	4.29 $\pm$ 0.41	3.91 $\pm$ 0.24	4.09 $\pm$ 0.37a	3.92 $\pm$ 0.80	3.79 $\pm$ 0.56	3.84 $\pm$ 0.66a	< 0.001
AL <sup>♂,♀</sup>		1.21 $\pm$ 0.26	1.12 $\pm$ 0.20	1.17 $\pm$ 0.24c	1.58 $\pm$ 0.28	1.49 $\pm$ 0.28	1.53 $\pm$ 0.28a	1.33 $\pm$ 0.26	1.30 $\pm$ 0.29	1.32 $\pm$ 0.27b	< 0.001
AW <sup>♂,♀</sup>		1.31 $\pm$ 0.44	1.56 $\pm$ 0.28	1.43 $\pm$ 0.39b	1.85 $\pm$ 0.46	1.84 $\pm$ 0.22	1.84 $\pm$ 0.35a	2.02 $\pm$ 0.30	1.77 $\pm$ 0.36	1.92 $\pm$ 0.35a	< 0.001
ED <sup>♂,♀</sup>		0.68 $\pm$ 0.15	0.60 $\pm$ 0.22	0.64 $\pm$ 0.18c	0.93 $\pm$ 0.21	1.00 $\pm$ 0.30	0.97 $\pm$ 0.26a	0.77 $\pm$ 0.17	0.73 $\pm$ 0.20	0.75 $\pm$ 0.18b	< 0.001
PL <sup>♂</sup>		11.34 $\pm$ 1.16	11.01 $\pm$ 1.00	11.16 $\pm$ 1.09b	12.42 $\pm$ 1.52	11.58 $\pm$ 0.97	11.98 $\pm$ 1.30a	11.33 $\pm$ 1.25	11.13 $\pm$ 1.22	11.25 $\pm$ 1.23b	0.017
PW <sup>♂,♀</sup>		10.25 $\pm$ 1.11	10.04 $\pm$ 0.99	10.12 $\pm$ 1.07b	11.37 $\pm$ 1.19	10.86 $\pm$ 0.73	11.10 $\pm$ 0.99a	10.25 $\pm$ 0.99	10.03 $\pm$ 0.80	10.16 $\pm$ 0.92b	< 0.001
EL <sup>♂</sup>		17.40 $\pm$ 1.51	17.41 $\pm$ 1.61	17.35 $\pm$ 1.57b	18.97 $\pm$ 1.45	18.43 $\pm$ 1.42	18.69 $\pm$ 1.43a	17.29 $\pm$ 1.62	17.39 $\pm$ 1.61	17.33 $\pm$ 1.60b	0.002
EW <sup>♂</sup>		13.10 $\pm$ 1.33	12.71 $\pm$ 1.22	12.88 $\pm$ 1.30b	13.98 $\pm$ 1.12	13.45 $\pm$ 0.92	13.71 $\pm$ 1.03a	12.74 $\pm$ 1.12	12.76 $\pm$ 1.00	12.75 $\pm$ 1.06b	0.005
TL <sup>♂,♀</sup>		30.05 $\pm$ 3.42	29.59 $\pm$ 2.82	29.72 $\pm$ 3.21b	35.17 $\pm$ 2.54	33.78 $\pm$ 1.95	34.44 $\pm$ 2.31a	31.40 $\pm$ 3.70	30.26 $\pm$ 2.85	30.95 $\pm$ 3.41b	< 0.001
F1L <sup>♂</sup>		6.37 $\pm$ 0.76	6.05 $\pm$ 0.58	6.21 $\pm$ 0.70b	7.53 $\pm$ 0.93	6.55 $\pm$ 0.58	7.02 $\pm$ 0.90a	6.21 $\pm$ 0.93	6.40 $\pm$ 0.69	6.77 $\pm$ 0.89a	< 0.001
F1Tb		6.88 $\pm$ 0.95	5.96 $\pm$ 1.02	6.42 $\pm$ 1.10	7.42 $\pm$ 0.67	6.38 $\pm$ 1.02	6.88 $\pm$ 1.00	6.95 $\pm$ 0.86	6.17 $\pm$ 0.83	6.64 $\pm$ 0.92	0.122 <sup>P</sup>
F1Ta <sup>♂,♀</sup>		2.99 $\pm$ 0.47	2.61 $\pm$ 0.47	2.81 $\pm$ 0.50b	3.93 $\pm$ 0.47	3.58 $\pm$ 0.62	3.75 $\pm$ 0.57a	3.09 $\pm$ 0.66	2.69 $\pm$ 0.54	2.93 $\pm$ 0.64b	< 0.001
F2L <sup>♂</sup>		6.68 $\pm$ 0.57	6.43 $\pm$ 0.68	6.54 $\pm$ 0.64b	7.58 $\pm$ 0.43	6.67 $\pm$ 0.64	7.11 $\pm$ 0.71a	6.90 $\pm$ 0.77	6.75 $\pm$ 0.51	6.84 $\pm$ 0.68 ab	0.002
F2Tb <sup>♂</sup>		5.08 $\pm$ 0.52	4.71 $\pm$ 0.67	4.90 $\pm$ 0.62b	5.94 $\pm$ 0.58	5.19 $\pm$ 0.73	5.55 $\pm$ 0.75a	5.19 $\pm$ 0.60	5.10 $\pm$ 0.67	5.16 $\pm$ 0.62b	< 0.001
F2Ta <sup>♂,♀</sup>		2.74 $\pm$ 0.40	2.53 $\pm$ 0.42	2.65 $\pm$ 0.42b	3.77 $\pm$ 0.68	3.55 $\pm$ 0.40	3.66 $\pm$ 0.55a	2.92 $\pm$ 0.61	2.80 $\pm$ 0.50	2.87 $\pm$ 0.57b	< 0.001
F3L <sup>♂</sup>		7.34 $\pm$ 0.68	7.15 $\pm$ 0.87	7.23 $\pm$ 0.77b	8.20 $\pm$ 0.79	7.58 $\pm$ 0.54	7.83 $\pm$ 0.73a	7.66 $\pm$ 0.88	7.46 $\pm$ 0.68	7.58 $\pm$ 0.80ab	0.004
F3Tb <sup>♂,♀</sup>		6.06 $\pm$ 0.41	5.87 $\pm$ 0.80	5.96 $\pm$ 0.62c	7.02 $\pm$ 0.82	6.53 $\pm$ 0.75	6.76 $\pm$ 0.81a	6.53 $\pm$ 0.80	6.01 $\pm$ 0.57	6.33 $\pm$ 0.76b	< 0.001
F3Ta <sup>♂,♀</sup>		2.58 $\pm$ 0.47	2.53 $\pm$ 0.48	2.56 $\pm$ 0.46c	3.80 $\pm$ 0.62	3.34 $\pm$ 0.38	3.56 $\pm$ 0.55a	2.81 $\pm$ 0.58	2.86 $\pm$ 0.50	2.83 $\pm$ 0.55b	< 0.001
MSD <sup>♂</sup>		2.34 $\pm$ 0.24	2.40 $\pm$ 0.43	2.36 $\pm$ 0.33b	2.86 $\pm$ 0.46	2.47 $\pm$ 0.51	2.66 $\pm$ 0.52a	2.49 $\pm$ 0.34	2.48 $\pm$ 0.38	2.49 $\pm$ 0.35ab	0.011
MTD <sup>♂,♀</sup>		3.24 $\pm$ 0.44	3.39 $\pm$ 0.51	3.29 $\pm$ 0.48b	3.99 $\pm$ 0.73	4.07 $\pm$ 0.37	4.03 $\pm$ 0.56a	3.29 $\pm$ 0.50	3.69 $\pm$ 0.73	3.44 $\pm$ 0.63b	< 0.001
PMD <sup>♂</sup>		0.98 $\pm$ 0.13	0.94 $\pm$ 0.16	0.96 $\pm$ 0.14b	1.25 $\pm$ 0.21	1.12 $\pm$ 0.31	1.18 $\pm$ 0.27a	1.27 $\pm$ 0.26	1.09 $\pm$ 0.26	1.19 $\pm$ 0.27a	< 0.001
MMD <sup>♂,♀</sup>		7.89 $\pm$ 0.77	7.87 $\pm$ 0.84	7.86 $\pm$ 0.80b	8.68 $\pm$ 0.98	8.42 $\pm$ 0.62	8.54 $\pm$ 0.81a	7.73 $\pm$ 0.69	7.67 $\pm$ 0.73	7.71 $\pm$ 0.70b	< 0.001
PMM		12.04 $\pm$ 1.24	11.60 $\pm$ 1.15	11.83 $\pm$ 1.20b	13.16 $\pm$ 1.47	12.30 $\pm$ 1.26	12.71 $\pm$ 1.40a	12.32 $\pm$ 1.29	12.23 $\pm$ 1.02	12.29 $\pm$ 1.18ab	0.014

<sup>P</sup> on p value indicates no significant difference between Provinces. <sup>♂,♀</sup> on characters indicates significant difference for males vs males (<sup>♂</sup>) or for females vs females (<sup>♀</sup>) across provinces: (SL) males  $F = 28.48$ ,  $p < 0.001$ ; females  $F = 15.34$ ,  $p < 0.001$ , (SW) males  $F = 18.05$ ,  $p < 0.001$ ; females  $F = 31.92$ ,  $p < 0.001$ , (SAL) males  $F = 18.84$ ,  $p < 0.001$ , (AL) males  $F = 7.51$ ,  $p = 0.001$ ; females  $F = 8.04$ ,  $p = 0.001$ , (AW) males  $F = 23.62$ ,  $p < 0.001$ ; females  $F = 4.32$ ,  $p = 0.019$ , (ED) males  $F = 8.78$ ,  $p < 0.001$ ; females  $F = 11.71$ ,  $p < 0.001$ , (PL) males  $F = 3.42$ ,  $p = 0.039$ , (PW) males  $F = 5.03$ ,  $p = 0.009$ ; females  $F = 4.17$ ,  $p = 0.021$ , (EL) males  $F = 5.12$ ,  $p = 0.009$ , (EW) males  $F = 4.20$ ,  $p = 0.019$ , (LT) males  $F = 8.62$ ,  $p < 0.001$ ; females  $F = 10.15$ ,  $p < 0.001$ , (F1L) males  $F = 7.88$ ,  $p = 0.001$ , (F1Ta) males  $F = 11.76$ ,  $p < 0.001$ ; females  $F = 14.58$ ,  $p < 0.001$ , (F2L) males  $F = 7.41$ ,  $p = 0$ , (F2Tb) males  $F = 9.30$ ,  $p < 0.001$ , (F2Ta) males  $F = 13.81$ ,  $p < 0.001$ ; females  $F = 20.53$ ,  $p < 0.001$ , (F3L) males  $F = 4.69$ ,  $p = 0.013$ , (F3Tb) males  $F = 8.23$ ,  $p = 0.001$ ; females  $F = 3.43$ ,  $p = 0.040$ , (F3Ta) males  $F = 19.65$ ,  $p < 0.001$ ; females  $F = 11.61$ ,  $p < 0.001$ , (MSD) males  $F = 9.47$ ,  $p < 0.001$ , (MTD) males  $F = 8.94$ ,  $p < 0.001$ ; females  $F = 5.32$ ,  $p = 0.008$ , (PMD) males  $F = 9.07$ ,  $p < 0.001$ ; (MMD) males  $F = 6.08$ ,  $p = 0.004$ ; females  $F = 3.72$ ,  $p = 0.031$ . For abbreviations, see Figure 1.



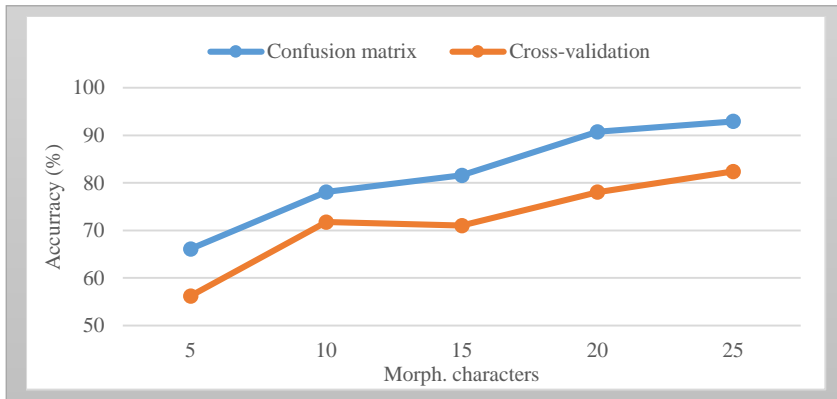
**Figure 5.** (a) Principal component plot (PC1 vs PC2) of APW groups, (b) PCA graph of the 14 selected variables. For abbreviations, see Figure 1.

As can be remarked in [Table 4](#), Model\_4 (Wilk's Lambda = 0.0942,  $p < 0.0001$ ) revealed two significant functions accounting for 100% of the variation (F1: 82.2% + F2: 17.8%) that explained a canonical correlation of 0.903 and 0.699, respectively. Moreover, the standardized canonical discriminant function coefficients ([Table 5](#)) indicates the highest character loadings for both functions, *viz.* (in decreasing order), pronotum width (PW), total length (TL), snout width (SW), antenna width (AW), protarsus length (F1Ta), distance between eyes (ED), snout length (SL), mesotarsus length (F2Ta), profemur length (FIL) and elytra width (EW).

**Table 4.** Selected results from LDA models with subsets of data and the complete dataset

	Nb char	Wilk's Lambda	Eigenvalues <sup>(1)</sup>		Canon. Corr.		Fisher's distances <sup>(2)</sup>		
			F1	F2	F1	F2	(Ko x Ki)	(Ko x Kw)	(Ki x Kw)
Model_1	5	0.292	2.350**	0.023	0.838	0.150	40.534**	37.917**	0.555
Model_2	10	0.208	3.263**	0.127	0.875	0.335	28.408**	23.953**	1.544
Model_3	15	0.175	3.562**	0.253*	0.884	0.449	22.283**	17.204**	2.202*
Model_4 #	20	0.094	4.426**	0.957**	0.903	0.699	17.761**	16.366**	4.632**
Model_5	25	0.081	4.706**	1.165**	0.908	0.734	14.701**	13.042**	4.313**

# Indicates the model chosen in this study. <sup>(1)</sup> For eigenvalues, \* ( $p < 0.05$ ) and \*\* ( $p < 0.001$ ) indicate significant factors based on Bartlett's test. <sup>(2)</sup> Fisher's distances are calculated from the Mahalanobis distance, \* ( $p < 0.05$ ) and \*\* ( $p < 0.0001$ ) indicate which distances were significant based on the matrix of  $p$ -values. Provinces are as follows: Ki = Kinshasa, Ko = Kongo-central and Kw = Kwilu.

**Figure 6.** Accuracy (%) of LDA tests implemented with different subsets of data**Table 5.** Standardized LDA functions coefficients for the 20 characters (Model\_4)

	Function 1	Function 2
SL	0,193	-0,460*
SW	-0,848*	0,097
SAL	-0,030	0,316
AL	0,367	0,270
AW	-0,072	0,814*
ED	-0,218	0,523*
PL	-0,184	-0,209
PW	0,576*	-0,919*
EL	-0,350	0,067
EW	0,410*	-0,134

\* Diagnostic characters with high coefficients



Table 5 (continued)

	Function 1	Function 2
TL	0,395*	0,873*
F1L	-0,412*	0,426*
F1Tb	-0,297	-0,031
F1Ta	0,321	-0,782*
F2L	-0,167	0,069
F2Tb	-0,017	-0,047
F2Ta	0,436*	-0,239
F3L	0,030	0,061
F3Tb	0,233	0,124
F3Ta	0,183	0,287

\* Diagnostic characters with high coefficients

In the meantime, the coordinates of the observations in discriminant factor space for one group (namely, Kongo-central) were relatively well separated from the two others (Kinshasa x Kwilu), as illustrated in Figure 7. Besides, Table 6 reporting correlations between the initial variables and the two factors (F1 & F2), shows the strong relationship observed for some characters (*e.g.* SL, SW, LT, F1Ta, F2Ta, F3Ta) with F1 accounting for 82.2% of the total variation between the two groups. This finding suggesting positive association of specimens from Group A with positive values of the aforementioned characters, corroborated results from ANOVA (Table 3).

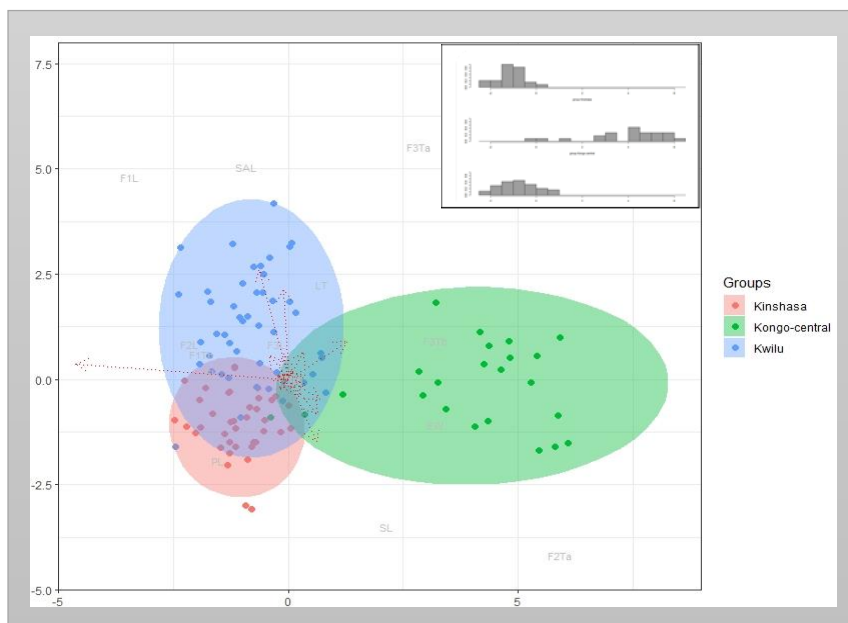


Figure 7. Bi-plot (& histograms) of scores on the axes (x = F1: 82.2%, y = F2: 17.8%).

**Table 6.** Correlations of the 20 characters (of Model\_4) with the factor axes

	F1	F2		F1	F2
SL	0,759	-0,063	LT	0,603	0,139
SW	-0,754	-0,021	F1L	0,319	0,336
SAL	0,425	0,381	F1Tb	0,168	0,108
AL	0,507	0,272	F1Ta	0,651	0,067
AW	0,238	0,673	F2L	0,315	0,203
ED	0,573	0,242	F2Tb	0,391	0,166
PL	0,325	-0,002	F2Ta	0,721	0,133
PW	0,462	-0,028	F3L	0,308	0,221
EL	0,423	-0,055	F3Tb	0,414	0,230
EW	0,380	-0,118	F3Ta	0,691	0,181

Furthermore, although some observations overlapped, the predictive group membership procedure indicated a score of 90.73% original observations correctly classified, whereas the cross-validation test indicated 78.04% of observations appropriately classified into each respective group. Hence, these findings strongly suggest that APW specimens from Kongo-central province form a different group from those collected in the two other provinces (Kinshasa x Kwilu) of the country.

#### 4. Discussion

When [Wattanapongsiri \(1966\)](#) provided the current framework for classification (and detailed description of eggs, larval, pupal and adult life stages) of *R. phoenicis*, along with its congeneric species, he also reported the morphological variations between male and female individuals based on examination of genitalic structures and external morphological details of both sexes, including measurements of the length and width of adult's body, pronotum, elytron, rostrum and antenna. Considering some of these measurements taken (in mm) on 11 males and 12 females adult specimens from Guinea, the average body length (TL) (36.60), elytron length (EL) (15.40), elytron width (EW) (7.00), pronotum length (PL) (12.40), pronotum width (PW) (11.20), scape length (SAL) (4.94), club length (AL) (1.44) and club width (AW) (2.16) of males APW were comparable to those from females, *i.e.* TL (35.60), EL (18.10), EW (6.60), PL (12.10), PW (10.88), SAL (4.93), AL (1.41) and AW (2.18). Results of the present study globally aligned with and complement [Wattanapongsiri \(1966\)](#) by indicating no significant difference for 13 additional morphometric characters in adults of both sexes, notably for the scape of antenna ( $5.65\times$  as long as distance between eyes), protibia ( $2.29\times$  as long as protarsus), mesofemur ( $1.33\times$  as long as mesotibia - which is  $1.82\times$  longer than mesotarsus) and for metafemur ( $1.20\times$  as long as metatibia - which is  $2.29\times$  longer than metatarsus).

However, when [Wattanapongsiri \(1966\)](#) reported that APW males and females are very uniform in body size, he pointed out that, although the length of the rostrum (SL) could enable determination of the sexes in genus *Rhynchophorus* (generally speaking), significant difference was only found for congeneric species of *R. phoenicis* (namely, *R. ferrugineus* and *R. vulneratus*). The findings of the present study complemented the aforesaid author by indicating significant difference in adults of both sexes for SL as well as for three additional characters (*viz.* profemur length, protibial length, and metacoxal distance) ([Table 2](#)) – which also; along with elytra length, elytra width, pronotum length and pronotum width, satisfactorily allowed sex-grouping of APW specimens through PCA ([Figure 4](#)).

Regarding the rostrum and the abdomen of APW particularly, current results corroborate [Tambe et al. \(2013\)](#) who mentioned that the larger length/width for these body parts in female individuals is associated with reproductive features. Indeed, since the rostrum is used by females in the excavation process and for preparation of oviposition sites ([Wattanapongsiri, 1966](#)), rostrum dimorphism is attributed to selection pressure upon females' snout for increased length. Likewise, abdomen dimorphism is likely the result of selection pressures on increased female fecundity ([Tambe et al., 2013](#)). In contrast, results evidence that profemur and protibial length are higher in the APW males as compared to females ([Table 2](#)). Regretfully, these differences are not fully clear for the moment; even if such expression of sexual dimorphism could also be associated to selection pressure for increased mating/reproductive success. This hypothesis is notably based on copulation behavior of these weevils, as the male takes up his position on the back of the female and tightly enfolds her with its legs - copulation continues in any position and frequently the weevils may be seen lying on their sides ([Wattanapongsiri, 1966](#)).

As a reminder, specimens used by the latter author to lay on the current framework for *R. phoenicis* identification, were from western Africa (that is, Guinea). Hence, the present study complemented the corpus of knowledge on APW with information on the range of dorsal pronotum patterns and phenotypic plasticity within selected populations from central Africa (DRC). Indeed, apart from the seven dorsal patterns reported by [Tambe et al. \(2013\)](#), two unreported patterns hitherto have been identified ([Figure 2](#)). Furthermore, results indicated that the distribution of the four main markings (*viz.* types A, C, D, F) on pronotum of APW specimens from DRC is not sex related ( $\chi^2 = 3.855$ ,  $p > 0.05$ ). Since similar finding, previously reported by [Wattanapongsiri \(1966\)](#), was also observed in Cameroon ([Tambe et al., 2013](#)), occurrence of rarer dorsal patterns (*i.e.*, types B, E, X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>) singularly on APW females in the present study is more than probably due to the small sample size.

Keeping in view that three distinct populations of *R. phoenicis* have been measured with 25 morphometric characters, special interest has been attached to the linear functions of these measurements by which these populations are best discriminated ([Fisher, 1936](#)). Hence, through LDA (preceded by ANOVA and PCA with normalized data), the study complemented the lack of research on Congolese weevils from different agroecological zones, giving preliminary insight into discriminant morpho-

- metric characters between APW populations from DRC. Indeed, results showed that APW specimens from Kongo-central have higher distance between eyes, longer rostrum, higher pronotum length (and width), higher elytra length (and width), longer protarsus, mesotarsus and body than those from Kinshasa and Kwilu (Table 3). Owing to their morphological variations and based on LDA results (Table 4), all collected specimens from the wild were satisfactorily segregated into two different groups (Figure 7), named in the alphabetical order as Group A (Kongo-central) and Group B (Kinshasa x Kwilu).

In addition, results indicated that Model\_4 achieved a good discrimination with ten diagnostic characters showing low probability of misidentification of morphotypes from the two groups (Table 5, Table 6). Importantly, some of these diagnostic characters have been found very useful as taxonomic features for distinguishing *Rhynchophorus* species. For instance, Wattanapongsiri (1966) notably reported that the interocular space (that is, ED) has been found very useful as a taxonomic character for distinguishing weevil species. Likewise, he also stated that “[...] the most important taxonomic characters, so far as the adult is concerned, are found on the rostrum” and that “[...] the relative length and width of the tarsal segments vary between species”. Accordingly, these considerations raised questions about whether these two groups might have been initially isolated and could possibly represent different subspecies. Hence, the present study paves the way for further investigation of phylogenetic relationships, based on molecular tools, for a clear and reliable insight into the Congolese weevils’ diversity.

Anyway, considering the report on APW morphotypes found in Cameroon (Mba *et al.*, 2018; Tambe *et al.*, 2013), the significant differences between the two morphotypes of the current study (for aforementioned morphometric characters), could be due to distinct environmental conditions. Indeed, as a matter of geographical concern, all APW specimens examined in the present study come from mainland populations of distinct agroecological zones. The sampling sites in the Kongo-central province were located in non-commercial palm plantations of two districts (namely, Madimba and Kasangulu), commonly considered as the “headquarters” of APW production on the national level. In fact, in these districts, *R. phoenicis* has long been traditionally ‘semi-farmed’ and harvested on either raffia or oil palms (*i.e.*, basically these trees are to be cut down), so much so that unregulated harvest of APW in these parts of the country threatens natural palm plantations (Nsevolo *et al.*, 2022a). In contrast, the chosen districts for Kinshasa and Kwilu provinces were believed to provide no beneficial impact during the juvenile development of APW (*i.e.* with respect to food availability or quality, larval density or other abiotic factors), as the sampling sites were not situated near any large plantation areas of Arecacea.

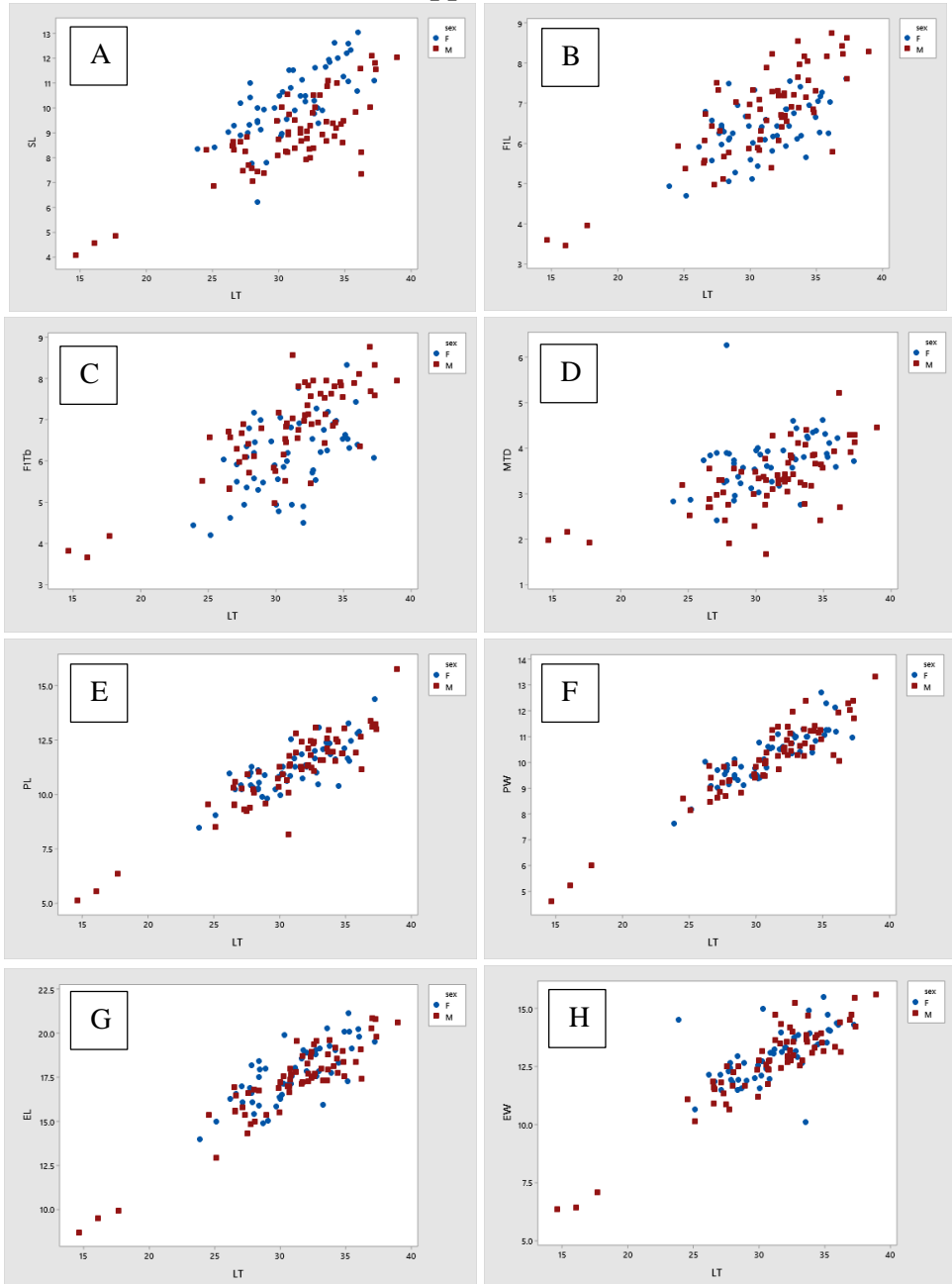
Notwithstanding, it should be recalled that the chosen LDA model (*viz.* Model\_4) was the best trade-off between the robustness of the constructed LDA space for discriminating different class (Table 4, Figure 6) and considerations of practical utilization by entomologists and/or inexperienced workers in determining appropriate group membership for APW specimens collected from the wild. However, clustering into two distinct groups based on insects' geographical origin was rather unexpected since there is no previous evidence in the literature on *R. phoenicis* from DRC (to the best of our knowledge). Such findings should significantly improve the requisite body of knowledge about this nutrient-rich food source – prior to targeted and reliable implementation of mass-rearing strategies countrywide.

## 5. Conclusion

To sum up, the present study supported sexual dimorphism of APW adults based on four morphological characters, *viz.* snout length (SL), profemur length (F1L), protibial length (F1Tb) and metacoxal distance (MTD) and complemented Wattanapongsiri (1966) by indicating no significant difference for 13 additional morphometric characters in adults of both sexes. The study also suggested selected characters on male and female individuals that could be used for discriminating the two sexes through multivariate analysis (PCA). Moreover, current results evidenced a various range of dorsal pronotum patterns (of nine distinct types), not sex related, although some of them (hitherto unreported) have been singularly observed on female individuals (which is probably due to the sample size).

Furthermore, keeping in view that three distinct populations of APW collected from the wild have been measured with 25 characters, the study searched for the linear combination of original variables that provide the best possible separation of APW populations from the wild. The chosen LDA model derived from reduced dataset (20 characters) showed a surprisingly high separation power (90.73% original observations correctly classified), suggesting two morphotypes (Group A *vs* Group B) based on insects' geographical origin. However, further phylogenetic investigations are necessary for reviewing and comparing the molecular genetics finding with current morphometrical results in order to provide a comprehensive understanding of APW diversity in DRC, as well as to validate discrimination of groups based on functions derived from the suggested multivariate analysis model. These findings should significantly improve the requisite body of knowledge about this valuable food source, prior to targeted and reliable implementation of nationwide mass-breeding scheme.

## Appendix A.



**Figure S3.** Size-related changes in 8 morphometric characters of APW males vs females (for abbreviations, see Figure 1). (A) males  $R^2 = 0.601$ ,  $p < 0.001$ ; females  $R^2 = 0.492$ ,  $p < 0.001$ ; (B) males  $R^2 = 0.620$ ,  $p < 0.001$ ; females  $R^2 = 0.268$ ,  $p < 0.001$ ; (C) males  $R^2 = 0.641$ ,  $p < 0.001$ ; females  $R^2 = 0.231$ ,  $p < 0.001$ ; (D) males  $R^2 = 0.294$ ,  $p < 0.001$ ; females  $R^2 = 0.179$ ,  $p = 0.001$ ; (E) males  $R^2 = 0.778$ ,  $p < 0.001$ ; females  $R^2 = 0.642$ ,  $p < 0.001$ ; (F) males  $R^2 = 0.847$ ,  $p < 0.001$ ; females  $R^2 = 0.761$ ,  $p < 0.001$ ; (G) males  $R^2 = 0.825$ ,  $p < 0.001$ ; females  $R^2 = 0.586$ ,  $p < 0.001$ ; (H) males  $R^2 = 0.830$ ,  $p < 0.001$ ; females  $R^2 = 0.360$ ,  $p < 0.001$ .

# V

---

## Production prospects and related challenges





## Introduction du chapitre

Le chapitre précédent a apporté un complément d'informations sur l'espèce modèle (en termes de caractérisation morphométrique et de variabilité phénotypique entre 3 populations naturelles) afin de soutenir le développement de son élevage en masse en RDC. Cependant, puisque la production de *R. phoenicis* reste encore globalement traditionnelle et empirique – reposant sur des savoirs écologiques peu documentés, un certain nombre de questions se sont posées quant aux dispositions (attitudes) des fermiers face à des techniques alternatives de production *ex situ*.

Dans le même ordre d'idées, une préoccupation similaire a émergé en rapport avec l'acceptabilité (par d'autres intervenants de la filière) des insectes produits en conditions d'élevage en masse. En effet, sur base de l'hypothèse de l'existence de freins culturels forts face à des offres alimentaires non familières, l'étude s'est notamment intéressée aux vendeurs (en tant qu'acteurs majeurs des chaînes d'approvisionnement) et a examiné leurs dispositions (et motivations) à commercialiser des insectes comestibles produits en conditions d'élevage massif (sur substrats ou sur diètes artificielles).

Ainsi, en réponse aux questions de recherche 5 et 6 (*cf.* chapitre II.1.), et à l'issue d'une série d'enquêtes auprès de ces acteurs incontournables de la filière des insectes en RDC, le présent chapitre (*i*) présentera la typologie des fermiers impliqués dans la production de *R. phoenicis*, les caractéristiques de leurs activités traditionnelles et leurs dispositions face à des alternatives à la récolte *in natura* et, (*ii*) documentera l'attitude des commerçants impliqués dans la filière des insectes face à des produits issus d'élevage en masse. Le chapitre rapportera également les principales motivations qui sous-tendent les dispositions (ou attitudes) des producteurs et commerçants interrogés afin d'accompagner ces acteurs dans le processus d'adoption de cette offre non familière en RDC.

Le chapitre sera notamment basé sur les versions remises en forme des publications suivantes :

**V.1. Nsevolo, M. P.** and Malaisse, F. Freins et leviers pour la commercialisation des insectes comestibles élevés en masse : étude exploratoire dans un pays où l'entomophagie est traditionnelle. *Geo-Eco-Trop*, 2022, 46, 2.

**V.2. Nsevolo, M.P.,** Lundanda, M.R., Kambashi, M.B., Kiatoko, N., Francis, F. and Caparros Megido, R. Who is collecting edible grubs from the wild? Typology of semi-farmers of *Rhynchophorus spp.* (Coleoptera) in DRC and insights into their attitude towards edible insect mass-rearing. (*Under review*).

## **V.1. Freins et leviers pour la commercialisation des insectes comestibles élevés en masse : étude exploratoire dans un pays où l'entomophagie est traditionnelle**

### **Résumé**

Depuis quelques années, l'élevage en masse d'insectes comestibles est progressivement expérimenté par un nombre d'acteurs institutionnels ou indépendants en RDC. Cependant, au regard de l'ancrage culturel des pratiques liées à l'entomophagie et d'un nombre de préoccupations sous documentées en RDC – mais relatives aux insectes produits en masse (IPM), des barrières à l'adoption de cette nouvelle offre alimentaire se sont posées (aboutissant au rejet de l'innovation dans certaines parties du pays). Aussi, face au bienfondé de cette offre alimentaire inhabituelle - tenant compte des défis collectifs relatifs à une insécurité alimentaire aggravée par la pandémie, la présente étude a été conçue afin de documenter les dispositions et les préoccupations quant aux IPM, spécialement parmi les commerçants (acteurs majeurs de la chaîne de valeur des insectes comestibles en RDC). Les résultats indiquent des dispositions majoritairement défavorables aux IPM (66,3% de répondants) et des préoccupations (ou motivations) significativement associées à deux variables sociodémographiques (âge et type de vendeur). Globalement, les préoccupations (ou motivations) exprimées par les répondants favorables au commerce des IPM se concentrent autour des qualités organoleptiques, des gains (bénéfices) éventuels et de la sécurité alimentaire. Les répondants moins favorables quant à eux, relèvent principalement les défis techniques relatifs à l'élevage en masse ou expriment soit de la réticence (néophobie) face aux IPM ou alors des préoccupations relatives à la conservation/stockage des produits. Par ailleurs, partant de l'échelle de mesure des motivations alimentaires adoptée, l'étude a mis en évidence que ces préoccupations (ou motivations) tournent autour de neuf dimensions ; cinq d'entre elles (à savoir : Sécurité sanitaire, Ecologie, Système de production, Psychologie et Média) ; significativement associées à des dispositions défavorables aux IPM, étant identifiées - après analyse des correspondances multiples, comme principaux leviers d'actions pour un changement d'attitude en faveur de cette offre alimentaire non familière.

### **Mots-clés**

Entomoculture, Aliment non familier, Acceptabilité, Motivation alimentaire, Culture.

## 1. Introduction

Depuis la crise sanitaire provoquée par la COVID-19, de nouveaux défis en lien avec la sécurité alimentaire se sont ajoutés aux fardeaux que portaient déjà beaucoup de nations ; en Afrique sub-saharienne en particulier, comme il en ressort d'un certain nombre de rapports récents (Eboko & Schlimmer, 2020 ; FAO, 2020a ; Mukiibi, 2020). En effet, les restrictions imposées au niveau national dans beaucoup d'États africains pour contenir la pandémie, ont entraîné au niveau national une perturbation des systèmes alimentaires et des activités économiques, avec comme corollaire, une augmentation des prix pour certains bien de première nécessité (Nchanjii *et al.*, 2021a,b), une récession économique et une insécurité alimentaire (et nutritionnelle) amplifiée - particulièrement pour les franges les plus vulnérables au sein des populations (FAO, 2020b ; UNDP, 2020 ; WEF, 2020).

Sous ce regard, il convient d'envisager avec plus de pragmatisme, des solutions locales et culturellement bien intégrées pouvant soutenir les systèmes alimentaires au niveau national. C'est ce qui ressort particulièrement des propositions de la FAO (2020a) s'agissant des mesures clés à implémenter pour assurer l'approvisionnement alimentaire, protéger au maximum les populations vulnérables et atténuer l'insécurité alimentaire (facteur aggravant l'impact de la pandémie) (Zurayk, 2020). Parmi ces solutions figurent les produits forestiers non ligneux (PFNL), au nombre desquels il faut retenir les insectes comestibles. En effet, ces derniers méritent une attention soutenue au regard de leur consommation culturellement bien ancrée en Afrique (Baiano, 2020 ; Defoliart, 2002 ; Kelemu *et al.*, 2015 ; Paoletti, 2005 ; Ramos-Elorduy, 2009) et de leur contribution significative à la sécurité alimentaire et nutritionnelle puisque constituant une source importante de macro et micronutriments, de fibres alimentaires, de vitamines et de minéraux essentiels (Rumpold & Schlüter, 2013 ; van Huis *et al.* 2013) pour de nombreuses populations à travers le continent (Malaisse, 2005 ; Mitsuhashi, 2016 ; van Huis, 2020). Ces dernières années d'ailleurs, un nombre foisonnant de publications scientifiques abordant différents aspects liés aux insectes comestibles, enrichissent le corpus de connaissance relatif à ces précieux invertébrés qui nourrissent l'homme (Baiano, 2020 ; Hlongwane *et al.*, 2020).

C'est le cas notamment en Afrique centrale pour la République Démocratique du Congo (RDC), pays pour lequel une forte intégration de l'entomophagie - fait de consommer des insectes par l'homme - auprès de 80% de la population, et une importante biodiversité en termes d'insectes comestibles (plus de 148 espèces) sont signalées (Malaisse, 1997 ; Nsevolo & Theeten, 2015 ; Jongema, 2017 ; Latham *et al.*, 2021 ; Nsevolo *et al.*, 2022a, 2022b). Toutefois, malgré l'intérêt avéré de l'entomophagie dans la lutte contre l'insécurité alimentaire au niveau national (Mapunzu, 2004), peu d'efforts sont mobilisés afin notamment de structurer (et booster) la filière insectes - qui reste à ce jour globalement informelle (Nsevolo *et al.*, 2016 ; Nsevolo *et al.*, 2022a) et réglementer la récolte *in natura* (en l'occurrence, proscrire les techniques intrusives comme les feux de brousse ou l'abattage d'arbres) - ce qui permettrait d'éviter la surexploitation des espèces (d'insectes comestibles ou

de plantes-hôtes) récemment signalées comme menacées (Nsevolo *et al.*, 2022a) et/ou de limiter la pression anthropique sur les ressources naturelles (situation ayant déjà abouti à la régression des populations de quelques espèces d'insectes dans leur zone d'occurrence) (Bomolo *et al.*, 2017 ; Looli Boyombo *et al.*, 2021).

Par ailleurs, au regard des défis collectifs relatifs à l'accès (pour tous) aux protéines d'origine animale en quantité et en qualité, quelques initiatives ont été lancées notamment par la FAO, l'Armée du Salut et le Centre Agronomique et Vétérinaire Tropical de Kinshasa (CAVTK) dans le but de promouvoir l'entomoculture (élevage en masse d'insectes comestibles) en RDC (Moula *et al.*, 2014 ; Halloran *et al.*, 2018 ; Nsevolo *et al.*, 2022a). Force est de constater cependant que les insectes comestibles produits en conditions d'élevage de masse (IPM) restent encore à ce jour ; à l'échelle du pays, une offre alimentaire non familière. De ce fait, en considérant les barrières relayées dans la littérature internationale à l'endroit d'aliments non familiers un peu partout dans le monde (Renner *et al.*, 2012 ; De Lanauze, 2015 ; Hénault-Ethier *et al.*, 2020) et au regard du fort ancrage culturel des pratiques liées à la consommation d'insectes (Mignon, 2002 ; Niassy *et al.*, 2016), un certain nombre de questions se posent au sujet de l'acceptabilité (ou de l'adoption) des IPM par les différents acteurs impliqués dans la chaîne de valeur des insectes comestibles en RDC.

Cette problématique étant encore relativement sous documentée, la présente étude s'assigne l'objectif de documenter l'attitude des commerçants à l'endroit des IPM (sur base des variables sociodémographiques qui seront explorées), et de mettre en lumière les motivations et préoccupations autour desquels se concentrent ces acteurs majeurs de la filière des insectes en RDC. Elle se propose également d'identifier les leviers d'action et les perspectives à court (ou moyen) termes pour un changement d'attitude en faveur des IPM – au regard de la pertinence de cette offre alimentaire non familière face à la nécessité de solutions (durables) vers la résolution ; en RDC, des défis collectifs relatifs à une insécurité alimentaire aggravée par la crise sanitaire en cours (COVID-19).

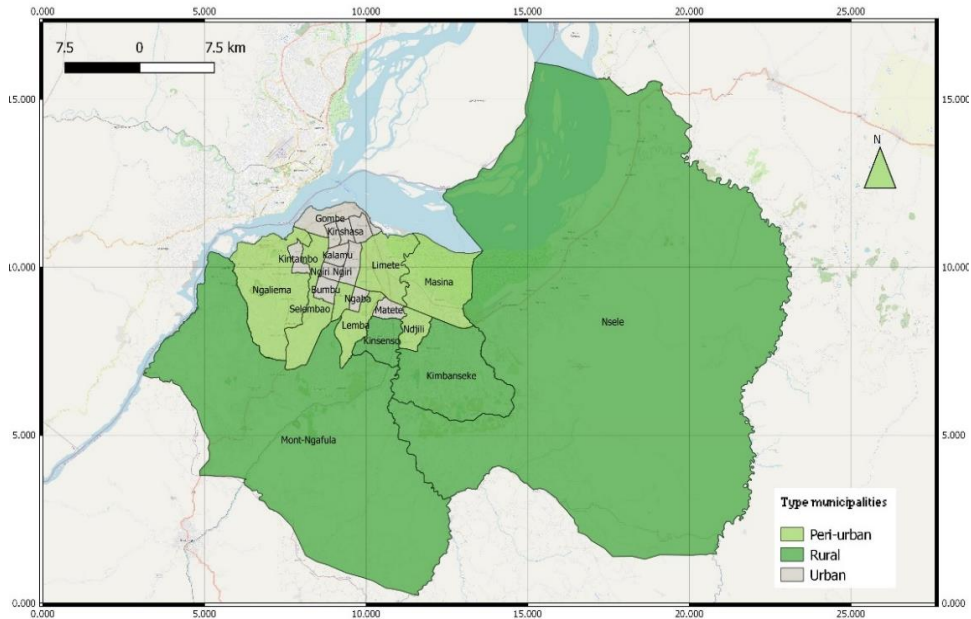
## **2. Matériel et méthodes**

### **2.1. Collecte de données**

En rapport avec l'objectif de l'étude, une série d'enquêtes ont été réalisées en juillet et août 2019 dans les principaux marchés et points de vente de Kinshasa (capitale de la RDC). A cet effet, 160 vendeurs exerçant leurs activités dans les périmètres urbains, péri-urbains et ruraux de la capitale du pays (Figure 1) et impliqués dans le commerce d'au moins une espèce d'insecte comestible, ont été sélectionnés de manière aléatoire, sur une base volontaire (sans contrepartie financière).

Les questions étaient administrées oralement aux répondants, leurs réponses étant transcrites par l'enquêteur guidé par le questionnaire *ad hoc* composé de trois principales sections : la première abordant les questions en rapport avec les caractéristiques sociodémographiques des répondants (âge, sexe, localisation, type

D'environnement commercial); la deuxième concernait les caractéristiques des activités commerciales en rapport avec les insectes comestibles (notamment le type de spéculations vendues et la taille du commerce) et la troisième, pour sa part, capturerait la disposition (Favorable/Défavorable) des répondants à l'endroit des IPM et les motivations (ou préoccupations) sous-jacentes.



**Figure 1.** Périmètres urbain, péri-urbain et rural de la ville-Province de Kinshasa (9.965 km<sup>2</sup>) (Longitude : 15°18'48" Est, Latitude : 4°19'39" Sud).

## 2.2. Analyse statistique

Les motivations (ou préoccupations) sous-tendant les dispositions (Favorable ou Défavorable) des répondants à l'endroit des IPM ont été traitées, puis regroupées en réponse-types dont les fréquences calculées seront rapportées dans divers tableaux et figures. D'autre part, en s'inspirant de l'échelle de mesure des motivations alimentaires proposée par [Renner et al. \(2012\)](#), ces préoccupations et motivations ont été affectées à la dimension la plus appropriée (dans la présente étude) afin de mettre en évidence - grâce à des tests de Chi-deux ( $\chi^2$ ) (avec  $p = 0,05$ ) réalisés sous Minitab (version 19.1.1), toute éventuelle association avec les caractéristiques sociodémographiques des commerçants (Tableau 1). Par ailleurs, pour une exploration satisfaisante du jeu de données et la mise en évidence des correspondances multiples (entre variables sociodémographiques, dimensions et dispositions des commerçants face aux IPM), une analyse multivariée a été réalisée sous R (version 3.6.1) à l'aide des packages « Factoshiny » et « FactoMiner ».

### 3. Résultats

#### 3.1. Caractéristiques sociodémographiques

Le Tableau 1 résume les caractéristiques sociodémographiques des commerçants interrogés dans les principaux marchés et points de vente (en milieux urbains, péri-urbains et ruraux) à travers la capitale. Les résultats de l'enquête indiquent une sous-représentation des Hommes (9,7% de répondants) - ce biais suggérant une nette association du commerce d'insectes aux Femmes. Par ailleurs, les activités commerciales (en rapport avec les insectes comestibles) apparaissent dominées par de commerçants d'âge moyen (30 à 39 ans), détaillants (66,9 %), vendant majoritairement (à hauteur de 85,9 % de répondants) moins de trois espèces différentes de Lépidoptères en milieu urbain (Tableau 2).

**Tableau 1.** Caractéristiques sociodémographiques des répondants (n = 160)

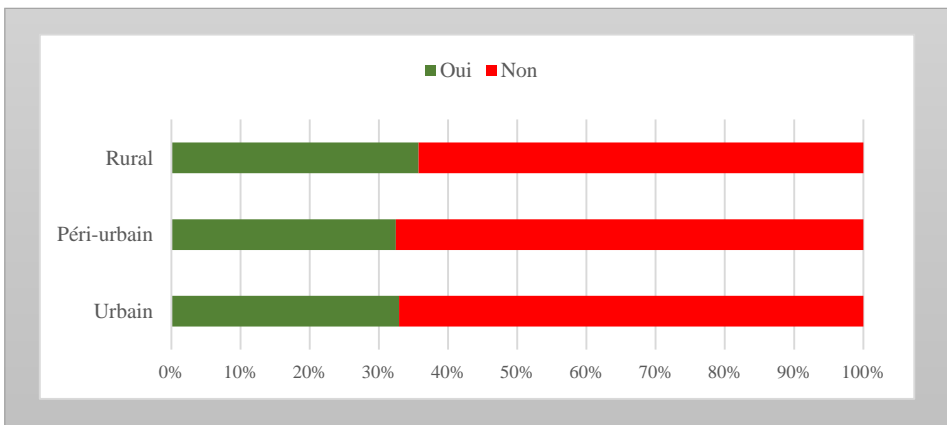
Genre	Effectif (%)
Homme	9,7
Femme	90,3
Age _Groupe (ans)	
]15 – 20[	6,1
[20 – 30[	12,8
[30 – 40[	34,1
[40 – 50]	25,0
]50 – 80[	22,0
Nbre_Spéculation	
1 espèce d'insectes	44,8
2 espèces d'insectes	41,1
3 espèces d'insectes	8,6
> à 3 espèces d'insectes	5,5
Type_Vendeur	
Détaillant	66,9
Demi-grossiste	16,2
Grossiste	16,9
Type_Milieu_Vente	
Urbain	50,3
Péri-urbain	24,2
Rural	25,5

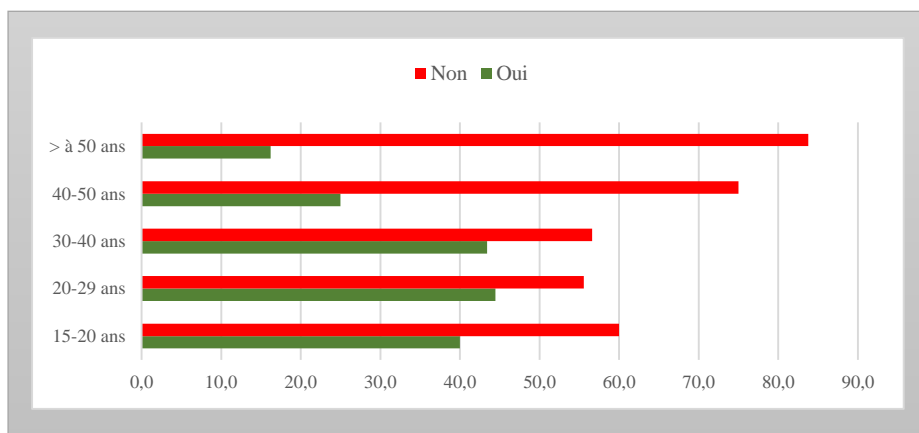
**Tableau 2.** Insectes commercialisés *versus* caractéristiques sociodémographiques (n = 160)

Insectes vendus	Total (%)	Genre (%)			Age_Groupe (%)				Typ_Mil_Vente (%)		
		H	F	15-19	20-29	30-39	40-50	> 50	Ur-bain	Péri-urbain	Rural
Lépidoptères	88,5	9,4	90,6	5,8	13,8	34,8	27,5	23,2	51,4	23,2	25,4
Isoptères	5,8	0,0	100	0,0	11,1	44,4	11,1	22,2	55,6	11,1	33,3
Coléoptères	4,5	28,6	71,4	14,3	0,0	28,6	28,6	28,6	14,3	28,6	57,1
Orthoptères	1,3	50,0	50,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	50,0	50,0	0,0

### 3.2. Dispositions, motivations et préoccupations au sujet des IPM

S'agissant de la disposition des répondants à vendre des insectes comestibles produits en conditions d'élevage de masse, les résultats indiquent que 33,7% des répondants sont favorables à un tel commerce contre 66,3% qui y sont réfractaires. L'analyse statistique ne suggère cependant pas d'association entre ces dispositions (Favorable *vs* Défavorable) et le genre ( $\chi^2 = 0.045$  ;  $p = 0.832$ ), le type d'environnement (urbain, péri-urbain, rural) où s'exercent les activités commerciales ( $\chi^2 = 0.199$  ;  $p = 0.905$ ) (Figure 2), ou la taille du commerce (en termes de nombre de spéculations vendues) ( $\chi^2 = 6.215$  ;  $p = 0.102$ ). Par contre, les résultats révèlent une association significative avec les tranches d'âge ( $\chi^2 = 6.509$  ;  $p < 0.05$ ) et le type de vendeur (détaillant, demi-grossiste, grossiste) ( $\chi^2 = 7.260$  ;  $p < 0.05$ ). En effet, s'agissant des tranches d'âge ; 42,2% de répondants de moins de 30 ans et 43,4 % de ceux de 30 à 40 ans ont manifesté des dispositions favorables au commerce des IPM contre seulement 20,6% chez ceux de plus de 40 ans (Figure 3). Considérant le type de vendeurs, 33,9% des détaillants et 52,0% des demi-grossistes y sont favorables contre seulement 7,7% des grossistes.

**Figure 2.** Dispositions au commerce des IPM par type d'environnement.



**Figure 3.** Dispositions au commerce des IPM suivant les tranches d'âge.

De plus, les différentes motivations qui sous-tendent ces attitudes (Favorable vs Défavorable) ont été identifiées (Tableau 3), puis explorées par type d'environnement (T\_Env) (Figure 4) et pour les deux variables sociodémographiques [Age (Figure 5), Type de vendeur (Figure 6)] ayant indiqué des différences significatives entre leurs modalités. Globalement parlant, il se dégage notamment que les principales préoccupations (et/ou motivations) exprimées par les répondants favorables au commerce des IPM se concentrent autour des qualités organoleptiques (10,2 %), des gains (bénéfices) éventuels (7,0%), de la contribution des IPM à la sécurité alimentaire (5,7%), des habitudes alimentaires (2,5%) ou de l'aspect visuel des IPM en comparaison aux insectes comestibles récoltés *in natura* (2,5%). Pour leur part, les répondants défavorables aux IPM relèvent principalement les défis techniques relatifs à l'élevage (21,7%). Ils expriment ensuite soit de la réticence (néophobie) face aux IPM (16,6%), soit des préoccupations relatives à la conservation/stockage des produits (5,1%), soit alors des préoccupations liées à l'accès à l'information (4,5%) (Tableau 3).

Lorsqu'on examine attentivement les dispositions des répondants tenant compte de la variable T\_Env, il se dégage que les commerçants exerçant en milieu urbain se concentrent majoritairement autour des préoccupations (et motivations) liées aux dimensions Produits (22,7%), Psychologie (et facteur humain) (22,7%), Système de production (18,7%) et Marchés (et clientèle) (14,7%) (Figure 4.A). Pour leur part, les commerçants en milieu péri-urbain se concentrent principalement autour des dimensions Système de production (28,9%), Psychologie (21,1%) et Produits (18,4%) (Figure 4.B). Les commerçants exerçant en milieu rural se focalisent quant à eux autour des dimensions Système de production (36,8%), Marchés (23,7%), Psychologie (13,2%) et Médias (10,5%) (Figure 4.C).

S'agissant de la variable Age, les résultats de l'analyse des correspondances (CA) illustrés à la Figure 5 suggèrent une association significative entre les modalités [15 – 20 ans[ et [20 – 30 ans[ avec les dimensions Produits et Psychologie ; une association



significative entre les modalités [30 – 40 ans[ et [40 – 50 ans[ avec les dimensions Marchés (ou clientèle), Sécurité alimentaire, Social (ou relationnel) et Système de production ; et tout autant, une association significative de la modalité [50 – 80 ans] avec les dimensions Système de production, Médias et Sécurité sanitaire.

D'autre part, s'agissant de la variable Type de vendeur (T\_Vend), les motivations (préoccupations) exprimées par les détaillants se concentrent essentiellement autour de quatre dimensions, à savoir : Psychologie (27,3%), Système de production (24,0%), Produits (19,3%) et Marchés (14,8%) (Figure 6.A). Celles récoltées auprès des vendeurs demi-grossistes tournent principalement autour des dimensions Produits (24,0%), Système de production (24,0%), Sécurité alimentaire (20,0%) et Psychologie (20,0%) (Figure 6.B), pendant que celles des grossistes se focalisent essentiellement sur les dimensions Système de production (68,0%), Médias (ou information) (12,0%) et Ecologie (8,0%) (Figure 6.C).

### **3.3. Aperçu de potentiels leviers d'actions en faveur des IPM**

La présente étude s'est également intéressée à identifier les potentiels leviers d'action pour un changement d'attitude en faveur des IPM. A cet effet, une analyse des correspondances multiples (ACM) entre les variables sociodémographiques (Age, Sexe, T\_Env, T\_Spec, T\_Vend) vs les dispositions (Favorable, Défavorable) a été conduite (Figure 7). Les résultats obtenus pour les deux premiers axes (Dim 1 & Dim 2) indiquent une association significative des variables T\_Vend ( $R^2 = 0,56$  ;  $p < 0.001$ ), Disposition ( $R^2 = 0,56$  ;  $p < 0.001$ ) et Age ( $R^2 = 0,39$  ;  $p < 0.001$ ) avec Dim 1 (10,33% de la variance) et une association significative notamment des variables T\_Env ( $R^2 = 0,50$  ;  $p < 0.001$ ), T\_Vend ( $R^2 = 0,30$  ;  $p < 0.001$ ) et Age ( $R^2 = 0,31$  ;  $p < 0.001$ ) avec Dim 2 (9,31% de la variance).

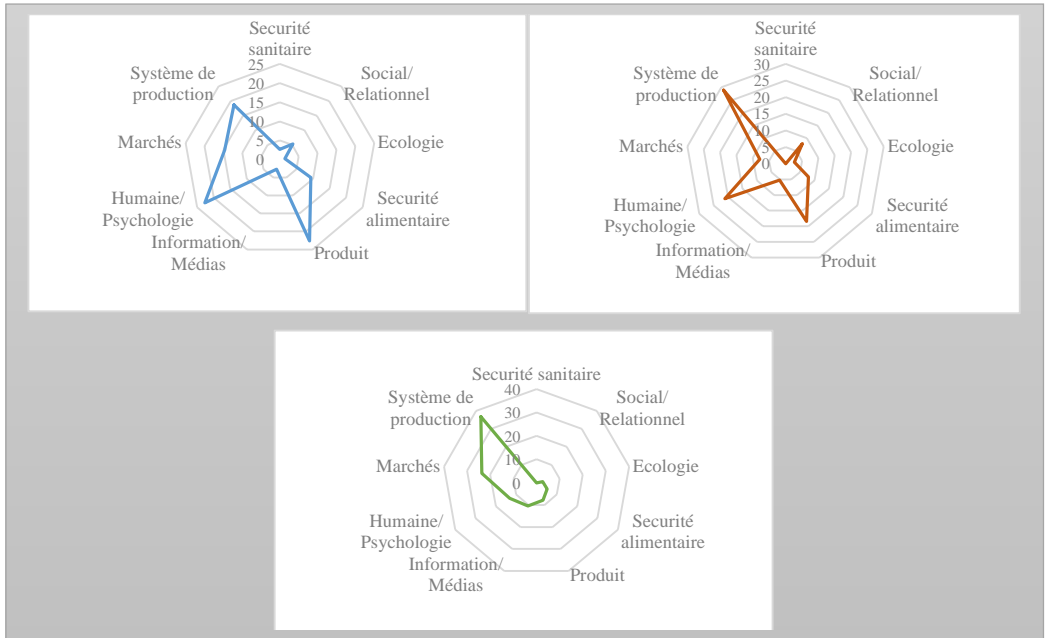
Par ailleurs, l'ACM a également fourni les corrélations (Cos2) et les valeurs tests (v.test) renseignées au Tableau 4. Ces valeurs permettent entre autres de mettre en évidence les différentes modalités des variables précitées significativement associées à chacun des deux axes (Dim 1 vs Dim 2) (Figure 8). En outre, les résultats de l'ACM illustrés à la Figure 8 apportent aussi des informations supplémentaires et pertinentes permettant d'identifier - à la lumière des résultats précédents, cinq dimensions (à savoir, Sec\_San, Ecologie, Sys\_Prod, Psychologie et Média) significativement associées à la disposition « Non » (Défavorable) sur le premier axe (Dim 1), constituant ainsi les principaux leviers d'action pour un changement d'attitude en faveur des IPM.

**Tableau 3. Résumé des motivations sous-tendant les dispositions (Favorable vs Défavorable) à l'endroit des IPM chez les vendeurs interrogés (n = 160)**

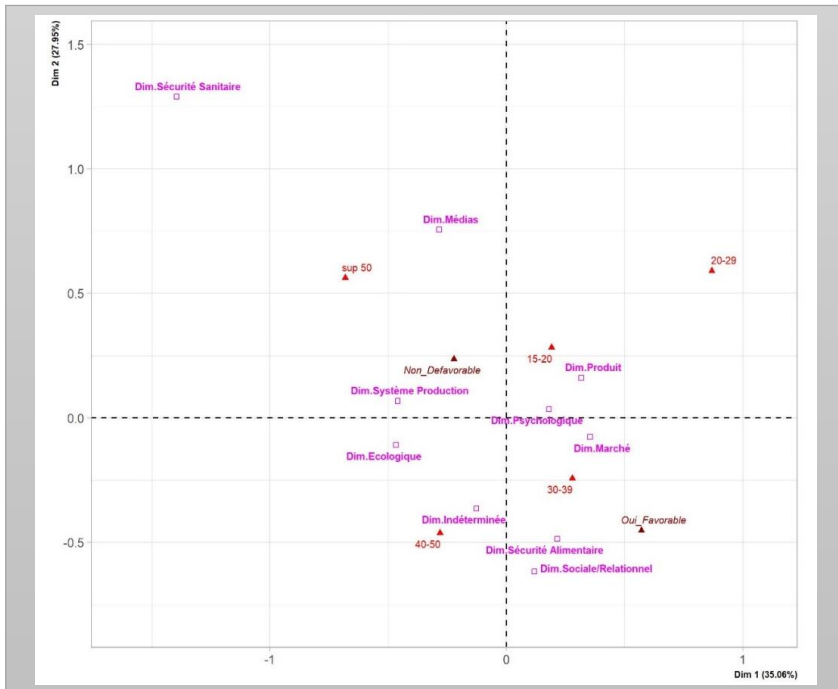
Dimension/ Catégories de réponses associées	Exemples de motivations/préoccupations fournies par les répondants	Dispositions (%) total						
		Favora	Défav	15-20	20-30	30-40	40-50	> à 50
<b>Produit/Spéculation</b>								
Qualités organoleptiques	« C'est bon ... » ; « Si c'est bien » ; « J'aime ça »	10,2	-	-	3,1	5,0	0,6	1,3
Aspect visuel/forme	« Si c'est bien à la vue ... » ; « Si ça ressemble au « C'est périssable » ; « Ça n'aura pas une longue	2,5	-	-	-	0,6	1,3	0,6
		-	5,1	-	1,3	1,3	1,3	1,3
<b>Production</b>								
Défis technique/Technicité	« Impossible d'en élever » ; « Jamais, Ça marchera	-	21,7	0,6	-	5,0	6,9	8,8
Conditions d'élevage	« Je ne sais pas comment ils seront élevés ... »	-	2,5	-	1,3	0,6	0,6	-
Substrat d'élevage	« Ils seront produits sur des végétaux ... »	0,6	-	-	-	-	0,6	-
<b>Marché/Débouchés</b>								
Demande existante/	« Si les gens apprécient » ; « Si les gens achètent »	1,9	-	0,6	-	1,3	-	-
Prix abordable	« Si c'est à bon prix »	0,6	-	-	-	-	0,6	-
Prix prohibitif	« Parce que ça va coûter cher ! »	-	0,6	-	-	-	0,6	-
Bénéfices/Gains	« Pour des bénéfices » ; « Suis commerçant,	7,0	-	1,3	2,5	1,3	1,3	0,6
Pas de débouchés/ pas de	« Les gens ne vont pas aimer » ; « Pas d'acheteurs ! »	-	3,2	-	-	1,9	1,3	-
<b>Psychologie/ Individu/ Personnel</b>								
Curiosité	« Juste pour essayer ... » ; « Je peux essayer »	1,9	-	0,6	-	-	1,3	-
Dégoût	!« Je n'aime pas ! »	-	0,6	-	-	0,6	-	-
Néophobie	« J'aurai peur de les vendre » ; « Des choses	-	16,6	1,9	3,1	5,0	3,8	2,5
<b>Société/Relation/Culture</b>								
Culture/Traditions	« C'est la nourriture de mon village »	1,2	-	-	-	0,6	0,6	-
Habitude alimentaire/	« C'est de la nourriture qu'on mange	2,5	-	-	0,6	1,3	0,6	-
Non Familiarisé à ce type	« Je ne suis pas habitué à les vendre »	-	0,6	-	-	0,6	-	-

Tableau 3. (Suite)

Dimension/ Catégories de réponses associées	Exemples de motivations/préoccupations fournies par les répondants	Dispositions (%)					Age – Groupe (%)	
		Favora- ble	Défav- rable	15-20	20-30	30-40		40-50
<b>Sécurité</b>								
Disponibilité	« Ça va aider pendant la période où les chenilles sont « Si on peut en manger » ; « Parce que c'est « Pas naturel, pas de vitamines » ; « Pas de bonne	0,6	-	-	-	0,6	-	-
Sécurité		5,7	-	-	-	4,4	0,6	0,6
Qualité		-	1,2	-	-	0,6	0,6	-
<b>Sécurité sanitaire</b>								
Sécurité	« Ce sont des insectes qui peuvent entraîner des	-	1,3	-	-	-	-	1,3
<b>Média</b>								
Besoin	« Si j'en vois ... »	0,6	-	-	-	0,6	-	-
Information/ Ecologie/Environnement	« Jamais entendu parler ! » ; « Je n'en ai jamais vu »	-	4,5	0,6	0,6	0,6	-	2,5
Abondance	« Pourquoi élever ? En forêt il y a des chenilles de	-	1,8	-	-	0,6	0,6	0,6
<b>Indéterminée</b>								
Neutre (pas de	« Je ne sais pas ... »	-	5,1	0,6	-	1,9	1,9	0,6



**Figure 4.** Motivations face aux IPM en milieux Urbain (A), Péri-urbain (B), Rural (C).



**Figure 5.** Graphe d'Analyse des Correspondances : Age x Dimensions x Dispositions.

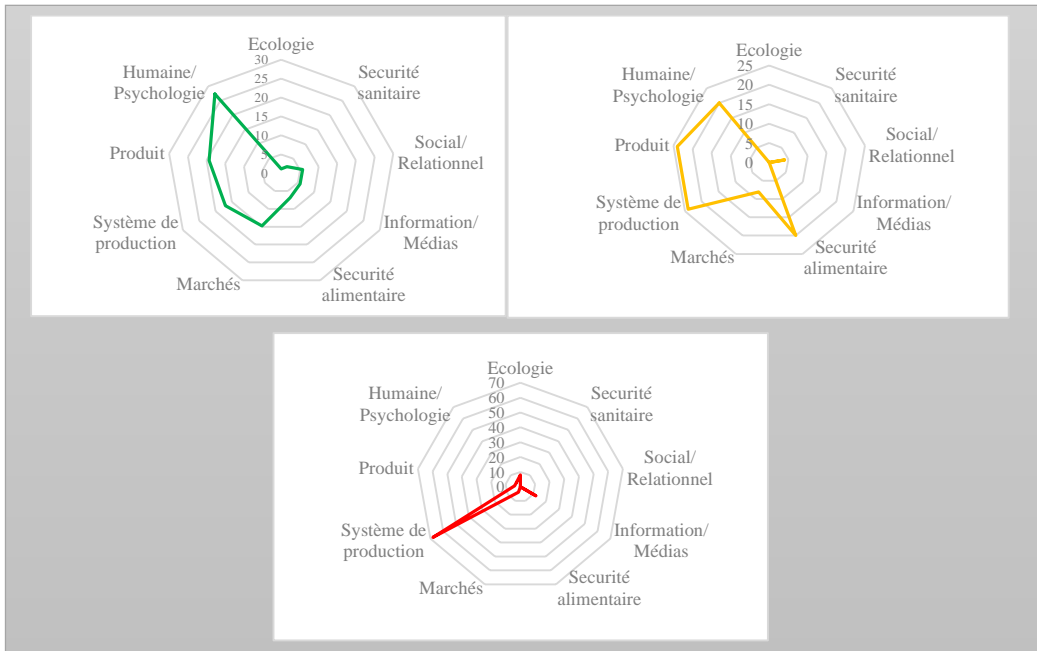


Figure 6. Dimensions des motivations face aux IPM (par type de vendeurs).

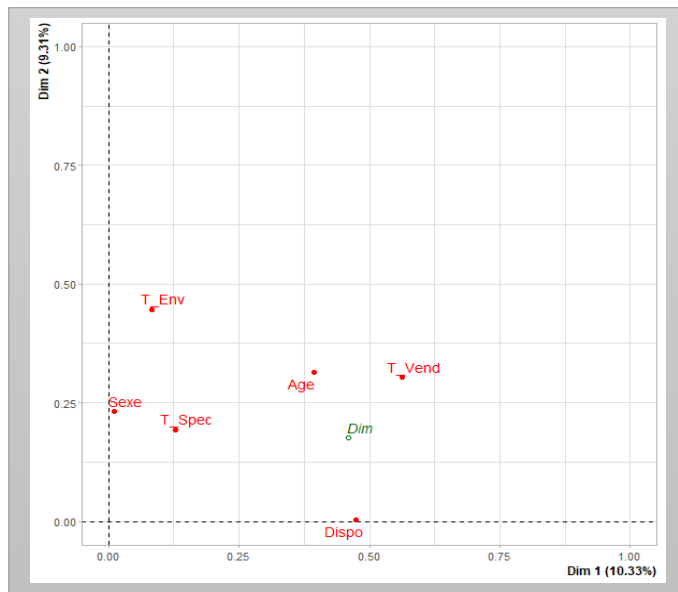
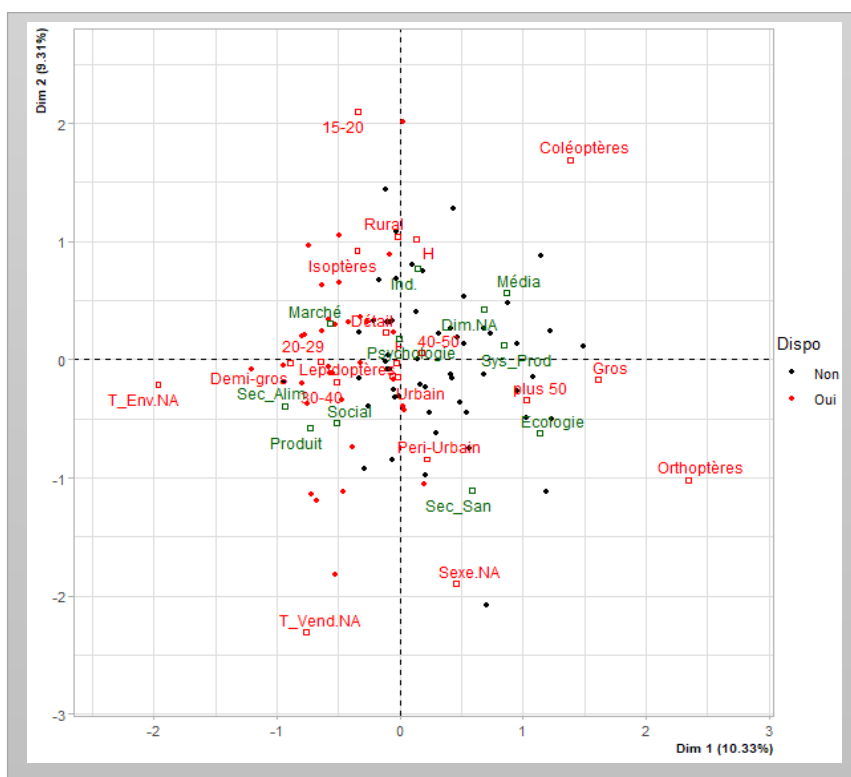


Figure 7. Graphe des variables sur les 2 premiers axes retenus. Ces variables sont notamment T\_Env = Type d'environnement (Urbain, Péri-Urbain, Rural) ; Sexe = Homme, Femme ; T\_Spec = Type de spéculation (Coléoptères, Isoptères, Lépidoptères, Orthoptères) ; T\_Vend = Type de vendeur (Détail, Demi-gros, Gros) ; Age = [15 – 20[, [20 – 29[, [30 – 40[, [40 – 50[, [50, 80] ; Dispo = Disposition (Favorable, Défavorable), variable binaire transcodée en « Oui » pour Favorable et « Non » pour Défavorable au commerce des IPM. Dim = Dimension, utilisée comme variable qualitative supplémentaire à laquelle se rattachent les motivations (préoccupations) exprimées par les répondants (pour les modalités, voir [Tableau 3](#)).

**Tableau 4.** Corrélations et valeurs tests des principales modalités associées aux axes

		Dim 1				Dim 2	
Variable	Modalité	Cos2	v.test	Variable	Modalité	Cos2	v.test
T_Vend	Gros	0,475	8,719	T_Env	Rural	0,370	7,693
Dispo	Non	0,475	8,718	Age	15 – 20	0,292	6,833
Dispo	Oui	0,475	-	T_Env	Péri-urbain	0,205	-
Age	> à 50	0,306	6,995	T_Spec	Lépidoptères	0,49	-
T_Vend	Demi-	0,147	-	T_Spec	Coléoptères	0,130	4,556
Age	30 – 40	0,140	-	Sexe	Homme (H)	0,106	4,121



**Figure 8.** Graphe global de l'ACM [(Individus x Variables sociodémographiques) x Dimensions]. Dispo = Disposition (Favorable, Défavorable) au commerce des IPM, utilisée comme variable binaire transcodée en « Oui » pour Favorable et « Non » pour Défavorable. Pour les modalités des variables sociodémographiques, voir Figure 7. Pour les modalités de la variable qualitative supplémentaire Dimension, voir Tableau 3. Noter que « \_NA » associé à une variable donnée indique des valeurs manquantes (non renseignées dans le jeu de données d'origine).

## 4. Discussion

Face au défi de nourrir, de façon durable, une population mondiale en pleine croissance (Bessa *et al.*, 2020), et au regard des enjeux alimentaires supplémentaires engendrés par la crise sanitaire (COVID-19) (FAO, 2020c ; Galanakis, 2020), l'entomoculture se positionne relativement bien parmi les alternatives à envisager, au regard du coût environnemental de l'élevage intensif (de monogastriques notamment) et de sa concurrence avec l'homme pour l'utilisation des céréales et des oléoprotéagineux (Caparros *et al.*, 2014 ; van Huis, 2017a,b ; Benoit *et al.*, 2020). Toutefois, alors que les aspects liés à la zootechnie d'insectes comestibles sont relativement bien étayés (tout au moins pour les espèces majeures) (Cabrera *et al.*, 2015 ; Monzenga *et al.*, 2017 ; Halloran *et al.*, 2018 ; Numbi Muya *et al.*, 2021), la problématique de l'acceptabilité des insectes produits en conditions d'élevage massif (IPM) - face aux barrières culturelles – se pose encore avec acuité.

A ce jour, cette problématique est relativement peu documentée en Afrique en particulier, continent où l'entomophagie repose essentiellement sur des traditions anciennes transmises de génération en génération (Mignon, 2002 ; Meyer, 2010 ; Niassy *et al.*, 2016). C'est dans ce contexte précis que la présente étude s'est inscrite, son objectif étant d'apporter pour le cas de la RDC spécifiquement, un certain nombre d'informations pertinentes en rapport avec les barrières à l'adoption des IPM et les leviers d'actions pour un changement d'attitude parmi les commerçants - acteurs majeurs dans la chaîne de valeurs des insectes comestibles.

A cet effet, l'étude a mis en évidence qu'un nombre significativement élevé (66,3%) de commerçants expriment des dispositions défavorables aux IPM ; dispositions qui ne sont pas associées au genre, à la taille du commerce (en termes de nombre de spéculations vendues) ou au type d'environnement commercial (urbain, péri-urbain, rural), mais plutôt à l'âge et au type de vendeurs (détaillant, demi-grossiste, grossiste). Les IPM apparaissent donc mieux acceptés auprès des commerçants relativement jeunes ou d'âge moyen (< à 40 ans) et auprès des détaillants ou demi-grossistes, qu'auprès des commerçants plus âgés (> à 40 ans) et des grossistes.

Il est intéressant de noter que le modèle de distribution des motivations (et préoccupations) émergeant de la présente étude (entre répondants jeunes *vs* plus âgés) corrobore relativement bien le modèle signalé par Renner *et al.* (2012). En effet, ces auteurs qui ont élaboré une échelle de mesure des motivations alimentaires, « The Eating Motivation Survey », relativement exhaustive et largement reconnue par la communauté scientifique, signalent entre autres la priorité des motivations liées aux qualités organoleptiques (dimension Produit) parmi les répondants jeunes contre des motivations associées à la santé (dimension Sécurité sanitaire) et des préférences pour des aliments naturels issus de l'agriculture biologique (dimensions Production, Ecologie) auprès des répondants plus âgés (Renner *et al.*, 2012).

De plus, s'agissant des préoccupations (et motivations) globalement exprimées par les commerçants interrogés, les résultats de la présente étude rejoignent bien ceux d'un certain nombre d'études en rapport avec les déterminants de l'adoption d'aliments non familiers (Renner *et al.*, 2012 ; De Lanauze, 2015 ; Caparros *et al.*, 2016 ; Roux *et al.*, 2021). A titre d'exemple, Ardoin & Prinyawiwatkul (2020) ont mis en évidence, auprès de consommateurs américains, les dimensions Société (en termes d'habitudes alimentaires, d'expérience préalable ou de familiarisation) et Produit (en termes de qualités organoleptiques) comme freins à l'adoption d'aliments contenant de la poudre d'insectes. Liu & Gomez (2019) pour leur part mettent en avant, entre autres, les dimensions Psychologie (en termes de néophobie, de dégoût) et Média (ou information) comme principaux facteurs influençant la consommation d'insectes en Chine. De manière similaire, Caparros *et al.* (2014) mettent en exergue la dimension Psychologie (néophobie) comme barrière majeure à l'adoption des formulations à base d'insectes comestibles par des consommateurs belges.

De tout ce qui précède, il ressort que l'adoption des IPM (dans le contexte d'étude) a encore un chemin relativement long à faire. Quoi qu'il en soit ; comme pour tout autre innovation alimentaire, un certain nombre de leviers bien identifiés et des stratégies bien calibrées en fonction des différents segments impliqués « de la ferme à l'assiette » (Bessa *et al.*, 2020), peuvent favoriser un changement notable d'attitude. En plus, malgré toutes les spécificités de la RDC signalées par différents auteurs (Malaisse, 1997 ; Mapunzu, 2004 ; Nsevolo *et al.*, 2016 ; Latham *et al.*, 2021 ; Nsevolo *et al.*, 2022a), les actions à entreprendre dans la perspective d'un changement d'attitude à l'endroit des IPM peuvent légitimement s'inspirer des approches utilisées ailleurs pour améliorer l'acceptabilité d'aliments non familiers. A ce sujet, la présente étude a mis en évidence cinq dimensions significativement associées à des dispositions défavorables aux IPM (à savoir : Sécurité sanitaire, Ecologie, Production, Psychologie et Média) (Figure 8), qui mériteraient d'être prioritaires.

Concrètement, les préoccupations liées aux dimensions Sécurité sanitaire, Production, Psychologie, Ecologie pourraient être relativement apaisées grâce, par exemple, à des situations expérientielles ou de mise en contact avec des IPM (expositions, foires agricoles, visites de fermes à insectes) favorisant des interactions commerçants – fermiers (éleveurs d'insectes). En effet, de tels expériences et échanges offrirait certainement aux commerçants encore indécis ou sceptiques, mais aussi aux répondants (5,1% au total) ayant affiché des dispositions défavorables à l'endroit des IPM sans raison particulière (dimension indéterminée) (Tableau 3), une base factuelle pour une prise de décision objective.

Pour leur part, les préoccupations associées à la dimension Média ou à la néophobie (dimension Psychologie), pourraient être rencontrées par une meilleure diffusion de l'innovation (auprès des commerçants) s'inspirant de la théorie de diffusion de l'innovation de Rogers (Rogers, 2003). Partant de cette théorie, les « innovateurs » (c.à.d. petit segment d'une population, constitué de personnes audacieuses, souvent



les premières à connaître les innovations et à les adopter) et les « adopteurs précoces » (c.à.d. groupe de personnes respectées par leurs pairs, qui servent de modèle et apposent le sceau d'approbation en adoptant l'innovation) devraient être identifiés et mis à contribution.

En effet, puisqu'ils peuvent partager leurs expériences dans leurs communautés et/ou apporter des conseils éclairés par une bonne information reçue au préalable (partant entre autres des dimensions rapportées dans la présente étude) (Tableau 3), ces innovateurs et adopteurs précoces pourraient efficacement aider à introduire les IPM auprès de leurs pairs, à la vulgarisation communautaire de cette alternative à la récolte *in natura* (tenant compte des leviers d'action retenus pour favoriser l'adoption) (Figure 8) et à la « traversée du gouffre », l'innovation alimentaire rejoignant enfin la majorité (Rogers, 2003).

## 5. Conclusions et perspectives

S'inscrivant dans la problématique de l'acceptabilité des insectes comestibles produits en masse (IPM), dans un contexte national où la consommation (d'insectes ou autres aliments) repose sur une composante culturelle importante, la présente étude a mis en évidence des dispositions majoritairement défavorables (à hauteur de 66,3% de répondants) à l'endroit de ces produits non familiers en RDC. Ainsi, tout en apportant des éléments d'information inédits dans une problématique sous documentée, l'étude a signalé que les fractures dans les dispositions, préoccupations et motivations des commerçants à l'endroit des IPM sont associées aux modalités de deux variables sociodémographiques (Age et Type de vendeur). Par ailleurs, l'étude a également mis en évidence ; sur base de l'échelle de mesure des motivations alimentaires adoptée, cinq dimensions significativement associées à des dispositions défavorables (à savoir Sécurité sanitaire, Ecologie, Production, Psychologie et Média) ; ces résultats étant relativement similaires à celles rapportées dans la littérature internationale en rapport avec l'adoption d'aliments non familiers. En conséquence, face au bienfondé de l'entomoculture en comparaison à la récolte des insectes comestibles *in natura*, ces dimensions mériteraient d'être prioritaires dans les actions à entreprendre (à court ou moyen termes) pour aider au processus d'adoption des IPM et vaincre l'inertie à l'égard du changement pour des produits non familiers. Dans un contexte national perturbé par l'instabilité politique pendant des décennies, auquel viennent s'ajouter des fardeaux supplémentaires (d'ordre sanitaire et économique) imposés par la COVID-19, les consommateurs congolais seront certainement appelés à dominer les réflexes culturels profondément établis et à adopter de telles offres alimentaires nouvelles, durables et pertinentes pour la résolution de défis collectifs liés à l'insécurité alimentaire et nutritionnelle.



## **V.2. Who is collecting edible grubs from the wild? Typology of semi-farmers of *Rhynchophorus spp.* (Coleoptera) in DRC and insights into their attitude towards edible insect mass-rearing**

### **Abstract**

*Rhynchophorus phoenicis* (Fabricius 1801) (Dryophthoridae, Coleoptera) is an edible insect whose larvae are highly requested in the Democratic Republic of Congo, and traditionally semi-farmed in the wild since long. However, unregulated harvests through intrusive techniques threatens natural populations of its host-trees. Given the need to sustain entomophagy, the study explored Congolese insect-farmers' profiles in relation with their farming activities in the wild, as well as their willingness to adopt insect mass-rearing as alternative to collection from wild sources. Results indicated that the majority of respondents (78.57% in total) were willing to adopt mass-rearing motivated mainly by the need to increase knowledge and by curiosity in order to overcome skepticism and neophobia (63.08% of respondents). Furthermore, the results of multivariate analysis indicated that insect farmers could be grouped in three distinct clusters according to the following characteristics: Daily yields (Kg/day), Weekly frequency of collection (days/week), Distance to travel from home (Km/day), Daily working time (Hours/day) and seniority (years of experience). Membership in Cluster 1 (including 67.64% of farmers) is both associated with the lowest values for Age (in years) and for all the characteristics of farming routine, and to unwillingness to adopt mass-rearing (given that its benefits or proceeds are not clearly perceived). Membership in Cluster 2 and 3 (25.01% and 7.35% of respondents, respectively) is associated to significant higher values for aforementioned characteristics, but this two clusters are further discriminated based on positive association between the daily working time, weekly frequency and daily yield - cluster 3's farmers having; on average, higher frequency (3.80 days/week), working time (8.60 hours/day) and yields (11.00 kg/day) than those from cluster 2 (more aged and skilled). Finally, the study assessed income earned by insect farmers (24.29 €/day, on average), and supported that the potential improvement of revenues and livelihood through insect mass-production should constitute a dimension (or aspect) to be pointed out clearly with insect farmers in order to enhance the adoption process of innovative techniques of edible insect mass-breeding in DRC.

### **Keywords**

Insect-farmers, clustering, entomoculture, nature, sustainability, food security

## 1. Introduction

Based on a growing number of reports, interest for insects as human food is on the rise worldwide (Baiano, 2020; Hlongwane *et al.*, 2020; Raheem *et al.*, 2019; Van Huis, 2020a). This craze for edible insects is supported notably by the need to feed an increasing human population (expected to be more than 9.6 billion by 2050) (Adegboye, 2021; UN, 2022) and by the per capita demand for protein that should double by an estimated 60% from current levels (Gahukar, 2016). Moreover, the worldwide sanitary crisis (COVID-19) that unpredictably affected many countries around the globe, brought new sanitary challenges that disrupted trade systems and affected eating patterns of millions people worldwide (FAO, 2020a; Mukiibi, 2020; Nchanji, 2021a,b; WEF, 2020). With respect to developing countries from Africa, the situation report released by the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) concerning a number of sub-Saharan countries clearly highlighted disruptions of national food systems due to restriction measures implemented against the outbreak of the pandemic, and called governments toward strengthening food systems through local food production (FAO, 2020b).

Fortunately, edible insects consumed since long throughout Africa (Kelemu *et al.*, 2015; Van Huis, 2020b), provide a very promising solution to this end, as they are locally available (*i.e.* this should help in shortening food supply chains), relatively abundant depending on countries - *e.g.* 22 species for Nigeria, 28 for the Republic of Congo (Brazzaville), 31 for Cameroon, 75 for Gabon, 96 for Central African (CA) Republic, 148 for the Republic Democratic of Congo (DRC) (Alamu *et al.* 2013; Balinga *et al.* 2004; Detilleux *et al.* 2021; Djouffa *et al.* 2021, Mabossy-Mobouna *et al.* 2016; Mitsuhashi, 2016; Ngute *et al.* 2020; Nsevolo *et al.*, 2022a), and globally acknowledged as nutrient-rich foods (in terms of macro and micronutrients, vitamins and dietary fiber) that meet human requirements for a healthy diet (Ghosh *et al.*, 2017; Köhler *et al.*, 2019; Rumpold and Schlüter, 2013; Van Huis *et al.*, 2013).

However, based on reports from a number of African countries pointing out that insect production relies mainly on collection from the wild, through traditional harvesting methods that sometimes involve intrusive techniques (*e.g.* trees felling or bush fires) (Manditsera *et al.*, 2019; Nsevolo *et al.*, 2022a; Van Huis, 2013), the sustainability of anthro-entomophagy (that is, consumption of insects by humans) in Africa could be questioned. Therefore, insect mass-farming offers an alternative that is on the rise and gradually implemented in a number of African countries, such as in DRC.

Indeed, thanks to a number of programmes implemented by the FAO, the Salvation Army or the Agro-Veterinary Center in Kinshasa (CAVTK, in French) and by some universities (Table 1), mass-breeding of selected edible species - including *Brachytripes membranaceus*<sup>13</sup>, *Samia ricini*, *Acheta domesticus*, *Ruspolia sp.* and

---

<sup>13</sup> The full species names of insect taxa cited in this chapter are listed in Table 1.

*Rhynchohoprus phoenicis* (Table 1), is tested in DRC for vulgarization to farmers (Halloran *et al.*, 2018a; Moula *et al.*, 2014; Nsevolo *et al.*, 2022a; Numbi Muya *et al.*, 2021). The latter insect species - particularly requested (all year-round) and highly sought after countrywide for its flavour, taste and economic value (Mapunzu, 2004; Monzenga, 2015; Nsevolo *et al.*, 2016), is traditionally semi-farmed and harvested on Raphia or Palm trees (*i.e.* basically the host-trees are to be cut down). However, since such unregulated traditional harvesting methods both threat natural palm plantations and drive biodiversity loss, exclusive reliance on nature would not sustain entomophagy (Van Huis, 2013).

Accordingly, there is a need to promote alternatives to collection of edible insects from the wild, while supporting semi-farmers in the adoption process, based on prior documentation of farmers' traditional practices and attitude towards insect farming (given socio-cultural barriers that often affect societal acceptance of food innovations) (Renner *et al.*, 2012). It is within this context that the present study documents the production of edible larvae of *R. phoenicis* (Dryophthoridae - Coleoptera), including harvest practices and semi-farming from wild sources. The paper aims at giving insights into the characteristics of insect farmers in DRC - with particular focus on those from two western provinces of the country (*viz.* Kongo-central and Kinshasa), and to document their attitude toward insect mass-farming, in order to support effective adoption and implementation of alternatives to unsustainable edible insects' collection *in natura*.

**Table 1.** Selected edible insect species tested for mass-farming in the capital city of DRC

Order	Family	Species	Facility/substrate	Program/actors	Source
Coleoptera	Dryophthoridae	<i>Rhynchohoprus phoenicis</i> (Fabricius 1801)	In plastic containers. Insects were fed with pieces of <i>Saccharum officinarum</i> L.	CAVTK, FAO, UPN	[2, 3, 7]
Lepidoptera	Noctuidae	<i>Aegocera rectilinea</i> Boisduval 1836	In breeding cages, caterpillars were fed with leaves of <i>Boerhavia diffusa</i> L.	UNIKIN	[5]
Lepidoptera	Saturniidae	<i>Samia ricini</i> (Jones 1791)	In breeding cages, caterpillars were fed with leaves of <i>Manihot esculenta</i> Crantz.	Salvation Army	[4, 6]
Orthoptera	Gryllidae	<i>Acheta domesticus</i> (Linnaeus 1758)	In plastic boxes with egg cartons. Insects were fed with poultry feed.	CAVTK	[3, 4, 7]
Orthoptera	Gryllidae	<i>Brachytrupes membranaceus</i> (Drury 1770)	In plastic boxes with conventional agricultural soil. Insects were fed with wild plant residues, leaves, fruits and/or grains of different plant species.	CAVTK	[1, 4]
Orthoptera	Tettigoniidae	<i>Ruspolia sp.</i>	In plastic containers with potting soil, insects were fed with poultry feed.	CAVTK	[7]

<sup>1</sup> Halloran *et al.*, 2018 ; <sup>2</sup> Monzenga, 2015 ; <sup>3</sup> Moula *et al.*, 2014 ; <sup>4</sup> Nsevolo *et al.*, 2022a; <sup>5</sup> Numbi Muya *et al.*, 2021 ; <sup>6</sup> Salvation Army, 2019 ; <sup>7</sup> R.M. Lundanda (personal communication, May 17, 2021).

## 2. Materials and methods

### 2.2. Data collection

Quantitative and qualitative data in relation with the present study were collected through two surveys conducted on March and July 2022. The target of the surveys were farmers (and collectors) of *R. phoenicis*' larvae from the wild in two western provinces of DRC, namely: Kinshasa - the capital city of the country (15° 18' 48" E, 4° 19' 39" S) and Kongo-central (13° 53' 52" E, 5° 14' 12" S). Respondents (n = 70) were selected haphazardly (Table 2), based on their willingness to be interviewed without any financial compensation. Interviews were administered orally in local languages; answers being translated (in French), and then transcribed by the interviewer.

Moreover, these interviews were guided by the *ad hoc* questionnaire comprising the following three distinct sections: (i) the first included common questions about farmers' sociodemographic characteristics (e.g. gender, age, marital status, education, location, family household size); (ii) the second was related to insect farming activity and harvest practices (i.e. daily working time, distance to travel, daily yield, prices of larvae, seniority, weekly frequency) and, (iii) the third concerned the farmer's (un)willingness - and underlying motivations - to adopt insect mass-breeding rather than collecting from wild populations.

### 2.3. Data analysis

Statistical analysis (with a significance level of  $p < 0.05$  applied for all tests) were completed using a combination of descriptive techniques (including frequencies and percentages), parametric tests (analysis of variance – ANOVA), non-parametric tests (Chi-square and Fisher's exact test), and multivariate analysis – including Principal Components Analysis (PCA), Ascending Hierarchical Classification (AHC) and Factorial Analysis of Mixed Data (FAMD). Prior to parametric tests, normalcy was checked and outliers removed in order to minimize bias (Osborne and Overbay, 2004; Zijlstra *et al.*, 2011), and when the data did not meet the required assumptions for the Chi-square test ( $\chi^2$ ), Fisher's exact test was applied (Hopkins and Fara, 2022). Data analysis were performed using Minitab (version 19.1.1), and two packages (FactoMiner and Factoshiny) from the R statistical software (version 3.6.1).

## 3. Results

### 3.1. Sociodemographic characteristics

A total of 70 insect farmers from Kinshasa and Kongo-central completed the survey (Table 2), of which, 4.28% were female and 95.71% were male. Respondents aged 20-29 years represented the largest group (at 33.33%), followed by the 30-39 years' group (at 27.54%). The  $\geq 49$  years represented the smallest age group consisting of just 7.25% of the total respondents. As for educational level, results indicated that 44.93% of farmers completed only the primary school compared with 36.23%

reporting to have completed the secondary school (Congolese school system metric). In addition, data indicated that the majority of farmers were single (63.77%). Most of them live in family household (*i.e.*, with children, siblings or co-residential siblings) which average size is of 5.68 members. Furthermore, income of respondents has been estimated based on the average daily yields (Figure 1) and price of larvae (0.05 €/indiv.) on local markets. Results (expressed as mean ± sd) indicated significant difference ( $F = 222.08$ ;  $p < 0.001$ ) between “small” farmers (39.06% of respondents) earning  $12.02 \pm 2.72$  € and “median” farmers (26.56%) earning  $24.38 \pm 3.71$  € as compared to “big” farmers (34.38% of the total) earning  $51.33 \pm 22.08$  € (on a typical work day basis).

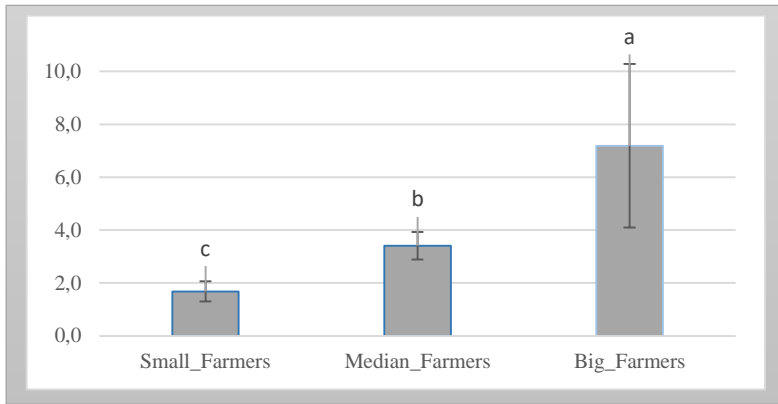
### 3.2. Typology of farmers with regard to collection practices

Respondent’s profiles in relation with semi-farming activities (or collection of *R. phoenicis*) in the wild were explored through Principal Components Analysis (PCA) and Ascending Hierarchical Classification (AHC). As can be seen in Figure 2, the two first PCA factors (Dim 1 & Dim 2) with eigen-values greater than one accounted for 48.74% of the total inertia from the dataset – the third (Dim 3) accounting for 14.95%.

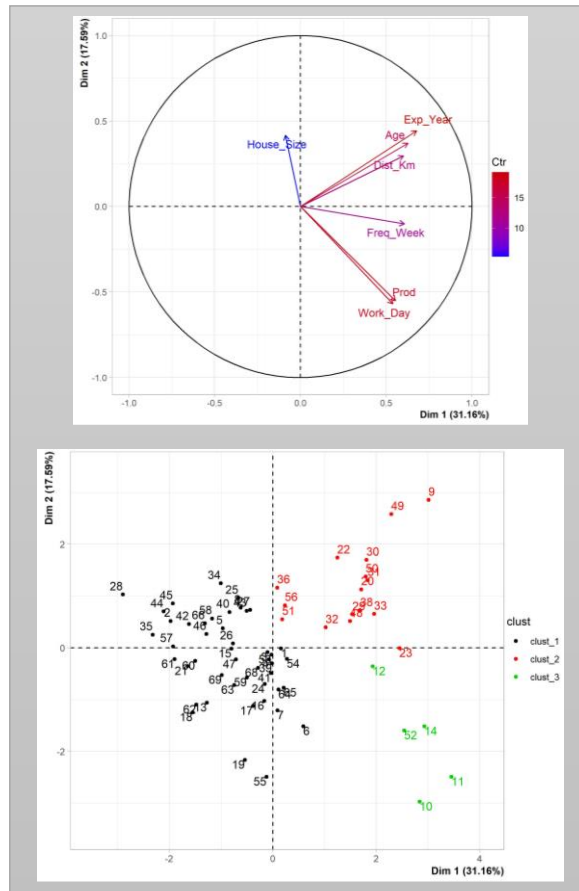
**Table 2.** Sociodemographic characteristics of farmers (n = 70)

Variables	Percentage (%)	Variables	Percentage (%)
<b>Age group (years)</b>		<b>Family household size</b>	
≤ 20	14.49	≤ 3	20.29
20-29	33.33	4 à 5	30.43
30-39	27.54	6 à 7	27.54
40-49	17.39	≥ 8	21.74
≥ 49	7.25	<b>Type of farmers</b>	
<b>Education</b>		Small	39.06
Not achieved	18.84	Median	26.56
Primary	44.93	Big	34.38
Secondary	36.23	<b>Location</b>	
<b>Status</b>		Kinshasa	27.54
Single	63.77	Kongo-central	72.46
Widower	1.45		
Married	34.78		

Based on PCA results (summarized in Table 3), the four first variables with the highest loadings on Dim 1, in descending rank order, are as follows: “Exp\_Year”, “Age”, “Freq\_Week” and “Dist\_Km”. As for the second factor (Dim 2), “Work\_Day” and “Prod” were the two main variables with the highest loads. The third factor (Dim 3) is mainly associated to a sociodemographic characteristic (that is, family household size).



**Figure 1.** Farmers (n = 70) grouped according to average daily yield - expressed as kg of larvae collected /working day. Different superscript letters denote a significant difference between types of farmers ( $F = 222.08$ ;  $p < 0.001$ ).



**Figure 2.** Farmers (by clusters) and variables for the two first dimensions.



**Table 3.** Selected PCA results (contribution & correlation) of variables for the 3 first factors

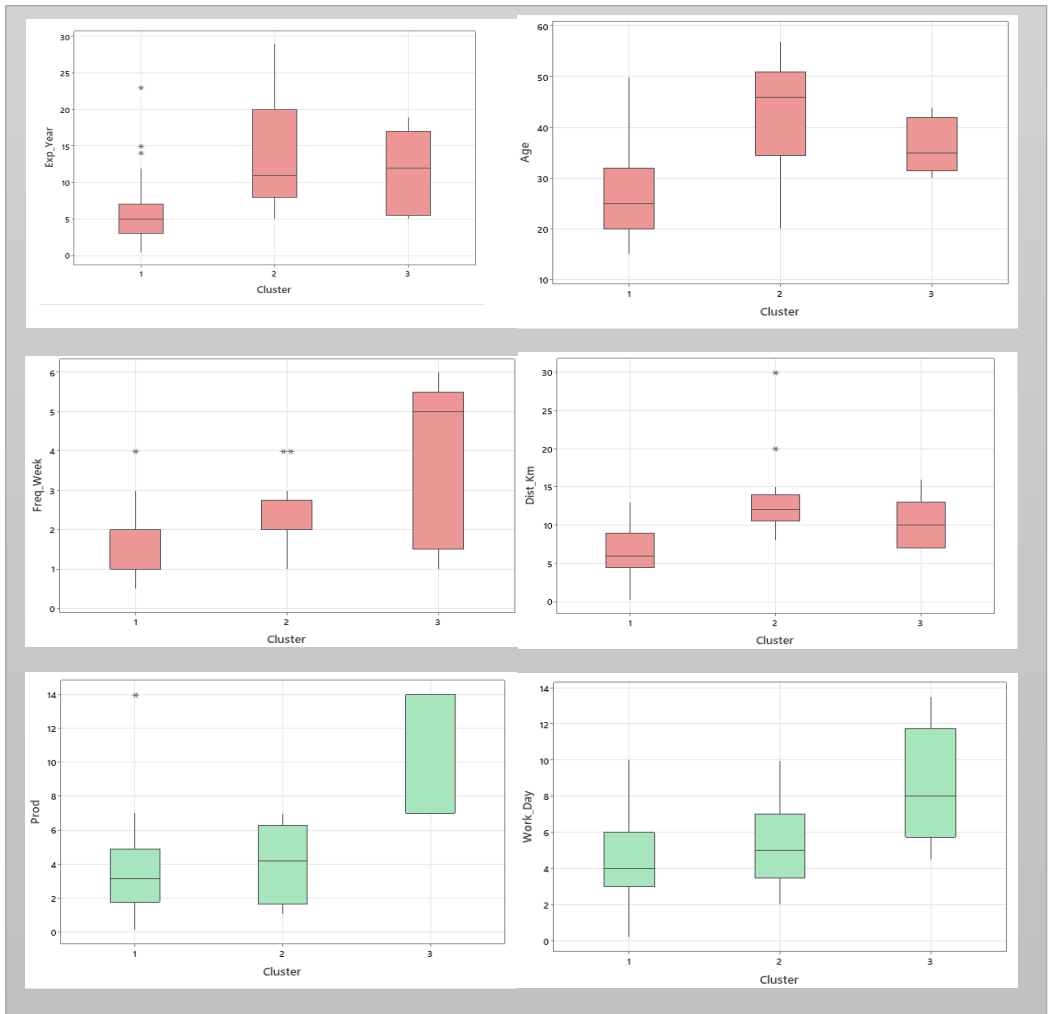
Variable	Dim 1		Dim 2		Dim 3	
	Contrib.	Cos2	Contrib.	Cos2	Contrib.	Cos2
Age (years)	17.969	0.392	11.158	0.137	7.749	0.081
House_Size (Family Household size)	0.352	0.008	14.087	0.173	68.074	0.712
Prod (Production, in terms of Kg/day)	14.072	0.307	24.629	0.303	8.192	0.086
Freq_Week (Frequency, in terms of day/week)	16.802	0.367	0.837	0.010	1.647	0.017
Dist_Km (Distance to collection site, in Km)	16.502	0.360	7.135	0.088	8.082	0.085
Work_Day (Work day duration, as hours/day)	13.307	0.290	26.250	0.323	3.692	0.039
Exp_Year (Years of experience)	21.005	0.458	15.904	0.196	2.565	0.027

Based on PCA results (summarized in Table 3), the four first variables with the highest loadings on Dim 1, in descending rank order, are as follows: “Exp\_Year”, “Age”, “Freq\_Week” and “Dist\_Km”. As for the second factor (Dim 2), “Work\_Day” and “Prod” were the two main variables with the highest loads. The third factor (Dim 3) is mainly associated to a sociodemographic characteristic (that is, family household size).

Afterwards, the AHC (performed on PCA results) structured the farmers into the three distinct groups (clusters) illustrated in Figure 2. As can be observed based on Figure 3, the membership in cluster 1 is associated with the lowest values (in their respective units) for “Age” ( $26.60 \pm 1.17$ ), “Prod” ( $3.44 \pm 0.35$ ), “Freq\_Week” ( $1.38 \pm 0.11$ ), “Dist\_Km” ( $6.43 \pm 0.47$ ), “Work\_Day” ( $4.37 \pm 0.32$ ) and “Exp\_Year” ( $5.50 \pm 0.61$ ); whereas membership in cluster 2 is associated with the highest values for Age ( $42.59 \pm 2.48$ ), “Exp\_Year” ( $14.24 \pm 1.77$ ) and “Dist\_Km” ( $13.15 \pm 1.25$ ). As for cluster 3, the membership is associated with significant highest values for “Prod” ( $11.20 \pm 1.71$ ), “Freq\_Week” ( $3.80 \pm 0.97$ ) and “Work\_Day” ( $8.60 \pm 1.51$ ) (Figure 3. A – F).

### 3.3. Insights into farmers’ attitude towards insect mass-farming

Based on the sociodemographic characteristics reported in Table 2, farmers’ willingness to adopt edible insect mass-farming (as alternative to collection from the wild) was explored with 21.43% in total reporting that they would be ‘unwilling to adopt insect mass-farming techniques’. The statistical analysis indicated that willingness to adopt insect mass-farming were not significantly associated with Age ( $\chi^2 = 0.233$ ,  $p = 0.629$ ), Education ( $\chi^2 = 2.633$ ,  $p = 0.137$ ) or Location ( $p = 0.744$ , Fisher’s exact test), but rather with Status ( $p < 0.05$ , Fisher’s exact test) and “Type\_Prod” ( $p < 0.05$ , Fisher’s exact test), with “big” farmers more likely to be willing to adopt mass-rearing than “small” and “median” farmers (illustrated in Figure 1).



**Figure 3.** Box-plots of variables according to clusters (variables are as follows, from top to down and from left to right: (A) Exp\_Year (Years of experience), (B) Age (years), (C) Freq\_Week (Frequency, in terms of day/week), (D) Dist\_Km (Distance to collection site, in Km), (E) Work\_Day (Working day duration, as hours/day) and (F) Prod (Production, in terms of kg/day).

Furthermore, the reasons (or motives) supporting attitudes of respondents towards insect mass-farming were categorized within eight distinct dimensions illustrated in [Figure 4 \(A – C\)](#) with regard to “Type\_Prod”. Based on their overall frequency, the main four dimensions ranked as follows: Knowledge (*i.e.* interest towards the innovation endorsed by the need to increase knowledge) (52.31% of respondents); Curiosity (*i.e.* in order to overcome skepticism and neophobia) (10.77%); Production

(i.e. insect farming would shorten distances and ease collection activities) (4.62 %) and Experience (i.e. willingness to adopt mass-farming given prior experience of insect farming on substrates) (3.08 % in total). The first dimension was mainly reported by “small” farmers (Figure 4. A), the second by “median” farmers (Figure 4. B), whereas the third and the fourth were mainly associated to “big” farmers (Figure 4. C).

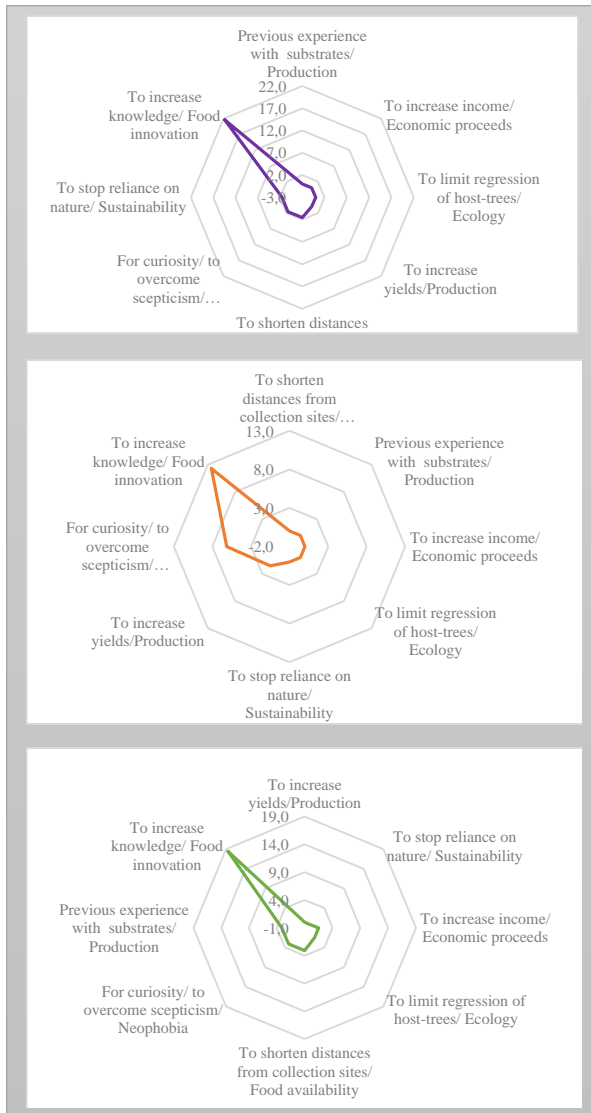
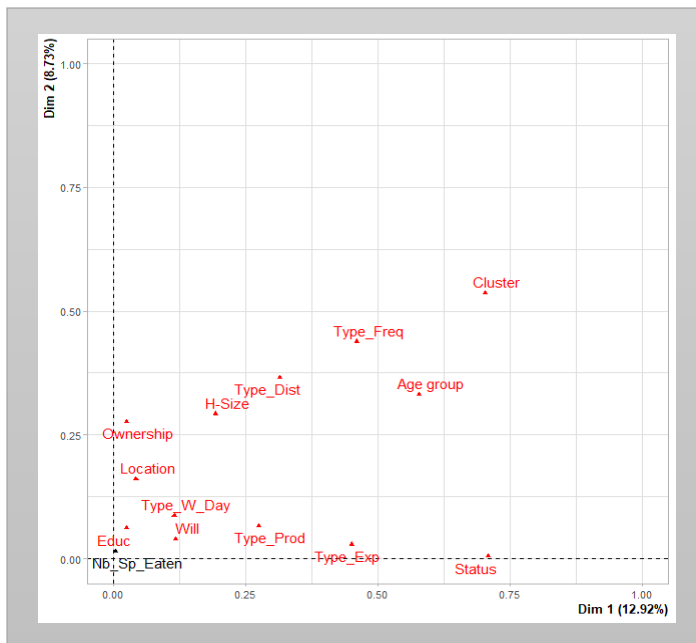


Figure 4. Motives supporting willingness to adopt insect farming according to “Type\_Prod”

To dig a little deeper into farmers' willingness to adopt insect mass-farming with respect to their clusters (Figure 2), a multivariate analysis (FAMD) was performed using qualitative variables (that is, sociodemographic characteristics) (Table 2), quantitative variables used for PCA (reported in Table 3) - discretized into categories (whose modalities are reported in Figure 5), and “the willingness to adopt” – as a supplementary categorical and Boolean variable (*i.e.*, coded as Yes or No) (Figure 5). After statistical analysis, FAMD provided insight into relationships between the respective modalities of variables with each of the two selected factor axis Dim 1 (12.92%) and Dim 2 (8.73%). Furthermore, as can be seen in Figure 6, outputs of FAMD suggested significant association between respondents from Cluster 1 and “Will” = “No” (that is, with the unwillingness to adopt insect farming) in negative values of Dim 1.



**Figure 5.** FAMD graph of variables. Modalities of discretized quantitative variables are as follows: “Type\_Exp” (Novice, Fairly\_Exp, Exper, Very\_Exp); “Type\_W\_Day” (V\_Short, Short, Normal, V\_Long); “Type\_Dist” (Short, Fairly\_Long, Long; V\_Long); “Type\_Freq” (Casual, Fairly\_Reg, Regular, Very\_Reg); “Type\_Prod” (Small, Median, Big). For modalities of sociodemographics (“Age\_group”, “Educ”, “H-size”, “Status” and “Location”) see Table 2. “Ownership” is a qualitative variable indicating the status (Private, Familial) of the collection site. “Nb\_Sp\_Eaten” is a quantitative variable indicating the number of insect species consumed by the respondents. “Cluster” is used as a categorical variable based on PCA results (see Figure 2). “Will” is used as a Boolean variable corresponding to the willingness/unwillingness to adopt edible insect mass-farming.

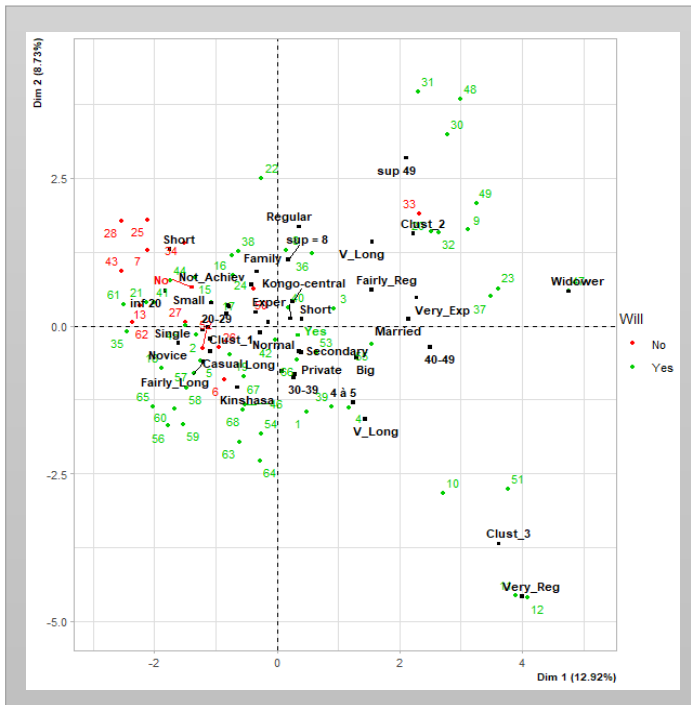


Figure 6. AFDM graph of individuals vs modalities of variables (reported in Figure 5)

#### 4. Discussion

The present study provides new insight into sociodemographic characteristics of Congolese edible insect farmers and their attitudes towards insect mass-breeding. In addition, it identified the main dimensions associated with the reasons (or motives) that supported their (un)willingness to adopt alternative solution to collection of *R. phoenicis* from the wild. Overall, respondents were willing to adopt insect mass-farming (78.57% in total) and supported their attitudes mainly by the need to increase knowledge and to overcome neophobia or skepticism (at 63.08%).

Surprisingly, few farmers reported potential economic, social and ecological proceeds associated with edible insect mass-farming in seminal literature, or concerns related to exclusive reliance on wild sources, anthropic pressure and biodiversity loss (Dickie *et al.*, 2019; Smetana *et al.*, 2021; Tanga *et al.*, 2021; Varelas, 2019). This finding suggests some important aspects related to edible insect mass-rearing that actions intended to support Congolese farmers in the adoption process of innovative techniques of entomoculture (that is, mass-production of edible insects) should particularly highlight.

Indeed, taking into account recent reports about significant regression of natural palms’ populations in some production areas of *R. phoenicis* in DRC (Nsevolo *et al.*, 2022a), as well as major environmental impacts due to intrusive techniques of harvest

from wild sources – with regard to current global concerns (Halloran *et al.*, 2018b; Pretezeille *et al.*, 2018), sensitization of Congolese farmers towards sustainability of entomophagy is of particular interest. It is within this context that the present study provided more general and constructive information about sociodemographic characteristics of insect farmers (as well as their profiles in relation with collection practices and semi-farming), in order to document the corpus of knowledge related to entomoculture, and to support the implementation process occurring in DRC (Halloran *et al.*, 2018a; Moula *et al.*, 2014; Nsevolo *et al.*, 2022a; Numbi Muya *et al.*, 2022).

In a point of fact, as illustrated in Figure 2, results of multivariate analysis endorsed that respondents could be grouped in three distinct clusters of farmers, based notably on their age and five other variables associated to semi-farming routine (*viz.* distance to travel, daily working time, weekly frequency, years of experience and daily yield). The first cluster comprehends the majority of farmers (*viz.* 67.64% of respondents) that are significantly younger than those of clusters 2 or 3 ( $F = 26.60$ ,  $p < 0.001$ ), novice (that is, relatively inexperienced) (Figure 3. A) and with significant low yields (Figure 3. F). Since they are also associated both with relatively short distances (to collection sites) (Figure 3. D), short daily working time (Figure 3. E) and to casual collection (Figure 3. C), this could probably explain significant association observed between farmers from this group with unwillingness to adopt mass-production of edible insects (Figure 6) – given that potential benefits of entomoculture are not clearly perceived.

Conversely, farmers grouped in clusters 2 and 3 (25.01% and 7.35% of respondents, respectively) are relatively older (cluster 2's farmers being more aged than those from cluster 3) (Figure 3. B). Moreover, farmers from cluster 2 are the most experienced (14 years on average) – this finding supporting both correlation between age and experience in semi-farming ( $R^2 = 0.30$ ,  $p < 0.001$ ), and early transmission of traditional ecological knowledge (Nsevolo *et al.*, 2022a) related to *R. phoenicis*' collection in the wild (likely from the age of 16 years, based on original dataset) (Table 2). Additionally, the study corroborated Gahukar (2016) as its results evidenced that farmers from those two clusters have to travel significant long distances away from their homes (*viz.* 11.56 Km, on average) in order to collect enough larvae (Figure 3. D).

However, these two clusters are discriminated based on positive association between the daily working time, weekly frequency and daily yield, since cluster 3's farmers reported significant higher frequency (3.80 days/week on average), working time (8.60 hours/day) and yields (11.00 kg on average, on a typical day basis) as compared to those from cluster 2 (Figure 3. A – F). This finding is of importance as it suggests that experience alone is not enough for high yields. Moreover, it might also explain, at least in part, positive association of farmers from these two clusters with willingness to adopt alternative to insect collection *in natura* (Figure 6) – and even

more, association with motives related to dimension Production (that is, “insect farming would shorten distances and ease collection activities”) (Figure 4. C).

Having that said, it is worth mentioning that the study also assessed the income earned by farmers in collecting *R. phoenicis*’ larvae from wild sources. Given that the country is still facing challenges related to food security and poverty (Voiculet and Pănoiu 2020; Von Grebmer *et al.*, 2019), farmers’ harvesting activities are likely helping in mitigating food and nutrition insecurity (since part of the harvest is usually intended for self-consumption), while providing relatively significant financial benefits (*viz.* 24.29 €/day, on average) – thus helping in lowering poverty. This finding lines with Gahukar (2016) who also mentioned significant per capita annual income from insect farming in Thailand (US \$5000 year<sup>-1</sup>).

Furthermore, the same author also mentioned that there is a need to improve and intensify traditional practices of edible insect-farming so that local farmers can subsist on it, not only for family livelihood but also for earning some income to afford other essentials for their livelihood. With regard to implementation prospects of entomoculture (in DRC) as alternative to collection in the wild, this finding suggests that the potential improvement of revenues and livelihood through edible insect mass-production should constitute a dimension (or aspect) to be pointed out clearly with Congolese insect farmers in order to enhance the adoption process of innovative techniques of mass-breeding.

## 5. Conclusions

Given the need to support Congolese insect farmers in the adoption process of alternatives to collection of *R. phoenicis* from wild sources, the study gave first insights into their profiles and highlighted their sociodemographic characteristics (in terms of age, marital status, family household size or education), in relation with insect-farming activities (in terms of weekly frequency, working time, distance up to collection sites, seniority, daily yields) and income (24.29 €/day, on average). Moreover, the study evidenced three clusters based on these characteristics, and further reported that cluster 1’s farmers (that is, 67.64% of respondents) are significantly associated to unwillingness to adopt mass-production of edible insects (likely because they do not clearly perceive the potential economic, environmental and social proceeds of entomoculture). Conversely, the study reported that farmers from the two other clusters were significantly associated with willingness to adopt edible insect mass-farming; this attitude being both supported by distance to collection sites, daily working time and weekly frequency higher (on average) than in cluster 1, and reflected by their underlying motivations for entomoculture associated to dimension Production. Hence, the study paves the way for further characterization of edible insect farmers in DRC, and highlights some important aspects that programs or actions intended to support Congolese edible insect farmers in the adoption process (and implementation) of innovative techniques of edible insects’ mass-production should consider.





# VI

---

Discussion générale,  
perspectives et  
conclusions



## 1. Discussion et perspectives

Avec la crise sanitaire mondiale provoquée par l'émergence de la COVID-19, les défis alimentaires préexistants (et déjà complexes) se sont aggravés – la pandémie ayant perturbé les systèmes alimentaires au sein de nombreux pays. C'est ce que rapportent notamment le Programme des Nations unies pour le développement (UNDP, 2020) et l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO *et al.*, 2022). Cette dernière organisation a par conséquent invité les Etats à renforcer leur système alimentaire local et à écourter les chaînes d'approvisionnement alimentaire en puisant dans des solutions locales bien intégrées (FAO, 2020a; 2020b; 2020c). Les modèles conventionnels de production ayant montré leurs limites, les regards se tournent vers des solutions alternatives et durables afin de répondre à la demande en nutriments. La présente recherche doctorale a ainsi exploré l'offre alimentaire pertinente que constituent les insectes comestibles - ces invertébrés étant à ce jour mondialement reconnus comme sources de nutriments, et comme alternative prometteuse et durable en comparaison à la production conventionnelle de viande (van Huis *et al.*, 2013).

En effet, ces représentants d'arthropodes font figure de candidat sérieux pour accroître la diversité dans le système alimentaire et améliorer sa résilience (Doi *et al.*, 2021; FAO, 2020b). A ce titre, ils représentent une biomasse vers laquelle devront certainement se diriger les regards pour la résolution des défis alimentaires collectifs dans des pays comme la République Démocratique du Congo (RDC) où leur consommation est bien intégrée (Latham *et al.*, 2021; Malaisse, 1997; Mapunzu, 2004; Nsevolo *et al.*, 2016; Nsevolo *et al.*, 2022c). Dans cette perspective, la présente recherche a mis en évidence un certain nombre de forces et de faiblesses dans la filière des insectes comestibles qui mériteraient d'être considérées plus attentivement.

- **Comme forces** : (i) des pratiques entomophages bien intégrées (77% de consommateurs) dans un contexte culturel marqué par des interactions intimes avec les insectes comestibles et vieilles de plusieurs décennies ; (ii) une importante biodiversité entomologique (plus de 148 espèces d'insectes comestibles), sans compter les ethno-espèces qui restent encore à identifier ; (iii) une abondante biodiversité végétale (plus de 122 espèces de plantes hôtes pour les 38 espèces d'insectes sélectionnées) inhérente au Bassin du Congo et à la position du pays sur l'équateur ; (iv) à l'échelle nationale, une image rayonnante des insectes comestibles comme aliments sains et inoffensifs, au-delà des seules motivations culturelles ou de celles liées à la nécessité; (v) la position du pays au centre de l'Afrique – position géostratégique qui lui confère 9 autres pays voisins avec lequel le commerce transfrontalier d'insectes comestibles peut davantage se développer, (vii) une importante diaspora (très attachée à l'héritage culturel) qui constitue des exportations annuelles de l'ordre de plusieurs tonnes d'insectes par an; (viii) des teneurs en protéines et AAs significatives pour les espèces majeures d'insectes commercialisés localement permettant ainsi de soutenir la sécurité

alimentaire ; (ix) des conditions écologiques favorables au développement d'une véritable zootechnie d'insectes comestibles afin d'assurer une offre permanente d'un certain nombre d'espèces - dont *R. phoenicis*.

- **Comme faiblesses** : (i) une culture relativement liée à l'oralité - les savoirs écologiques (TEK) peu documentés s'érodent. De plus, la diversité linguistique est à l'origine de plusieurs centaines d'ethno-espèces dont l'identification systématique (sur base de la nomenclature Linnéenne) devient sources de confusions; (ii) une filière toujours dans son enfance et dominée par l'informel, laissant libre cours à une variété d'unités de vente non standardisées; (iii) l'absence de réglementations (obligations sur l'étiquetage des produits alimentaires, sur les BPs, sur la traçabilité) dans la chaîne de valeur des insectes comestibles ; (iv) un contexte économique pénible rendant difficile d'envisager (à court ou moyen termes) le déploiement de certaines stratégies de conservation (chaîne du froid par exemple) et/ou l'implémentation de certaines mesures de suivi et de contrôle (en s'inspirant par exemple du HACCP); (v) des méthodes de transformation (conditionnement) toujours traditionnelles, et faiblement caractérisées – laissant ainsi subsister des interrogations quant au profil nutritionnel d'un certain nombre d'insectes transformés; (vi) des freins culturels forts face aux insectes issus d'élevage en masse - offre alimentaire non familière en RDC.

Ce diagnostic posé, les stratégies d'avenir afin de booster (ou redynamiser) le secteur des insectes comestibles, à court ou moyen termes, se doivent d'être de nature multisectorielle, tout en impliquant toutes les parties prenantes dans la chaîne de valeur des insectes comestibles (**Schéma 1**). Les approches seront également pluridisciplinaires - la recherche impliquant des domaines aussi variés que l'entomologie, la biologie, la sociologie, la génétique, la taxonomie, la statistique, l'ethnolinguistique, l'économie rurale, le droit, le marketing et l'entrepreneuriat. Pour ce faire, la présente recherche doctorale signale quelques dimensions qui mériteraient d'être considérées en priorité, notamment :

### **1.1. Dimension Produit - l'insecte, spéculation dans le commerce**

En tant que produits alimentaires, les insectes comestibles sont appelés à répondre aux exigences imposées à tout autre produit disponible sur les marchés. Pour ce faire, certains aspects relatifs notamment à la transformation, au conditionnement, à l'étiquetage et à la traçabilité devront être examinés attentivement. S'agissant particulièrement des techniques traditionnelles de transformation (conditionnement) mises en évidence dans ce travail (*cf.* Chapitre III.1.1.7), les rapports disponibles dans la littérature internationale signalent qu'elles affectent à la fois la qualité nutritionnelle des insectes et leur digestibilité. C'est ce que rapportent notamment

Mutungi *et al.* (2019) dans leur synthèse au sujet des effets des traitements post-production sur la valeur nutritionnelle des insectes consommés en Afrique.

A ce sujet, ces auteurs signalent par exemple que l'ébouillantage diminue la teneur en cendres et en protéines brutes, ainsi que la véritable digestibilité *in vitro* de la matière sèche de la chenille mopane (*I. belina*), pendant que le fumage de *R. phoenicis* et *O. monoceros* diminue le taux de lipides (de 9 et 19% respectivement). De même, s'agissant des criquets (*Anacridium sp.*) commercialisés sur les marchés locaux de Khartoum (Soudan), les insectes bouillis, frits ou séchés présentaient une faible digestibilité – les insectes frits présentant une digestibilité inférieure à celle des insectes bouillis (Mutungi *et al.*, 2019). En outre, la transformation affecte également les propriétés fonctionnelles de la farine à base d'insectes comestibles. En tant qu'ingrédients intervenant dans la formulation de certains aliments en RDC (biscuits et bouillies pour enfants mal-nourris ou pour femmes enceintes), ces aspects mériteraient également d'être caractérisés rigoureusement – certaines techniques pouvant ne pas convenir à la formulation de produits nécessitant une viscosité élevée (Mutungi *et al.*, 2019).

Par ailleurs, certaines techniques de transformation qui sont très courantes en RDC (cf. Chapitres III.1.7.3 et III.2.3.1) soulèvent des préoccupations sanitaires, puisque pouvant favoriser le développement de microorganismes mycotoxinogènes. En effet, au Botswana par exemple, la prolifération de moisissures et de certains membres des genres *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* et *Cladosporium* notamment a été signalée sur des échantillons de chenilles (*I. belina*) séchés au soleil (Mutungi *et al.*, 2019). Ce type de rapport invite à une meilleure caractérisation des contaminants microbiens des insectes commercialisés en RDC et à une sensibilisation des intervenants dans la filière des insectes comestibles au sujet des BPs (d'hygiène, de production, de transformation) afin de minimiser les risques sanitaires pour le consommateur final.

La caractérisation des effets des méthodes traditionnelles de transformation sur les populations de micro-organismes présents sur (ou dans) les insectes commercialisés en RDC permettra également de mettre en valeur celles qui peuvent garantir la qualité sanitaire des produits proposés à la consommation. La recherche dans cette problématique peu documentée en RDC a été significativement enrichie par Caparros *et al.* (2017) notamment. En effet, en comparant des échantillons transformés et non transformés, ces auteurs ont mis en lumière les méthodes de transformation qui réduisent significativement les contaminations microbiennes sur quelques espèces d'insectes comestibles provenant de la RDC (dont *C. forda* et *Imbrasia spp.*) et commercialisées en Belgique. La recherche au niveau national peut donc s'inspirer de ces résultats afin d'atteindre les communautés locales, et investiguer (et valoriser) avec elles les méthodes traditionnelles associées à une faible probabilité de contaminations microbiennes.

La présente recherche doctorale a également mis en évidence une problématique peu documentée, en rapport avec les insectes produits en condition d'élevage de masse - offre alimentaire non familière en RDC (*cf.* Chapitre V.1.3.3.2). En effet, s'agissant des dispositions quant à l'adoption des produits d'élevage en masse, certains répondants mettent en avant les qualités organoleptiques du produit final (saveur, couleur, odeur) ou son aspect visuel en comparaison à des produits "naturels" (familiers). Cet état de choses apporte des préoccupations supplémentaires quant à l'effet des traitements (c.à.d. les techniques de transformation traditionnelles) sur les qualités organoleptiques des insectes proposés à la consommation sur le territoire national.

Ces considérations mettent également en évidence un segment de consommateurs pour lesquels cette dimension est déterminante. Elles appellent ainsi *(i)* à enrichir la documentation sur les qualités organoleptiques des insectes suivant les techniques de transformation qui leur sont appliqués, *(ii)* à investiguer la problématique des marqueurs gustatifs courants en RDC qui peuvent améliorer l'acceptabilité des produits à base d'insectes (en particulier chez les consommateurs jeunes), *(iii)* à former des panels d'experts (ou de consommateurs) sur les descripteurs spécifiques aux insectes en tant qu'aliment afin de pouvoir implémenter avec eux des tests sur ces aspects précis. De telles analyses sensorielles avec des consommateurs représentatifs de tous les segments de la population peuvent efficacement aider à standardiser les produits, à rencontrer les attentes pour certains saveurs, et *in fine* à améliorer l'acceptabilité des produits à base d'insectes comestibles.

Pour favoriser l'adoption des insectes comestibles en général (et des insectes issus d'élevage en masse en particulier), des innovations en termes de formulations ou de présentation peuvent aussi être testées. C'est notamment le cas pour les espèces comme *A. domesticus* (Gryllidae) dont la consommation est inhabituelle au niveau national – l'espèce étant réservée à des usages thérapeutiques. Pourtant, en comparaison à *B. membranaceus* (Gryllidae) dont l'élevage reste relativement complexe en RDC (Halloran *et al.*, 2018), *A. domesticus* présente des perspectives prometteuses - les résultats préliminaires des essais d'élevage indiquant que l'espèce tolère des densités élevées (tout en présentant des cycles plus courts que *B. membranaceus*).

Il appert ainsi qu'au sujet des insectes comestibles, le corpus de connaissances sur cette dimension Produit (spéculation) reste encore très peu documentée en RDC. Aussi, la recherche à ce sujet devra être menée dans un certain nombre de directions s'inspirant des rapports disponibles dans d'autres pays d'Afrique avec lesquelles la RDC partage des pratiques entomophages comparables. Il s'agira par exemple de réglementer le secteur et d'imposer progressivement un certain nombre de mesures afin d'inciter à l'étiquetage correct des produits (origine, substrats de production, date/période de récolte, composition proximale). En effet, ces informations sont

importantes non seulement pour aider à la traçabilité des produits, mais également afin de communiquer la valeur des insectes (ou des produits à base d'insectes) comestibles aux clients, et susciter leur curiosité/intérêt pour certaines recettes ou régimes à base d'insectes qui pourraient leur être proposés.

Un aspect important que l'étiquetage devrait également aborder est en rapport avec la présence de potentiels allergènes dans les espèces d'insectes commercialisées et dans les formulations à base d'insectes comestibles proposées à la consommation en RDC. En effet, même si les données actuellement disponibles suggèrent que les réactions allergiques provoquées par les insectes sont relativement rares en RDC (1,2 % de répondants) (*cf.* Chapitre III.1.1.5) ; le risque allergique mérite valablement d'être pris en compte dans les stratégies de promotion des insectes comestibles au niveau national, et minimisé par une bonne information sur la présence de potentiels allergènes.

Cette préoccupation sanitaire ouvre un pan relativement peu documenté (au niveau international) dans la recherche au sujet des insectes comestibles. Pour le cas des pays où la consommation de représentants d'arthropodes (crustacés, fruits de mer) est bien intégrée, les allergènes globalement rapportés comprennent la tropomyosine, l'arginine kinase et l'alpha amylase (Francis *et al.*, 2019). Ces allergènes interviennent également dans la réactivité croisée après ingestion (ou inhalation de substances volatiles) d'insectes. Pour le cas spécifique de la RDC, de nombreuses interrogations se posent encore sur la fréquence de ce type d'allergies – les crustacés et autres fruits de mer étant relativement réservés à un marché de niche. De même, puisque les pratiques entomophages sont acquises depuis l'enfance - les insectes étant bien intégrés dans les repas traditionnels au sein des familles et dans différentes formulations (bouillies, farines) données aux nourrissons et aux enfants en bas âge, des mécanismes de tolérance orale pourraient être impliqués (Apoil, 2013). De telles préoccupations (et d'autres encore relatives à la santé du consommateur final) constituent des axes importants que la recherche en RDC devrait davantage explorer.

## **1.2. Dimension Production – l'insecte, produit d'élevage**

L'état des lieux dressé à l'issue de la présente étude a mis à jour une importante biodiversité entomologique associée à une abondante biodiversité végétale au niveau national – faits qui encouragent les perspectives de domestication et de réintroduction de certaines espèces d'insectes comestibles dans certaines zones du pays. Ce type de démarche est par ailleurs déjà implémenté notamment par l'Armée du Salut à l'ouest du pays (Province du Kongo-Central) pour certaines espèces de Lépidoptères (dont *S. ricini*). Des pré-tests ont également été réalisés par la FAO et par le CAVTK particulièrement pour *B. membranaceus* et pour *R. phoenicis* (Halloran *et al.*, 2018; Moula *et al.*, 2014). Cependant, au-delà la phase expérimentale, des zones d'ombre ont subsisté au sujet des dispositions des intervenants dans la filière des insectes

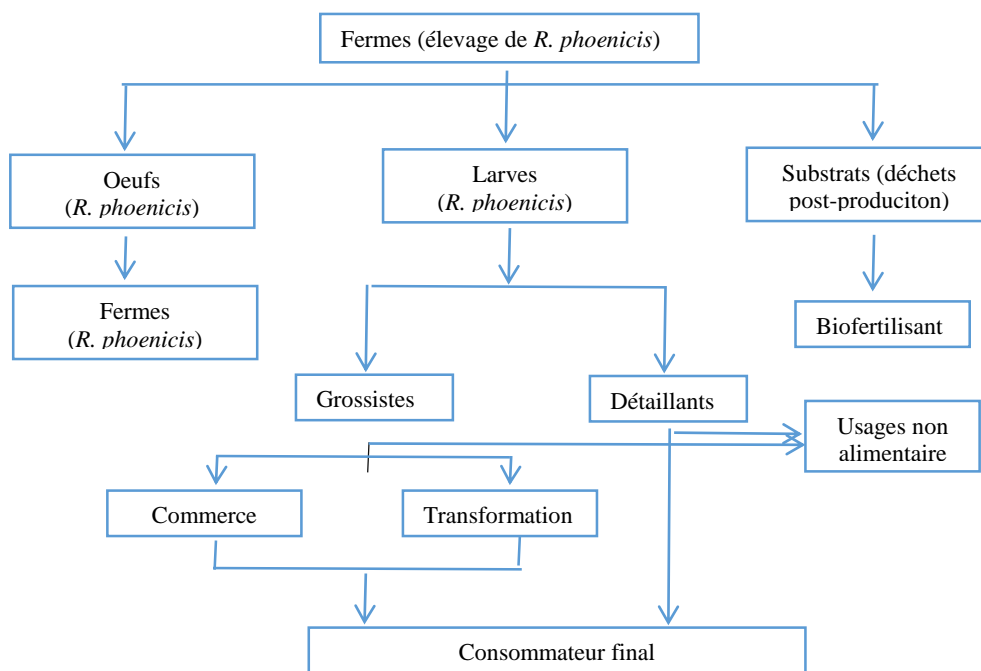
comestibles à l'endroit des insectes issus d'élevage en masse. La présente étude apporte un peu d'éclairage sur cette problématique.

En effet, en documentant l'attitude des commerçants à l'endroit des produits d'élevage massif, l'étude a mis en lumière les freins et les leviers à l'adoption de cette offre alimentaire non familière par ces acteurs impliqués dans la filière des insectes comestibles en RDC. Aussi, pour accompagner ces intermédiaires majeurs de la chaîne d'approvisionnement en insectes comestibles, les stratégies à implémenter pourraient délibérément cibler les aspects liés au système de production, à la sécurité sanitaire associée au produit final et aux différentes possibilités de conditionnement (stockage) des produits. En effet, les préoccupations susmentionnées - majoritairement à la base des dispositions défavorables enregistrées chez les commerçants interrogés (*cf.* Chapitre V.1.3.2), peuvent être rencontrées dans un système d'élevage contextualisé à la RDC et optimisé (SECO) - respectueux d'un minimum de BPs suggérées par l'EFSA (EFSA, 2015).

Puisque les principales préoccupations sanitaires dans la production d'insectes à destination de l'alimentation humaine sont liées aux substrats d'élevage et à la main d'œuvre (EFSA, 2015), un SECO prendrait en compte les potentielles contaminations (micro)biologiques pour pouvoir les minimiser par des BPs, tout en valorisant les substrats (ou coproduits végétaux) localement disponibles (et à faible coût). De même, en comparaison à la récolte *in natura*, un SECO permettrait une collecte et un conditionnement plus aisés – la technique appropriée étant éventuellement développée. Par ailleurs, un tel système favoriserait également l'adoption de solutions alternatives de production par les fermiers puisque leurs principales motivations face aux insectes issus d'élevage en masse ont été associées au système de production (minimisation des distances à parcourir et de la charge de travail). Toutes ces perspectives ouvrent donc la voie à de multiples pistes de recherche qui permettraient de développer une véritable zootechnie d'insectes comestibles en RDC.

Une telle zootechnie est possible pour *R. phoenicis* - modèle d'insecte comestible dont la variabilité phénotypique a été documentée (Chapitre V.2). En effet, les pratiques traditionnelles de production de cette espèce très recherchée au niveau national impliquent généralement l'abattage de l'arbre hôte – pratique qui a été signalée comme induisant la régression des populations naturelles de palmiers dans certaines parties du pays (*Cf.* Chapitre III.1.6.2). En complétant la documentation des aspects zootechniques de *R. phoenicis*, mais aussi les caractéristiques des pratiques traditionnelles des semi-éleveurs impliqués et les dispositions des commerçants face aux produits d'élevage en masse, la présente recherche documente également les opportunités d'entrepreneuriat dans la chaîne de valeur de cette espèce d'intérêt économique (Schéma 1).





**Schéma 1.** Opportunités d'entrepreneuriat dans la chaîne de valeur de *R. phoenicis*.

A ce jour, la chaîne de valeur relative à *R. phoenicis* fait intervenir différents intervenants - de la "ferme" à l'assiette du consommateur final, et abouti sans plus-value au double du prix de départ (c.à.d. celui pratiqué par le producteur – 0,05 €/larve). Le développement d'une véritable zootechnie autour de cette espèce permettrait d'introduire de la valeur ajoutée, tout en créant de nouvelles opportunités (vente d'œufs ou d'adultes géniteurs par exemple) pour les producteurs de cet insecte (Schéma 1). En outre, les propriétés thermiques des extraits lipidiques des larves de *R. phoenicis* permettent d'envisager certaines applications industrielles et pharmaceutiques (Mba *et al.*, 2017; Ekpo *et al.*, 2009). Les déchets (résidus des substrats) d'élevage pourraient également être valorisés comme biofertilisants (solides ou liquides). Tous ces aspects considérés représentent de nouveaux marchés de niche qui peuvent offrir des opportunités de croissance à des entrepreneurs, comme rapporté par Durst & Hanboonsong (2015) en Thaïlande. Le développement de l'entomoculture de *R. phoenicis* en RDC représente ainsi une opportunité d'améliorer directement la sécurité alimentaire – par la consommation d'insectes, mais aussi de manière indirecte en augmentant le revenu des acteurs ruraux impliqués (leur permettant ainsi de se procurer une alimentation diversifiée).

Toutefois, puisque *R. phoenicis* est principalement vendu frais (rarement transformé), la susceptibilité des lipides à l'oxydation et au rancissement représente

un des principaux défis pour la conservation (conditionnement) de cet insecte lorsque la chaîne du froid ne peut pas être assurée. Ces aspects méritent d'être examinés attentivement dans la recherche afin d'augmenter la durée de conservation de cette espèce. Les actions dans ce sens peuvent s'inspirer de ce qui est rapporté en Thaïlande où des efforts notables ont été déployés pour améliorer la présentation des produits (étiquetage, emballage) mais également pour augmenter la durée de conservation des insectes vendus dans les zones urbaines (Durst & Hanboonsong, 2015).

Etant donné que le secteur des insectes comestibles en RDC est appelé à entrer dans une phase de maturation, la mise en place d'un cadre réglementaire pourrait servir d'amorce à une telle transition. Un tel cadre permettra d'orienter (et contraindre) les pratiques de production et de soutenir l'implémentation d'une véritable zootechnie autour des espèces d'intérêt économique. Il permettra également d'exploiter pleinement les potentialités d'un commerce transfrontalier, de supporter le secteur des insectes comestibles dans son ensemble, tout en offrant aux producteurs (et autres acteurs intervenants dans la chaîne de production) la possibilité d'accéder au crédit agricole ou de s'organiser en coopératives de producteurs d'insectes afin d'accéder à des incitants financiers. C'est ici l'occasion de plaider pour les travaux entrepris dans ce sens depuis quelques années (par les experts de la FAO et par certains chercheurs locaux) - et qui se trouvent encore à ce jour sur la table des décideurs politiques.

### **1.3. Dimension Marché – l'insecte, produit primaire dans une filière**

De l'arbre à l'assiette du consommateur final, différents acteurs interviennent habituellement pour la collecte, le conditionnement, le transport, le stockage, la vente (en gros ou au détail) ou la transformation des insectes comestibles sur le territoire national. Au regard des perspectives du développement du secteur des insectes comestibles en RDC, les défis spécifiquement associés à chaque maillon de la chaîne de valeur de ces invertébrés devront être davantage caractérisés et documentés afin d'orienter les interventions et stratégies à implémenter.

Pour les petits producteurs traditionnels notamment, l'état des lieux a mis en évidence des préoccupations liées à l'accès aux marchés et à l'accroissement des revenus de façon durable. Par conséquent, pour une insertion durable de ces acteurs traditionnels dans la filière des insectes comestibles, il peut être pertinent de leur proposer un appui technique (i) dans la gestion des risques environnementaux (biologiques, chimiques) (cf. Chapitre I.4), (ii) dans l'arbitrage des conflits communautaires (en rapport avec les activités de récolte) (cf. Chapitre III.1.6.1) et, (iii) dans la formalisation des partenariats entre producteurs – commerçants (afin de rencontrer les attentes des uns et des autres pour une augmentation des revenus).

Pour les transporteurs, l'acheminement de cette marchandise de nature périssable depuis des zones de collecte relativement éloignées vers les grandes villes (comme

Kinshasa) engendre des défis logistiques et des risques relativement importants. En effet, l'approvisionnement des marchés urbains constitue la principale cause des déconvenues signalées par ces intermédiaires – le voyage (par voie fluviale ou routière) pouvant durer plusieurs semaines et entraîner la dégradation du stock. Sous ce rapport, il peut être pertinent pour la recherche en RDC d'étudier la faisabilité de certaines techniques de conservation (semi-conservation, conditionnement sous vide, stérilisation, fermentation) et d'évaluer ensuite avec ces intervenants les stratégies réalistes - avec en aval, des débouchés concrets qui serviront de moteur à l'adoption des innovations (Camagni & Kherallah, 2014). Par ailleurs, l'étude ayant également mis en évidence – face aux insectes issus d'élevage en masse, des préoccupations associées à la dimension Ecologie (cf. Chapitre V.1.3.3), ces innovations pourraient s'appuyer sur des stratégies marketing (traditionnel, digital, ou de réseau) afin de valoriser des labels comme "Bio", "Naturel", ou "Produits du terroir" pour intéresser ce segment de consommateurs.

S'agissant des commerçants impliqués dans la filière et du système de commercialisation des insectes comestibles en RDC, la présente étude a documenté la problématique des unités traditionnelles de vente (cf. Chapitre III.1.8) – l'absence de réglementation formelle laissant libre cours à des unités locales non standardisées et à des prix différents pratiqués pour la même espèce. Cette situation qui explique en partie la difficulté de quantifier la biomasse récoltée à travers le pays, entretient également une opacité dans les transactions (pas de statistiques fiables sur les ventes) et dans l'information (pour le suivi des espèces et de leurs fluctuations saisonnières). C'est ici l'occasion de lancer un appel pour un service de métrologie (au niveau des communes par exemple), et de plaider pour la nécessité d'implémenter des contraintes sur l'utilisation d'instruments de mesure – ces préalables étant incontournables pour exploiter le potentiel de croissance de la filière des insectes comestibles et pour l'accompagner efficacement dans son processus de maturation.

#### **1.4. Autres dimensions – l'insecte, au cœur d'une recherche multidisciplinaire**

Le processus de maturation de la filière des insectes comestibles en RDC passera aussi par la documentation approfondie d'un certain nombre de préoccupations rémanentes en rapport notamment avec (i) la caractérisation (taxonomique, biologique, chimique) des espèces locales, (ii) les modalités pratiques pour l'intégration de la thématique de l'entomophagie dans le curricula de formation (des nutritionnistes, agronomes, forestiers, environnementalistes, agents de développement) et, (iii) les stratégies d'information (vulgarisation) sur cette abondante ressource biologique et de sa valorisation à l'échelle (inter)nationale.

En effet, s'agissant des aspects taxonomiques, le travail a signalé qu'une importante biodiversité entomologique reste méconnue – de nombreuses ethno-espèces comestibles étant encore à identifier (cf. Chapitre III.1.9). La recherche au niveau national pourrait à cet effet exploiter la science citoyenne afin de produire

des connaissances scientifiques sur ces ethno-espèces (avec l'aide des communautés locales, de contributeurs bénévoles), sans nécessiter de moyens coûteux ni de laboratoire (Nsevolo, 2016). Une telle approche collaborative permettrait également de rapprocher les acteurs non-scientifiques (amateurs passionnés d'insectes, non-professionnels) au monde de la recherche (professionnels, chercheurs) afin de créer des réseaux pouvant déboucher sur des innovations et/ou des activités de collaboration fructueuses (da Silva *et al.*, 2017).

La recherche relative à la caractérisation taxonomique des espèces locales pourrait aussi exploiter des outils moléculaires (DNA barcoding) (Hebert *et al.*, 2003) – et s'inspirer, par exemple, des travaux réalisés en Angola qui ont mis en lumière des espèces comestibles non encore documentées dans ce pays frontalier (Lautenschläger *et al.*, 2017b). Elle peut également s'orienter vers une approche morphométrique s'inspirant des travaux réalisés dans la présente étude sur des populations naturelles de *R. phoenicis* (cf. Chapitre IV.2.3.3). Le mérite associé à l'implémentation de ce type d'outil d'identification est la possibilité de mobiliser une collaboration à l'échelle (inter)nationale afin de générer des données de biodiversité (occurrences des espèces, noms vernaculaires, morphotypes, associations écologiques) accessibles à tous grâce à des plateformes en ligne, à l'exemple de la base de données implémentée par des universités locales avec le MRAC<sup>14</sup> et le GBIF<sup>15</sup> (Nsevolo & Theeten, 2015).

S'agissant des aspects chimiques, la recherche devra prendre en compte la nécessité de standardiser la méthodologie afin de contrôler les facteurs induisant la variation des résultats entre études (cf. Chapitre IV.1.4). En effet, cette préoccupation étayée par Payne *et al.* (2016b) et Rumpold & Schlüter (2013) a été l'occasion pour ces auteurs d'inviter (avec raison) à l'adoption de normes dans l'analyse nutritionnelle des insectes comestibles. Une telle standardisation légitimerait l'intégration des données générées sur ces invertébrés dans les tables de composition des aliments, et/ou dans les bases de données officielles (FAO, WHO) (INFOODS, 2019), au même titre que celles disponibles pour d'autres produits carnés. Toutefois, une telle démarche de standardisation se heurtera inévitablement à une grande complexité, au regard de l'abondance d'espèces à caractériser et de la diversité de facteurs de variation (origine des insectes, diètes ou substrats, stades biologiques, modalités de conditionnement, techniques d'analyse, facteurs de conversion) qu'il faudrait prendre en compte.

Aussi, sur certaines de ces questions, il sera probablement nécessaire d'harmoniser les points de vue et de dégager des consensus afin de faire avancer la problématique de la valeur nutritionnelle des espèces locales. C'est notamment le cas pour la teneur en protéines généralement calculée chez les insectes comestibles à partir de l'azote

---

<sup>14</sup> Musée royal de l'Afrique centrale - Tervuren - Belgique.

<sup>15</sup> Global Biodiversity Information Facility.

total en utilisant un facteur de conversion azote-protéine (Kp) de 6,25. Cependant, pour un certain nombre d'auteurs, ce Kp surestime la teneur en protéines en raison de la présence d'azote non protéique chez les insectes (Boulos *et al.*, 2020; Janssen *et al.*, 2017; Kim *et al.*, 2022). Ces auteurs suggèrent par conséquent de déterminer des Kp spécifiques aux espèces d'insectes comestibles. A cet effet, Janssen *et al.* (2017) notamment ont déterminé des Kp spécifiques ( $4,76 \pm 0,09$ ) pour les larves de deux espèces comestibles (*T. molitor* et *A. diaperinus*). La même démarche a également été répliquée par Boulos *et al.* (2020), auteurs qui proposent des Kp spécifiques (5,41 ; 5,25 et 5,33) pour *T. molitor*, *A. domesticus* et *L. migratoria* (respectivement).

Ces démarches scientifiques semblent toutefois relativement complexes à répliquer (à court terme) pour les nombreuses espèces d'insectes comestibles signalées en RDC (*cf.* Chapitre III.1.3). Aussi, face à la nature urgente des défis alimentaires et des préoccupations relatives à la sécurité nutritionnelle, la recherche sur le contenu protéique des espèces locales pourrait dans un premier temps s'inspirer de tels travaux afin de décider sur les facteurs de conversion (Kp) à adopter pour les espèces locales (taxonomiquement proches de celles dont les Kp spécifiques ont été déterminées). La recherche pourra ensuite – à moyen ou long termes, se pencher progressivement sur la problématique des facteurs de conversion spécifiques aux diverses espèces locales.

A côté de ces préoccupations (taxonomiques et chimiques) sur les espèces locales, la recherche devrait également se pencher sur la problématique relative à la gestion durable de la biodiversité entomologique (et végétale associée) (*cf.* Chapitre III.1.3). A cet effet, pour des perspectives de développement durable, il serait pertinent d'intégrer cette thématique dans le curricula de formation des acteurs (professionnels) impliqués sur les questions de biodiversité. En s'inspirant des approches multiperspectives proposées par l'UNESCO<sup>16</sup>, les modalités pratiques de cette intégration devront prendre en compte la nécessité d'une approche interdisciplinaire au regard de la complexité des questions liées à la durabilité de la biodiversité. Par ailleurs, pour que ces acteurs puissent opérer des choix éclairés et prendre des mesures visant à la soutenir, ils devront nécessairement être intéressés à cette biodiversité entomologique de manière concrète et pratique - afin qu'ils (*i*) en apprécient la valeur intrinsèque, (*ii*) en mesurent l'importance pour les communautés sur le territoire national qui en dépendent et, (*iii*) prennent conscience des menaces et de la nécessité de la préserver (Castro *et al.*, 2017, UNESCO, 2014).

---

<sup>16</sup> United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

## 2. Conclusions

La présente recherche a apporté un certain nombre d'informations en rapport avec les pratiques entomophages, les potentialités de l'entomoculture et les préoccupations relatives à la promotion de la filière des insectes comestibles en RDC. Le travail a mis en évidence une biodiversité entomologique importante associée à une large biodiversité végétale, permettant d'envisager (à moyen ou long termes), le développement d'une véritable zootechnie d'insectes comestibles. Les données rapportées dans ce travail mettent également en évidence la qualité nutritionnelle des insectes commercialisés sur les marchés locaux, tout en invitant à documenter davantage ces aspects, au regard de la contribution significative de ces invertébrés à l'atténuation des défis alimentaires collectifs.

De plus, face à l'épisode de crise sanitaire (COVID-19) que le pays a traversé, l'étude rapporte aussi la contribution des insectes comestibles à la résilience du système alimentaire local. En effet, alors que les restrictions de mouvement imposées au niveau national ont perturbé le système alimentaire local, les chaînes d'approvisionnement en insectes comestibles ont été maintenues grâce notamment aux marchés informels. Cet état de fait a rejoint l'invitation lancée aux Etats africains à explorer les ressources locales bien intégrées dans les habitudes de consommation, afin d'accroître la résilience des systèmes alimentaires aux chocs exogènes.

Par ailleurs, l'étude s'est inscrite également dans la problématique de l'acceptabilité des insectes produits en masse ou des solutions alternatives de production d'insectes comestibles. A cet effet, les dispositions (et motivations) des commerçants et des fermiers - deux groupes d'acteurs majeurs de la filière en RDC, ont été documentées et discutées. Ces données peuvent aider à déployer des stratégies adéquates, contextualisées à la RDC, afin d'accompagner ces acteurs dans le processus d'adoption des produits issus d'élevage en masse, et les encourager à surmonter des freins culturels forts. L'étude met ainsi en évidence les dimensions qui mériteraient d'être prioritaires et des actions concrètes qui peuvent être envisagées afin de promouvoir cette offre alimentaire non familière.

S'agissant des aspects zootechniques, l'étude a exploré la variabilité phénotypique de *R. phoenicis*. Les données rapportées complètent le corpus de connaissances entomologiques sur cette espèce tout en permettant de mieux comprendre la distribution de ses populations naturelles sur le territoire national. Ces informations pertinentes dans les perspectives de production massive de cet invertébré, ont été complétées par une typologie des fermiers impliqués dans sa production et par une caractérisation des activités traditionnelles de récolte.

La thèse apporte ainsi une masse d'informations convergeant particulièrement vers la valeur nutritionnelle, économique et culturelle des insectes comestibles en RDC. Elle invite aussi à poursuivre la réflexion sur de nouveaux débouchés pour ces invertébrés et sur les stratégies de gestion (conservation) de cette biodiversité, mais également à soutenir la filière par un cadre réglementaire spécifique afin d'inscrire les pratiques entomophages dans la durée.

### 3. Références

- Abdool Karim, S.S., Kelemu, S. & Baxter, C., 2021. COVID-19 in Africa: Catalyzing change for sustainable development. *PLoS Medicine* 18(11): 1-4.
- Aday, S. & Aday, M.S., 2020. Impact of COVID-19 on the food supply chain. *Food Quality and Safety* 4(4): 167-180. <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyaa024>
- Adegbeye, A.R.A., Bawa, M., Keith, R., Twefik, S., Tewfik, I., 2021. Edible Insects: Sustainable nutrient-rich foods to tackle food insecurity and malnutrition. *World Nutr.* 12, 176–189.
- Adenle, A.A., Azadi, H. & Manning, L., 2018. The era of sustainable agricultural development in Africa: understanding the benefits and constraints. *Food Reviews International* 34(5): 411-433. <https://doi.org/10.1080/87559129.2017.1300913>
- Adeoye, O.T., Alebiosu, B.I., Akinyemi, O.D. & Adeniran, O.A., 2014. Socio-economic analysis of forest edible insect species consumed and its role in the livelihood of people in Lagos State. *Journal of Food Studies* 3(1): 103-120. <https://doi.org/10.5296/jfs.v3i1.6026>
- Adepoju, O.T., 2020. Nutrient composition of termites. In: *African edible insects as alternative source of food, oil, protein and bioactive components* (pp. 281-291). Springer, Cham.
- Adepoju, O.T. & Ayenitaju, A.O., 2021. Assessment of acceptability and nutrient content of palm weevil (*Rhyncophorus phoenicis*) larvae enriched complementary foods. *International Journal of Tropical Insect Science*, 41(3), 2263-2276.
- Akande, K.E., Doma, U.D., Agu, H.O. & Adamu, H.M., 2010. Major antinutrients found in plant protein sources: their effect on nutrition. *Pakistan Journal of Nutrition*, 9(8), 827-832.
- Akinnawo, O. & Ketiku, A.O., 2000. Chemical composition and fatty acid profile of edible larva of *Cirina forda* (Westwood). *Afr. J. Biomed. Res.*, 3, 93–96.
- 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. <https://doi.org/10.3920/JIFF2016.0033>
- Alamu, O.T., Amao, A.O., Nwokedi, C.I., Oke, O.A. & Lawa, I.O., 2013. Diversity and nutritional status of edible insects in Nigeria: a review. *International Journal of Biodiversity and Conservation* 5(4): 215-222. <https://doi.org/10.5897/IJBC12.121>
- Alemu, M.H., Olsen, S.B., Vedel, S.E., Pambo, K.O. & Owino, V.O., 2015. Consumer acceptance and willingness to pay for edible insects as food in Kenya: the case of white winged termites. IFRO working paper no. 205/10. Department of Food and Resource Economics, University of Copenhagen, Denmark. <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/204390/1/ifro-wp-2015-10.pdf>
- Aliabadi, A., Renwick, J.A. & Whitman, D., 2002. Sequestration of glucosinolates by harlequin bug *Murgantia histrionica*. *Journal of Chemical Ecology*, 28, 1749–1762.
- Amisi, M.F., Héritier, U.S., Paul, M., Georges, A.L., Innocent, B.K. & Pascal, I.M., 2013. Valorisation de la chenille comestible *Bunaeopsis aurantiaca* dans la gestion communautaire des forêts du Sud-Kivu (République Démocratique du Congo). *Vertigo - La Revue Electronique en Sciences de l'Environnement*, (Hors-série 17). <https://doi.org/10.4000/vertigo.13929>
- Anankware, J.P., Osekre, E.A., Obeng-Ofori, D. & Khamala, C.M., 2016. Identification and classification of common edible insects in Ghana. *International Journal of Entomology Research* 1(5): 33-39. <http://www.entomologyjournals.com/archives/2016/vol1/issue5/1-5-19>

- Anankware, J.P., Roberts, B.J., Cheseto, X., Osuga, I., Savolainen, V. & Collins, C.M., 2021. The Nutritional Profiles of Five Important Edible Insect Species From West Africa—An Analytical and Literature Synthesis. *Frontiers in nutrition*, 8.
- Andersen, S.O., 2000. Studies on proteins in post-ecdysial nymphal cuticle of locust, *Locusta migratoria*, and cockroach, *Blaberus craniifer*. *Insect Biochem. Mol. Biol.* 30: 569–577.
- A.O.A.C., 2005. Official Methods of Analysis of AOAC International, 18th ed.; Method 968.06 and 992.15; The Association of Official Analytical Chemists (AOAC International): Gaithersburg, MD, USA.
- Apoil, P.A., 2013. Bases immunologiques de la tolérance orale. *Revue Française d'Allergologie*, 53(3), 239-242.
- Ardoin R. & Prinyawiwatkul W., 2020. Product appropriateness, willingness to try and perceived risks of foods containing insect protein powder: A survey of US consumers. *International Journal of Food Science & Technology*, 55(9): 3215-3226.
- Arisseto-Bragotto, A.P., Feltes, M.M.C. & Block, J.M., 2017. Food quality and safety progress in the Brazilian food and beverage industry: chemical hazards. *Food Quality and Safety*, 1(2), 117-129.
- Ashiru, M.O., 1989. The food value of the larvae of *Anaphe venata* Butler (Lepidoptera, Notodontidae). *Ecol. Food Nutr.*, 22, 313–320.
- Ayieko, M.A., Kinyuru, J.N., Ndong'a, M.F. & Kenji, G.M., 2012. Nutritional value and consumption of black insects (*Carebara vidua* Smith) from the Lake Victoria Region in Kenya. *Advance Food Science and Technology* 4(1): 39-45. <https://maxwellsci.com/print/ajfst/v4-39-45.pdf>
- Ayuso, R., Reese, G., Leong-Kee, S., Plante, M. & Lehrer, S.B., 2002. Molecular basis of arthropod cross-reactivity: IgE-binding cross-reactive epitopes of shrimp, house dust mite and cockroach tropomyosins. *Int. Arch. Allergy Imm.* 129, 38–48.
- Babarinde, S.A., Mvumi, B.M., Babarinde, G.O., Manditsera, F.A., Akande, T.O. & Adepoju, A.A., 2021. Insects in food and feed systems in sub-Saharan Africa: the untapped potentials. *International Journal of Tropical Insect Science* 41(3): 1923-1951. <https://doi.org/10.1007/s42690-020-00305-6>
- Badanaro, F., Amevoin, K., Lamboni, C. & Amouzou, K.S., 2014. Edible *Cirina forda* (Westwood, 1849) (Lepidoptera: Saturniidae) caterpillar among Moba people of the Savannah Region in North Togo: from collector to consumer. *Asian Journal of Applied Science and Engineering* 3(8): 13-24.
- Baiano, A., 2020. Edible insects: an overview on nutritional characteristics, safety, farming, production technologies, regulatory framework and socio-economic and ethical implications. *Trends in Food Science & Technology* 100: 35–50. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.040>
- Bailey, W.J. & McCrae, A.W.R., 1978. The general biology and phenology of swarming in the East African tettigoniid *Ruspolia differens* (Serville) (Orthoptera). *Journal of Natural History* 12(3): 259-288. <https://doi.org/10.1080/00222937800770151>
- Bakondongama, B.J., Danakibo, W.M., Juakaly, M.J.L. & Malaisse, F., 2016. Biodiversité et abondance des termites dans la réserve forestière de Yoko (Kisangani, République Démocratique du Congo). *Geo-Eco-Trop: Revue Internationale de Géologie, de Géographie et d'Écologie Tropicales* 40(2): 133-144. [http://www.geoecotrop.be/uploads/publications/pub\\_402\\_04.pdf](http://www.geoecotrop.be/uploads/publications/pub_402_04.pdf)



- Bakondongama, B.J., Mubenga, K., Mondivudri, A., Ngabu, C., Mpiana, P.T., Kosele, K. & Juakaly, M., 2017. *Zonocerus variegatus* (Linné 1758, Orthoptera: Pyrgomorphidae) et ses parasitoïdes (Hyménoptères) dans la ville de Kisangani, RDC [*Zonocerus variegatus* (Linné 1758, Orthoptera: Pyrgomorphidae) and its parasitoids (Hymenopterous) in Kisangani city, DRC]. International Journal of Innovation and Scientific Research 32(1): 64-74.
- Balinga, M., Monzambe M.P., Moussa, J.B. & N'gasse, G. (eds), 2004. Contribution des insectes de la forêt à la sécurité alimentaire. L'exemple des chenilles d'Afrique centrale. FAO, Rome. Italy. Available at: <https://www.fao.org/3/j3463f/j3463f.pdf>
- Banjo, A.D., Lawal, O.A. & Songonuga, E.A., 2006. The nutritional value of fourteen species of edible insects in southwestern Nigeria. African Journal of Biotechnology 5(3): 298-301. <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/137791/127354>
- Banjo, A., Lawal, O., Fasunwon, B. & Alimi, G., 2010. Alkali and heavy metal contaminants of some selected edible arthropods in south western Nigeria. American Eurasian Journal of Toxicological Sciences, 2, 25-29.
- Barker, D., Fitzpatrick, M.P. & Dierenfeld, E.S., 1998. Nutrient composition of selected whole invertebrates. Zoo Biol. 17, 123-134.
- Bawa, M., Songsermpong, S., Kaewtapee, C., Chanput, W., 2020. Nutritional, sensory, and texture quality of bread and cookie enriched with house cricket (*Acheta domesticus*) powder. J. Food Process. Preserv. 44, e14601.
- Belluco, S., Losasso, C., Maggioletti, M., Alonzi, C.C., Paoletti, M.G. & Ricci, A., 2013. Edible insects in a food safety and nutritional perspective: a critical review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety 12(3): 296-313. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12014>
- Belluco, S., Mantovani, A. & Ricci, A., 2018. Edible insects in a food safety perspective. In: Halloran, A., Flore, R., Vantomme, P. and Roos, N. (eds.) Edible insects in sustainable food systems. Cham: Springer, pp. 109-126. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-74011-9\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-74011-9_7)
- Benoit M., Dumont B., Barbieri P. & Nesme T., 2020. Une agriculture durable pour nourrir la planète : l'élevage au cœur du débat. Innovations Agronomiques, 80: 23-32.
- Bessa, L.W., Pieterse, E., Sigge, G. & Hoffman, L.C., 2020. Insects as human food; from farm to fork. Journal of the Science of Food and Agriculture 100(14): 5017-5022. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8860>
- BfR (German Federal Institute for Risk Assessment), NRL-AP (National Reference Laboratory for Animal protein in Feed), Garino, C., Zagon, J. & Braeuning, A., 2019. Insects in food and feed—allergenicity risk assessment and analytical detection. EFSA journal, 17, e170907. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2019.e170907>
- Bloomberg, 2022. The COVID resilience ranking: the best and worst places to be as COVID Flare-ups break records. Retrieved from <https://www.bloomberg.com/graphics/covid-resilience-ranking/> (Accessed May 6, 2022).
- Bocquet, E., Maniacky, J., Vermeulen, C. & Malaisse, F., 2020. A propos de quelques chenilles consommées par les Mongo en Province de l'Équateur (République Démocratique du Congo). Geo-Eco-Trop: Revue Internationale de Géologie, de Géographie et d'Écologie Tropicales 44(1): 109-130. [http://www.geoecotrop.be/uploads/publications/pub\\_441\\_06.pdf](http://www.geoecotrop.be/uploads/publications/pub_441_06.pdf)
- Bomolo O., Niassy S., Chocha A., Longanza B., Bugeme D.M., Ekesi S. & Tanga C.M., 2017. Ecological diversity of edible insects and their potential contribution to household food security in Haut-Katanga Province, Democratic Republic of Congo. African Journal of Ecology, 55(4): 640-653. <https://doi.org/10.1111/aje.12400>

- Borsellino, V., Kaliji, S.A. & Schimmenti, E., 2020. COVID-19 drives consumer behaviour and agro-food markets towards healthier and more sustainable patterns. *Sustainability* 12(20): 8366. <https://doi.org/10.3390/su12208366>
- Boulos, S., Tännler, A., & Nyström, L., 2020. Nitrogen-to-Protein Conversion Factors for Edible Insects on the Swiss Market: *T. molitor*, *A. domesticus*, and *L. migratoria*. *Frontiers in nutrition*, 7, 89. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.00089>
- Bourgogne, J., 1955. Révision des espèces africaines du genre *Eumeta* Walker (*Clania auct.*) (Lepidoptera: Psychidae). *Transactions of the Royal Entomological Society of London* 107(1-14): 125-138. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.1955.tb00468.x>
- Braide, W. & Nwaoguikpe, R.N., 2010. Microbiological and nutritional status of an edible caterpillar (*Rhynchophorus phoenicis*). *Current trends in microbiology*, Volume 6, 61-68.
- Brown, W.V., Doyen, J.T., Moore, B.P. & Lawrence, J.F., 1992. Chemical composition and taxonomic significance of defensive secretions of some Australian tenebrionidae (Coleoptera). *Australian Journal of Entomology*, 31, 79–89.
- Bruneau, J.C., 2009. Les nouvelles provinces de la République Démocratique du Congo: construction territoriale et ethnicités. *L'Espace Politique. Revue en ligne de Géographie Politique et de Géopolitique* (7): 0-15. <https://doi.org/10.4000/espacepolitique.1296>
- Buholzer, H.B., 1978. An application of the linear discriminant function and a multivariate analysis to caddis larvae taxonomy. In *Proceedings of the 2nd International Symposium on Trichoptera* (pp. 149-153). Springer, Dordrecht.
- Bukkens, S.G., 1997. The nutritional value of edible insects. *Ecol. Food Nutr.* 36, 287–319.
- Burgat, F. & Dantzer, R., 1997. Une nouvelle préoccupation: le bien-être animal. *Le Manger et l'Animal Autrement*, 69-86.
- Cabrera P., Hénault-Ethier L. & Lefebvre B., 2015. Des élevages d'insectes comestibles en ville ? *Antennae*, 23(1): 3-6.
- Camagni, M. & Kherallah, M., 2015. Projets de développement des filières agricoles : Note pratique. *International Fund for Agricultural Development (FIDA)*, pp. 2 – 14.
- Camenzuli, L., Van Dam, R., de Rijk, T., Andriessen, R., Van Schelt, J. & der Fels-Klerx, V., 2018. Tolerance and Excretion of the Mycotoxins Aflatoxin B1, Zearalenone, Deoxynivalenol, and Ochratoxin A by *Alphitobius diaperinus* and *Hermetia illucens* from Contaminated Substrates. *Toxins*, 10, 91. <https://doi.org/10.3390/toxins10020091>
- Caparros Megido, R., Sablon, L., Geuens, M., Brostaux, Y., Alabi, T., Blecker C. & Francis, F., 2014. Edible insects' acceptance by Belgian consumers: promising attitude for entomophagy development. *Journal of Sensory Studies*, 29(1): 14-20.
- 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. In *Annales de la Société entomologique de France (NS)* (Vol. 51, No. 3, pp. 215-258). Taylor & Francis.
- Caparros Megido, R., Gierts, C., Blecker, C., Brostaux, Y., Haubruge, É., Alabi, T. & Francis, F., 2016. Consumer acceptance of insect-based alternative meat products in Western countries. *Food quality and preference*, 52: 237-243
- Caparros Megido, R., Desmedt, S., Blecker, C., Béra, F., Haubruge, É., Alabi, T. & Francis, F., 2017. Microbiological load of edible insects found in Belgium. *Insects* 8(1): 12. <https://doi.org/10.3390/insects8010012>
- Cappelli, A., Cini, E., Lorini, C., Oliva, N. & Bonaccorsi, G., 2020. Insects as food: a review on risks assessments of Tenebrionidae and Gryllidae in relation to a first machines and plants development. *Food Control* 108: 106877. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106877>

- Casa, J. & Simpson, S.J., 2010. *Advances in Insect Physiology, Insect integument et colour*. Academic Press, Elsevier, 32 Jamestown Road, London NW1 7BY, UK.
- Castro, P., Azeiteiro, U.M., Bacelar-Nicolau, P., Leal Filho, W. & Azul, A.M. (Eds.), 2016. *Biodiversity and Education for Sustainable Development*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-32318-3>
- Césard, N., Deturche, J. & Erikson, P., 2003. L'utilisation des insectes dans les pratiques médicinales et rituelles d'Amazonie indigène - Insects in medicinal and ritual practices in the Indigenous Amazon. Elisabeth Motte-Florac, Jacqueline M.C. Thomas. *Les Insectes dans la tradition orale – Insects in oral literature and traditions*, Peeters-SELAF (Ethnoscience), pp.395-406, 2003. (halshs-00347153)
- Césard, N., 2016. Notes sur l'automédication à base de fourmilions en Indonésie, ou l'entomothérapie à l'ère des médias numériques. Elisabeth Motte-Florac; Philippe Le Gall. *Savoureux insectes. De l'aliment traditionnel à l'innovation gastronomique*, Presses Universitaires de Rennes, pp.197-206, Collection Tables des hommes. hal-02546439
- Chakravorty, J., Ghosh, S. & Meyer-Rochow, V.B., 2011. Practices of entomophagy and entomotherapy by members of the Nyishi and Galo tribes, two ethnic groups of the state of Arunachal Pradesh (North-East India). *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 7(1): 1-14. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-7-5>
- Chakravorty, J., Ghosh, S., Megu, K., Jung, C. & Meyer-Rochow, V.B., 2016. Nutritional and anti-nutritional composition of *Oecophylla smaragdina* (Hymenoptera: Formicidae) and *Odontotermes* sp. (Isoptera: Termitidae): Two preferred edible insects of Arunachal Pradesh, India. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 19(3), 711-720.
- Chen, X., Feng, Y., Zhang, H. & Chen, Z. Review of the nutritive value of edible insects. In *Forest Insects as Food: Humans Bite Back*. Proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and their potential for development, Chiang Mai, Thailand, 19–21 February 2008; Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO): Rome, Italy, 2010; pp. 85–92.
- Cito, A., Botta, M., Francardi, V. & Dreassi, E., 2017. Insects as source of angiotensin converting enzyme inhibitory peptides. *Journal of Insects as Food and Feed* 3: 231-240.
- Ciza, S.K., Mikwa, J.F., Malekezi, A.C., Gond, V. & Bosela, F.B., 2015. Identification des moteurs de déforestation dans la région d'Isangi, République Démocratique du Congo. *Bois & Forêts des Tropiques* 324: 29-38. <https://doi.org/10.19182/bft2015.324.a31264>
- Cranfield, J.A.L., 2020. Framing consumer food demand responses in a viral pandemic. *Canadian Journal of Agricultural Economics* 68(2): 151-156. <https://doi.org/10.1111/cjag.12246>
- Crespo, R., Villaverde, M.L., Girotti, J.R., Güerci, A., Juárez, M.P. & de Bravo, M.G., 2011. Cytotoxic and genotoxic effects of defence secretion of defense secretion of *Ulomoides dermestoides* on A549 cells. *Journal of Ethnopharmacology*, 136, 204–209.
- da Silva, P. D., Heaton, L. & Millerand, F., 2017. Une revue de littérature sur la « Science citoyenne » : la production de connaissances naturalistes à l'ère numérique. *Natures Sciences Sociétés*, 25(4), 370-380.
- Das, K., 2020. Entomophagy in Africa. In: *African edible insects as alternative source of food, oil, protein and bioactive components* (pp. 53-58). Springer, Cham.
- De Lanauze, G.S., 2015. L'adoption d'un produit alimentaire nouveau face à des freins culturels forts : le cas de l'entomophilie en France. *Décisions marketing*, 15-33.
- DeFoliart, G.R., 1995. Edible insects as minilivestock. *Biodiversity & Conservation* 4(3): 306-321. <https://doi.org/10.1007/BF00055976>
- DeFoliart, G.R., 1997. An overview of the role of edible insects in preserving biodiversity. *Ecology of Food and Nutrition* 36(2-4): 109-132. <https://doi.org/10.1080/03670244.1997.9991510>

- DeFoliart, G.R., 1999. Insects as food: why the western attitude is important. *Annual Review of Entomology* 44(1): 21-50. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.44.1.21>
- Defoliart, G.R., 2002. The human use of insects as a food resource: a bibliographic account in progress. University of Wisconsin, Madison, WI. Available at: <https://insectsasfood.russell.wisc.edu/the-human-use-of-insects-as-a-food-resource/>
- Delvare, G. & Aberlenc, H., 1989. Les Insectes d’Afrique et d’Amérique Tropicale—Clés Pour la Reconnaissance des Familles ; Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD): Montpellier, France, 1989; ISBN 2-87614-023-3.
- Detilleux, L., Poligui, R.N., Iannello, L., Dogot, T., Francis, F. & Megido, R.C., 2021. Entomophagy in Gabon across the African context. *Journal of Insects as Food and Feed* 0(0): 1-10. <https://doi.org/10.3920/JIFF2021.0064>
- Devkota, B. & Schmidt, G.H., 2000. Accumulation of heavy metals in food plants and grasshoppers from the Taigetos Mountains, Greece. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 78, 85–91.
- Dicke, M., Eilenberg, J., Falcao Salles, J., Jensen, A.B., Lecocq, A., Pijlman, G.P., Van Loon, J.J.A. & Van Oers, M.M., 2020. Edible insects unlikely to contribute to transmission of coronavirus SARS-CoV-2. *Journal of Insects as Food and Feed* 6(4): 333-339. <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0039>
- Dickie, F., Miyamoto, M. & Collins, C.M.T., 2019. The potential of insect farming to increase food security. *Edible Insects*, 1-10. <https://doi.org/10.5772/intechopen.88106>
- Diener, S., Zurbrügg, C., Gutiérrez, F.R., Nguyen, D.H., Morel, A., Koottatep, T. & Tockner, T., 2011. Black soldier fly larvae for organic waste treatment—prospects and constraints. *Proceedings of the WasteSafe—2nd International Conference on Solid Waste Management in the Developing Countries*, Khulna, Bangladesh.
- Djouffa, K.M.L., Saïdou, C., Ali, A., Mohammadou, B.A. & Tchiegang, C., 2021. Edible insects in the Adamawa and eastern regions of Cameroon: collection, processing and consumption. *Journal of Insects as Food and Feed* 7(4): 483-494. <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0015>
- Doi, H., Gałęcki, R. & Mulia, R.N., 2021. The merits of entomophagy in the post COVID-19 world. *Trends in Food Science & Technology* 110: 849-854. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.067>
- Downs, M., Johnson, P. & Zeece, M., 2016. Insects and their connection to food allergy. In: *Insects as sustainable food ingredients* (pp. 255-272). Academic Press.
- Dube, S., Dlamini, N.R., Mafunga, A., Mukai, M. & Dhlamini, Z., 2013. A survey on entomophagy prevalence in Zimbabwe. *African Journal of Agriculture, Nutrition and Development* 13(1): 7242-7253. <https://www.ajfand.net/Volume13/No1/Dube10435.pdf>
- 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. FAO, Regional Office for Asia and the Pacific, Chiang Mai, Thailand. Available at: <https://www.fao.org/3/i1380e/i1380e00.htm>
- Durst, P.B. & Hanboonsong, Y., 2015. Small-scale production of edible insects for enhanced food security and rural livelihoods: experience from Thailand and Lao People’s Democratic Republic. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1(1), 25-31.
- Ebenebe, C.I., Ibitoye, O.S., Amobi, I.M. & Okpoko, V.O., 2020. African edible insect consumption market. In: *African edible insects as alternative source of food, oil, protein and bioactive components* (pp. 19-51). Springer, Cham.

- Eboko F. & Schlimmer S., 2020. COVID-19 : L’Afrique face à une crise mondiale. Politique étrangère, 4: 123-134. <https://doi.org/10.3917/pe.204.0123>
- EFSA (Scientific Committee), 2015. Scientific Opinion on a risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. EFSA Journal 2015;13(10):4257, 60 pp. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4257>
- Ekpo, E.A., Udoh, A.I. & Akpan, P.E., 2010. Proximate and anti-nutrient composition of four edible insects in Akwa Ibom State, Nigeria. World Journal of Applied Science and Technology, 2(2), 224-231.
- 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.
- Ekpo, K.E., 2010. Nutrient composition, functional properties and anti-nutrient content of *Rhynchophorus phoenicis* (F) larva. Annals of Biological Research, 1(1), 178-190.
- Evans, O., 2018. Digital agriculture: Mobile phones, internet and agricultural development in Africa. Actual Problems of Economics 7-8(205-206): 76-90. [https://mpr.ub.uni-muenchen.de/90359/1/MPPA\\_paper\\_90359.pdf](https://mpr.ub.uni-muenchen.de/90359/1/MPPA_paper_90359.pdf)
- Faast, R. & Weinstein, P., 2019. Nutritional and health properties of novel native Australian foods: Report for the Orana Foundation. School of Biological Sciences, The University of Adelaide, South Australia.
- Faast, R., Clarke, P.A., Taylor, G.S., Salagaras, R.L. & Weinstein, P., 2020. Indigenous use of lerps in Australia: So much more than a sweet treat. Journal of Ethnobiology, 40(3), 328-347.
- Fanelli, R.M., 2021. Changes in the food-related behaviour of Italian consumers during the COVID-19 pandemic. Foods 10(1): 169. <https://doi.org/10.3390/foods10010169>
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2006. Global forest resources assessment 2005. FAO Forestry Paper 147. Rome, Italy.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2013. Dietary Protein Quality Evaluation in Human Nutrition—Report of an FAO Expert Consultation; Food and Nutrition Paper No. 92; FAO: Rome, Italy, 2013.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), IFAD (International Fund for Agricultural Development), UNICEF (United Nations Children’s Emergency Fund), WFP (World Food Programme), WHO (World Health Organization), 2019. The state of food security and nutrition in the world 2019. Safeguarding against economic slowdowns and downturns. FAO, Rome. <https://www.fao.org/3/ca5162en/ca5162en.pdf>
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2020a. Responding to COVID-19 food disruptions in Africa: Update for the period of 1 July 2020 - 14 July 2020. Retrieved from <https://www.fao.org/3/cb0551en/CB0551EN.pdf> (Accessed June 6, 2022)
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2020b. COVID-19 and the role of local food production in building more resilient local food systems. Retrieved from <https://www.fao.org/3/cb1020en/CB1020EN.pdf> (Accessed June 6, 2022)
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2020c. Impacts of coronavirus on food security and nutrition in Asia and the Pacific: building more resilient food systems. Retrieved from <http://www.fao.org/3/ca9473en/CA9473EN.pdf> (Accessed June 6, 2022)
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2020d. COVID-19 and malnutrition: situation analysis and options in Africa. Retrieved from <https://www.fao.org/3/ca9896en/CA9896EN.pdf> (Accessed June 6, 2022)

- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), IFAD (International Fund for Agricultural Development), UNICEF (United Nations Children's Emergency Fund), WFP (World Food Programme), WHO (World Health Organization), 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>
- FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture), FIDA (Fonds International pour le Développement Agricole), OMS (Organisation Mondiale de la Santé), PAM (Programme Alimentaire Mondial) & UNICEF (Fonds des Nations unies pour l'engance), 2022. L'État de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde (2022). Réorienter les politiques alimentaires et agricoles pour rendre l'alimentation saine plus abordable. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0639fr>
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2022. L'Etat de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde : Réorienter les politiques alimentaires et agricoles pour rendre l'alimentation saine plus abordable. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0639fr>
- Fasoranti, J.O. & Ajiboye, D.O., 1993. Some edible insects of Kwara state, Nigeria. *American Entomologist* 39(2): 113-116. <https://doi.org/10.1093/ae/39.2.113>
- Finke, M.D., 2002a. Estimate of chitin in raw whole insects. *Zoo Biol.* 2007, 26, 105–115.
- Finke, M.D., 2002b. Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores. *Zoo Biol.* 21, 269–285.
- Finke, M.D., 2007. Estimate of chitin in raw whole insects. *Zoo Biol* 26(2):105–115.
- Finke, M.D., Rojo, S., Roos, N., van Huis, A. & Yen, A.L., 2015. The European Food Safety Authority scientific opinion on a risk profile related to production and consumption of insects as food and feed.
- Fisher, R. A., 1936. The use of multiple measurements in taxonomic problems. *Annals of eugenics*, 7(2), 179-188.
- Folliet, A., 2006. Les arthropodes : sources de médicaments et de substances d'intérêt médical. *Sciences pharmaceutiques*. <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01165282>
- Francis, F., Doyen, V., Debaugnies, F., Mazzucchelli, G., Caparros, R., Alabi, T., Blecker, C., Haubruge, E. & Corazza, F., 2019. Limited cross reactivity among arginine kinase allergens from mealworm and cricket edible insects. *Food chemistry*, 276, 714-718. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.10.082>
- Francis, F., Haubruge, E., 2012. Le Conservatoire entomologique de Gembloux : Lieu de conservation et de valorisation du patrimoine wallon. *Entomol. Faun.* 65, 35–40.
- Fraqueza, M.J.R. & Patarata, L.A.S.C., 2017. Constraints of HACCP application on edible insect for food and feed. In: Mikkola, H. (ed.) *Future foods*. IntechOpen, pp 89-113. <https://doi.org/10.5772/intechopen.69300>
- Gahukar, R.T., 2016. Edible insects farming: efficiency and impact on family livelihood, food security, and environment compared with livestock and crops. In *Insects as sustainable food ingredients* (pp. 85-111). Academic Press.
- Galanakis, C.M., 2020. The food systems in the era of the Coronavirus (COVID-19) pandemic crisis. *Foods* 9(4): 523. <https://doi.org/10.3390/foods9040523>
- Gałęcki, R. & Sokół, R., 2019. A parasitological evaluation of edible insects and their role in the transmission of parasitic diseases to humans and animals. *PLoS One*, 14(7), e0219303.

- 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. (No. hal-01208511).
- Garofalo, C., Milanović, V., Cardinali, F., Aquilanti, L., Clementi, F. & Osimani, A., 2019. Current knowledge on the microbiota of edible insects intended for human consumption: A state-of-the-art review. *Food Research International*, 125, 108527.
- Gaylor, M.O., Harvey, E. & Hale, R.C., 2012. House crickets can accumulate polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) directly from polyurethane foam common in consumer products. *Chemosphere*, 86, 500–5.
- 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.
- Giblin-Davis, R.M., Faleiro, J.R., Jacas, J.A., Peña, J.E. & Vidyasagar, P.S.P.V., 2013. Biology and management of the red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus*. *Potential Invasive Pests of Agricultural Crops* 3, 1. <https://doi.org/10.1079/9781845938291.0001>
- Gnanda, E.P., 2018. Biological studies on palm tree weevil *Rhynchophorus phoenicis* Fabricius (Coleoptera: Curculionidae): An interest food bug in Côte d'Ivoire (West Africa). *International Journal of Biosciences*, 13(01), 137-147.
- Grabowski, N.T., Tchibozo, S., Abdulmawjood, A., Acheuk, F., M'Saad Guerfali, M., Sayed, W.A. & Plötz, M., 2020. Edible insects in Africa in terms of food, wildlife resource, and pest management legislation. *Foods* 9(4): 502. <https://doi.org/10.3390/foods9040502>
- Green, K., Broome, L., Heinze, D. & Johnston, S., 2001. Long distance transport of arsenic by migrating Bogong moths from agricultural lowlands to mountain ecosystems. *Victorian Naturalist*, 118, 112–116.
- Gusenbauer, M. & Haddaway, N.R., 2020. Which academic search systems are suitable for systematic reviews or meta-analyses? Evaluating retrieval qualities of Google Scholar, PubMed and 26 other resources. *Research Synthesis Methods* 11(2): 181-217. <https://doi.org/10.1002/jrsm.1378>
- Halloran, A., Capparos Megido, R., Oloo, J., Weigel, T., Nsevolo, P. & Francis, F., 2018a. Comparative aspects of cricket farming in Thailand, Cambodia, Lao People's Democratic Republic, Democratic Republic of the Congo and Kenya. *Journal of Insects as Food and Feed* 4(2): 101–114. <https://doi.org/10.3920/JIFF2017.0016>
- Halloran, A., Flore, R., Vantomme, P. & Roos, N. (eds.), 2018b. *Edible insects in sustainable food systems*. Cham: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-74011-9>
- Hammond, G.S. & Cram, D.J., 1965. *Chimie organique : "Organic chemistry"*. Les Presses de l'Université Laval.
- Handley, M.A., Hall, C., Sanford, E., Diaz, E., Gonzalez-Mendez, E., Drace, K., Wilson, R., Villalobos, M. & Croughan, M., 2007. Globalization, binational communities, and imported food risks: results of an outbreak investigation of lead poisoning in Monterey County, California. *American journal of public health*, 97(5), 900-906.
- Hebert, P.D., Cywinska, A., Ball, S.L. & DeWaard, J.R., 2003. Biological identifications through DNA barcodes. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 270(1512): 313-321. <https://doi.org/10.1098/rspb.2002.2218>
- Hénault-Ethier L., Marquis D., Dussault M., Deschamps M.H. & Vandenberg G., 2020. Entomophagy knowledge, behaviours and motivations: the case of French Quebeckers. *Journal of Insects as Food and Feed*, 6(3): 245-259.

- Herderschee, J., Kaiser, K.A. & Samba, D.M., 2011. Resilience of an African giant: boosting growth and development in the Democratic Republic of Congo. World Bank Publications. <https://doi.org/10.1596/978-0-8213-8909-6>
- Hlongwane, Z.T., Slotow, R. & Munyai, T.C., 2020. Nutritional composition of edible insects consumed in Africa: a systematic review. *Nutrients* 12(9): 2786. <https://doi.org/10.3390/nu12092786>
- Hoare, A.L., 2007. The use of non-timber forest products in the Congo Basin: constraints and opportunities. New York: Rainforest Foundation.
- Hopkins, I., Farahnaky, A., Gill, H., Newman, L.P. & Danaher, J., 2022. Australians' experience, barriers and willingness towards consuming edible insects as an emerging protein source. *Appetite*, 169, 105832.
- 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. *Biochem Anal. Biochem* 1:1–4.
- Imathiu, S., 2020. Benefits and food safety concerns associated with consumption of edible insects. *NFS journal*, 18, 1-11.
- INFOODS, 2019. Food Composition Table for Western Africa. User Guide & Condensed Food Composition Table. Available online: <https://www.fao.org/infoods/infoods/tables-and-databases/faoinfoods-databases/en> (Accessed on 6 June 2022)
- Janssen, R.H., Vincken, J.P., van den Broek, L.A.M., Fogliano, V., Catriona, M.M. & Lakemond, C.M.M., 2017. Nitrogen-to-protein conversion factors for three edible insects: *Tenebrio molitor*, *Alphitobius diaperinus*, and *Hermetia illucens*. *J. Agric. Food Chem.*, 65, 2275–2278. <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.jafc.7b00471>
- Ji, K.M., Zhan, Z.K., Chen, J.J. & Liu, Z.G., 2008. Anaphylactic shock caused by silkworm pupa consumption in China. *Allergy*. 63:1407–1408.
- Jongema, Y., 2017. List of edible insects of the world. Laboratory of Entomology, Wageningen University & Research, Wageningen, the Netherlands. Available at: <http://tinyurl.com/mestm6p>
- Joyce, I., 2019. Protein digestibility of cereal products. *Foods* 8, 199.
- Juma, C.A., Mushabaa, N.K., Salam, F.A., Ahmadi, A. & Lucero-Prisno, D.E., 2020. COVID-19: the current situation in the Democratic Republic of Congo. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 103(6): 2168. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.20-1169>
- Jung, S., Rickert, D.A., Deak, N.A., Aldin, E.D., Recknor, J., Johnson, L.A. & Murphy, P.A., 2003. Comparison of Kjeldahl and Dumas methods for determining protein contents of soybean products. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 80, 1169–1173.
- Kaufman, M.G., & Klug, M.J., 1991. Contribution of hindgut bacteria to dietary carbohydrate utilization by crickets (Orthoptera: Gryllidae). *Comparative biochemistry and physiology: A: Comparative physiology* 98a, 1, 117 – 123. ISSN: 0300-9629.
- Kearney, J., 2010. Food consumption trends and drivers. *Philosophical Transactions of the Royal Society Biological Sciences* 365(1554): 2793-2807. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0149>
- Kekeunou, S. & Tamesse, J.L., 2016. Consumption of the variegated grasshopper in Africa: importance and threats. *Journal of Insects as Food and Feed* 2(3): 213-222. <https://doi.org/10.3920/JIFF2015.0087>
- Kekeunou, S.S, Simeu-Noutchom, A., Mbadjoun-Nziké, M., Achu-Loh, M.B., Akono-Ntonga, P., Wandji, A.C. & Tamesse, J.L., 2020. Nutritional composition of african edible acridians. In: Adam Mariod, A. (eds), *African edible insects as alternative source of food, oil, protein and bioactive components*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-32952-5\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-030-32952-5_12)



- 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, commonalities and contribution to food security. *Journal of Insects as Food and Feed* 1(2): 103-119. <https://doi.org/10.3920/JIFF2014.0016>
- Khalil, R., Kallas, Z., Haddarah, A., El Omar, F. & Pujolà, M., 2021. Impact of COVID-19 pandemic on willingness to consume insect-based food products in Catalonia. *Foods* 10: 805. <https://doi.org/10.3390/foods10040805>
- Kim, T.K., Cha, J.Y., Yong, H.I., Jang, H.W., Jung, S. & Choi, Y.S., 2022. Application of edible insects as novel protein sources and strategies for improving their processing. *Food Science of Animal Resources*, 42(3), 372. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2022.e10>
- Kinyuru, J.N., Kenji, G.M., Muhoho, S.N. & Ayieko, M.A., 2010. Nutritional potential of longhorn grasshopper (*Ruspolia differens*) consumed in Siaya District, Kenya. *J. Agric. Sci. Technol.* 12, 32–46.
- Kinyuru, J.N., Konyole, S.O., Roos, N., Onyango, C.A., Owino, V.O., Owuor, B.O., Estambale, B.B. & Kenji, G.M., 2013. Nutrient composition of four species of winged termites consumed in western Kenya. *Journal of Food Composition and Analysis* 30(2): 120-124. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2013.02.008>
- Kodondi, K.K., Leclercq, M., Bourgeay-Causse, M., Pascaud, A. & Gaudin-Harding, F., 1987a. Intérêt nutritionnel de chenilles d'Attacidés du Zaïre: composition et valeur nutritionnelle. *Cahiers de Nutrition et de Diététique* 22(6): 473-477.
- Kodondi, K.K., Leclercq, M. & Gaudin-Harding, F., 1987b. Vitamin estimations of three edible species of Attacidae caterpillars from Zaire. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research* 57(3): 333-334. PMID: 3679706.
- Köhler, R., Kariuki, L., Lambert, C. & Biesalski, H.K., 2019. Protein, amino acid and mineral composition of some edible insects from Thailand. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 22(1), 372-378.
- Konda, K.M.A. & Ambühl, D., 2019. Mbinzo: Vers l'élevage des chenilles comestibles Africaines. Première édition française, Edition Skyfood Verlag, Unterterzen, Suisse, 164 p.
- Kooh, P., Ververis, E., Tesson, V., Boué, G. & Federighi, M., 2019. Entomophagy and public health: a review of microbiological hazards. *Health*, 11(10), 1272-1290.
- Kouřimská, L. & Adámková, A., 2016. Nutritional and sensory quality of edible insects. *J. Food Sci. Nutr.* 4:22–26.
- Krishna, K., Grimaldi, D.A., Krishna, V. & Engel, M.S., 2013. Treatise on the Isoptera of the world: Termitidae (Part One). *Bulletin of the American Museum of Natural History* (377): 973-1495. <http://hdl.handle.net/2246/6430>
- Krüger, R.F., de Carvalho, C.J. & Ribeiro, P.B., 2010. Assembly rules in muscid fly assemblages in the grasslands biome of Southern Brazil. *Neotrop. Entomol.* 39, 345–353.
- Kusia, E.S., Borgemeister, C., Khamis, F.M., Copeland, R.S., Tanga, C.M., Ombura, F.L. & Subramanian, S., 2021. Diversity, host plants and potential distribution of edible saturniid caterpillars in Kenya. *Insects* 12(7): 600. <https://doi.org/10.3390/insects12070600>
- Kwiri, R., Mujuru, F.M. & Gwala, W., 2020. Nutrient composition and bioactive components of Mopane worm (*Gonimbrasia belina*). In: Mariod, A.A. (ed.) *African edible insects as alternative source of food, oil, protein and bioactive components*. Springer Nature, pp. 241-256. Available at: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-32952-5>
- Latham, P., 2005. Edible caterpillars and their food plants in Bas-Congo Province, Democratic Republic of Congo. *Insect Science* 27(3/4): 138-144.

- Latham, P., 2008. Les chenilles comestibles et leurs plantes nourricières dans la province du Bas-Congo (2nd ed.). Mystoles Publication, Cambridge, 25 p.
- Latham, P., 2015. Edible caterpillars and their food plants in Bas-Congo. 45 p. <https://www.researchgate.-net/publication/275518494>
- Latham, P., 2021. Edible caterpillars and their food plants in Kongo Central Province, Democratic Republic of Congo. Third edition, 48 p. ISBN: 978-0-9928986-2-5
- Latham, P., Malaisse, F., Konda, K.M.A. & Oberprieler, R., 2021. Some Caterpillars and Pupae Eaten in Africa; Paul Latham: Scotland, UK. pp.1-282.
- Lauritzen, L., Hansen, H.S., Jørgensen, M.H. & Michaelsen, K.F., 2001. The essentiality of long chain n-3 fatty acids in relation to development and function of the brain and retina. *Prog Lipid Res* 40:1–94.
- Lautenschläger, T., Neinhuis, C., Kikongo, E., Henle, T. & Förster, A., 2017a. Impact of different preparations on the nutritional value of the edible caterpillar *Imbrasia epimethea* from northern Angola. *European Food Research and Technology* 243(5): 769-778. <https://doi.org/10.1007/s00217-016-2791-0>
- Lautenschläger, T., Neinhuis, C., Monizi, M., Mandombe, J. L., Förster, A., Henle, T. & Nuss, M., 2017b. Edible insects of northern Angola. *African Invertebrates*, 58(2), 55-82. <https://doi.org/10.3897/afrinvertebr.58.21083>
- Leleup, N. & Daems, H., 1969. Les chenilles alimentaires du Kwango. Causes de leur rarefaction et mesures preconisées pour y remedier. *Journal d’Agriculture Traditionnelle et de Botanique Appliquée* 16(1): 1-21. [https://www.persee.fr/doc/jatba\\_0021-7662\\_1969\\_num\\_16\\_1\\_3015](https://www.persee.fr/doc/jatba_0021-7662_1969_num_16_1_3015)
- Lesnik, J.J., 2011. Bone tool texture analysis and the role of termites in the diet of South African hominids. *PaleoAnthropology*, 268, 281.
- Lesnik, J.J., 2017. Not just a fallback food: global patterns of insect consumption related to geography, not agriculture. *American Journal of Human Biology* 29(4), Article e22976. <https://doi.org/10.1002/ajhb.22976>
- Lindqvist, L., 1992. Accumulation of cadmium, copper, and zinc in five species of phytophagous insects. *Environmental entomology*, 21, 160–163.
- Lisingo, J.L., Wetsi, J.L. & Ntahobavuka, H., 2010. Enquête sur les chenilles comestibles et les divers usages de leurs plantes hôtes dans les districts de Kisangani et de la Tshopo (RD. Congo). *Geo-Eco-Trop: Revue Internationale de Géologie, de Géographie et d’Ecologie Tropicales* 34: 139-146. [http://www.geoecotrop.be/uploads/publications/pub\\_341\\_12.pdf](http://www.geoecotrop.be/uploads/publications/pub_341_12.pdf)
- Lisingo, J.L., Lokinda, L.F., Wetsi, J.L. & Ntahobavuka, H., 2012. L’exploitation artisanale du bois et des chenilles comestibles par les habitants de la ville de Kisangani et ses environs. In: Benneker, C., Assumani, D., Maindo, A., Bola, F., Kimbuani, G., Lescuyer, G., Esuka, J. and Kasongo, E. (eds.) *Le bois à l’ordre du jour. Exploitation artisanale de bois d’œuvre en RD Congo: Secteur porteur d’espoir pour le développement des petites et moyennes entreprises*. Tropenbos International, Wageningen, the Netherlands, pp. 248-262.
- Liu A.J., Li J. & Gómez, M.I., 2019. Factors influencing consumption of edible insects for Chinese consumers. *Insects*, 11(1): 10.
- Liu, Y., Ye, B., Zhang, L. & Zheng, J., 2011. Isolation and identification of intestinal bacterial flora of yellow mealworm. *Zhongguo Weishengtaxixue Zazhi/Chinese Journal of Microecology*, 23(10), 894-896.
- Lloyd, R.B., 2010. Conflict in Africa. *Journal of the Middle East and Africa* 1(2): 171-186. <https://doi.org/10.1080/21520844.2010.502566>

- Lobb, A.E., Mazzocchi, M. & Traill, W.B., 2006. Risk perception and chicken consumption in the avian flu age - a consumer behaviour study on food safety information. Proceedings of the American Agricultural Economics Association Annual Meeting, Long Beach, US. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.21464>
- Longvah, T., Mangthya, K. & Ramulu, P., 2011. Nutrient composition and protein quality evaluation of eri silkworm (*Samia ricini*) prepupae and pupae. Food Chem. 128, 400–403.
- Longvah, T., Mangthya, K. & Qadri, S.S.Y.H., 2012. Eri silkworm: a source of edible oil with a high content of alpha-linolenic acid and of significant nutritional value. J. Sci. Food Agr. 92, 1988–1993.
- Looli Boyombe, L., Dowiya, B., Bosela, O., Salumu, P., Monzenga, J. C., Posho, B., Mabossy-Mobouna, G., Latham, P. & Malaisse, F., 2021. Techniques de récolte et exploitation durable des chenilles comestibles dans la région de Yangambi, RD Congo. Harvesting techniques and sustainable exploitation of edible caterpillars in the Yangambi region, DR Congo. Geo-Eco-Trop: Revue Internationale de Géologie, de Géographie et d'Écologie Tropicales 45(1): 113-129.
- Luning, P.A. & Devlieghere, F. (eds.), 2006. Safety in the agri-food chain. Wageningen Academic Pub.
- Lupoli, R., 2010. L'insecte médicinal. Fontenay-sous-bois : Ancycrosoma.
- Mabossy-Mobouna, G., Bouyer, T., Latham, P., Roulon-Doko, P., Konda Ku Mbuta, A. & Malaisse, F., 2016. Preliminary knowledge for breeding edible caterpillars in Congo-Brazzaville. Geo-Eco-Trop: Revue Internationale de Géologie, de Géographie et d'Écologie Tropicales 40(2): 145-174. [http://www.geoecotrop.be/uploads/publications/pub\\_402\\_05.pdf](http://www.geoecotrop.be/uploads/publications/pub_402_05.pdf)
- Mabossy-Mobouna, G., Malaisse, F., Richel, A., Maesen, P., Latham, P., Roulon-Doko, P. & Madamo, F., 2018. *Imbrasia obscura*, an edible caterpillar of tropical Africa: chemical composition and nutritional value. Tropicultura 36(4): 798-811. <https://doi.org/10.25518/2295-8010.522>
- Mabossi-Mobouna, G. & Malaisse, F., 2020. La consommation par l'homme de Coléoptères en République du Congo. Geo-Eco-Trop, 44(2), 221-236.
- Madamo, M.F., Malaisse, F., Latham, P., Francis, F. & Caparros, M.R., 2022. Caterpillars consumed in Masi-Manimba territory (Kwilu), Democratic Republic of the Congo. Journal of Insects as Food and Feed 0(0): 1-12. <https://doi.org/10.3920/JIFF2022.0032>
- Mahmud, A., Girmatsion, M., Abraha, B., Mohammed, J.K., Yang, F. & Xia, W., 2020. Fatty acid and amino acid profiles and digestible indispensable amino acid score of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) protein concentrate supplemented noodles. J. Food Meas. Charact., 14, 2370–2379.
- Malaisse, F. & Parent, G., 1980. Les chenilles comestibles du Shaba méridional (Zaïre). Les Naturalistes Belges 61(1): 2-24.
- Malaisse, F., 1997. Se nourrir en forêt claire africaine : approche écologique et nutritionnelle. Les Presses Agronomiques de Gembloux, Gembloux, Belgique, 384 p. <https://hdl.handle.net/10568/60903>
- Malaisse, F. & Parent, G., 1997. Chemical composition and energetic value of some edible products provided by hunting or gathering in the open forest (Miombo). Geo-Eco-Trop: Revue Internationale de Géologie, de Géographie et d'Écologie Tropicales 21(14): 65-71. [http://www.geoecotrop.be/uploads/publications/pub\\_211\\_04.pdf](http://www.geoecotrop.be/uploads/publications/pub_211_04.pdf)
- Malaisse, F., 2002. Campeophagy in Africa: a state of knowledge report. Geo-Eco-Trop: Revue Internationale de Géologie, de Géographie et d'Écologie Tropicales 26(1): 37-56. [http://www.geoecotrop.be/uploads/publications/pub\\_261\\_05.pdf](http://www.geoecotrop.be/uploads/publications/pub_261_05.pdf)

- Malaisse, F. & Lognay, G., 2003. Les chenilles comestibles d'Afrique tropicale. In Motte-Florac, E. and Thomas, J.M.C. (eds.) Les insectes dans la tradition orale, Leuven : Peeters, pp. 279-304.
- Malaisse, F., Demesmaecker, A., Matera, J., Wathelet, B. & Lognay, G., 2003. Enfin "Tubambe" dévoile son identité ! *Hadraphe ethiopia* (Bethune-Baker) (Limacodidae), une chenille comestible des forêts claires zambéziennes. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment* 7: 67-77. <https://popups.uliege.be/1780-4507/index.php?id=14388>
- Malaisse, F., 2005. Human consumption of Lepidoptera, Termites, Orthoptera and Ants in Africa. In Paoletti M.G. (Ed.) Ecological implications of minilivestock: potential of insects, rodents, frogs and snails for sustainable development. Science Publishers, Inc., Enfield (New Hampshire), U.S.A, 175-230 p. <https://doi.org/10.1201/9781482294439>
- Malaisse, F., 2010. How to live and survive in zambezian open forest (Miombo ecoregion). Les Presses Agronomiques de Gembloux, Gembloux, Belgium.
- Malaisse, F. & Latham, P., 2014. Human consumption of Lepidoptera in Africa: An updated chronological list of references (370 quoted!) with their ethnozoological analysis. *Geo-Eco-Trop: Revue Internationale de Géologie, de Géographie et d'Écologie Tropicales* 1: 339-372.
- Malasi, F.M., Malaisse, F., Latham, P., Francis, F. & Megido, R.C., 2022. Caterpillars consumed in Masi-Manimba territory (Kwilu), Democratic Republic of the Congo. *J. Insects Food Feed*, in press. <https://doi.org/10.3920/JIFF2022.0032>
- Manditsera, F.A., Lakemond, C.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. <https://doi.org/10.1007/s12571-018-0801-8>
- Manditsera, F.A., Luning, P.A., Fogliano, V. & Lakemond, C.M., 2019. The contribution of wild harvested edible insects (*Eulepida mashona* and *Henicus whellani*) to nutrition security in Zimbabwe. *Journal of Food Composition and Analysis*, 75, 17-25.
- Mapunzu, M.P., 2004. Contribution de l'exploitation des chenilles et autres larves comestibles dans la lutte contre l'insécurité alimentaire et la pauvreté en République Démocratique du Congo. In Balinga, M., Mapunzu, M.P., Moussa, J.B. and N'Gasse, G. (eds.) Contribution des insectes de la forêt à la sécurité alimentaire: l'exemple des chenilles d'Afrique Centrale. Département des Forêts, FAO, pp. 35-54. <https://www.fao.org/3/j3463f/j3463f00.htm>
- Marganne, M.H., 2021. L'utilisation des insectes dans la pharmacopée de l'Égypte gréco-romaine. 978-90-429-4023-9.
- Marivoet, W., Ulimwengu, J.M., Vilaly, E. & Abd Salam, M., 2018. Understanding the Democratic Republic of the Congo's agricultural paradox: based on the eAtlas data platform. Addis Ababa: ReSAKSS. Available at: <https://www.resakss.org/node/6499>
- Marshall, D.L., Dickson, J.S. & Nguyen, N.H., 2016. Ensuring food safety in insect based foods: Mitigating microbiological and other foodborne hazards. In: *Insects as sustainable food ingredients* (pp. 223-253). Academic Press.
- Mathijs, E., 2015. Exploring future patterns of meat consumption. *Meat Science* 109: 112-116. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.05.007>
- Mazamay, S., Bompangue, D., Guégan, J.F., Muyembe, J.J., Raoul, F. & Broutin, H., 2020. Understanding the spatio-temporal dynamics of meningitis epidemics outside the belt: the case of the Democratic Republic of Congo (DRC). *BMC infectious diseases* 20(1): 1-12. <https://doi.org/10.1186/s12879-020-04996-7>

- Mba, A.R.F., Kansci, G., Viau, M., Hafnaoui, N., Meynier, A., Demmano, G. & Genot, C., 2017. Lipid and amino acid profiles support the potential of *Rhynchophorus phoenicis* larvae for human nutrition. *Journal of Food Composition and Analysis*, 60, 64-73.
- Mba, A.R.F., Kansci, G., Viau, M., Ribourg, L., Muafor, J. F., Hafnaoui, N., Le Gall, P. & Genot, C., 2018. Growing conditions and morphotypes of African palm weevil (*Rhynchophorus phoenicis*) larvae influence their lipophilic nutrient but not their amino acid compositions. *Journal of Food Composition and Analysis*, 69, 87-97. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2018.02.012>
- Mba, A.R.F., Kansci, G., Viau, M., Rougerie, R. & Genot, C., 2019. Edible caterpillars of *Imbrasia truncata* and *Imbrasia epimethea* contain lipids and proteins of high potential for nutrition. *Journal of Food Composition and Analysis* 79: 70-79. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.03.002>
- Mbemba, F. & Remacle, J., 1992. Inventaire et composition chimique des aliments et des denrées alimentaires traditionnels du Kwango-Kwilu au Zaïre. CEE-AGCD-FUCID (FUNDP). Projet de Revalorisation des Aliments Traditionnels du Kwango-Kwilu (PRAT). Namur (Belgique), Presses Universitaires de Namur, 80 p.
- Mbemba, F.L.T., 2013. Aliments et denrées alimentaires traditionnels du Bandundu en R.D. Congo : Répertoire et composition en nutriments (French Edition). Editions L' Harmattan, Paris, 332 p.
- McCusker, S., Buff, P., Yu, Z. & Fascetti, A., 2014. Amino acid content of selected plant, algae and insect species: A search for alternative protein sources for use in pet foods. *J. Nutr. Sci.* 3, e39.
- Meyer-Rochow V.B., 2010. Entomophagy and its impact on world cultures: the need for a multidisciplinary approach. *Edible Forest Insects*, 6(2): 23-36.
- Meyer-Rochow, V.B. & Chakravorty, J., 2013. Notes on entomophagy and entomotherapy generally and information on the situation in India in particular. *Applied Entomology and Zoology* 48(2): 105-112. <https://doi.org/10.1007/s13355-013-0171-9>
- Mézes, M. & Erdélyi, M., 2020. Food safety of edible insects. In: Mariod, A.A. (ed.) *African edible insects as alternative source of food, oil, protein and bioactive components*. Springer Nature, pp. 83-94. Available at: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-32952-5>
- Mignon, J., 2002. L'entomophagie : une question de culture ? *Tropicultura* 20(3): 151-155. <http://www.tropicultura.org/text/v20n3/151.pdf>
- Mitsuhashi, J., 2016. *Edible insects of the world*, 1st ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA. <https://doi.org/10.1201/9781315367927>
- Mizzi, S., Dandria, D., Mifsud, D. & Longo, S., 2009. The Red Palm Weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier, 1790) in Malta (Coleoptera: Curculionioidea). *Bul. Ent. Soc. of Malta*, 2: 111-121.
- Mohamed, E.H., 2015. Fatty acids contents of the edible migratory locust *Locusta migratoria*, Linnaeus, 1758 (Orthoptera: Acrididae). *Int. J. Adv. Pharm. Biol. Chem.* 4:746-750.
- Monzenga, L.J.C., 2015. *Ecologie appliquée de Rhynchophorus phoenicis* Fabricius (Dryophthoridae: Coleoptera): phénologie et optimisation des conditions d'élevage à Kisangani, RD. Congo. [Doctoral dissertation]. Université Catholique de Louvain, Faculté des bioingénieurs, Biodiversity Research Centre, Earth and Life Institute, Belgique. <http://hdl.handle.net/2078.1/157580>
- Monzenga Lokela, J.C., Le Goff, G., Bundo, K. & Hance, T., 2017. Influence of substrates on the rearing success of *Rhynchophorus phoenicis* (Fabricius). *African Journal of Food Science and Technology*, 81, 7-13.

- Monzenga, J.C., Bolondo, G., Looli, B.L., Le Goff, G. & Hance, T., 2022. Palm weevils, *Rhynchophorus* sp. (Coleoptera: Dryophthoridae): species inventory and population dynamics in the Kisangani region of DR Congo. African Journal of Tropical Entomology Research, African J. Trop. Entomol. Res. Vol. 1 (1):28-33
- Moreki, J.C., 2014. A study of entomophagy in Mogono in Kweneng District, Botswana. Online International Interdisciplinary Research Journal 4: 70-79. <http://moodle.buan.ac.bw:80/handle/123456789/106>
- Motte-Florac, E., 2012. Utilisation des insectes médicinaux au cours de l'histoire, entre modes et découvertes scientifiques. In: Motte-Florac, E. (dir.), Les insectes et la santé. Entre nuisances et puissance thérapeutique. Niort, Mairie de Niort, p. 61-74.
- Moula N., Hornick J.L., Ruppel P., Antoine-Moussiaux N. & Leroy P., 2014. Production of animal protein in the Congo Basin, a challenge for the future of people and wildlife. In International Conference Nutrition and Food Production in the Congo Basin.
- Muafor, F.J., Gnetegha, A.A., Le Gall, P. & Levang, P., 2015. Exploitation, trade and farming of palm weevil grubs in Cameroon. Center for International Forestry Research (CIFOR), Working Paper 178, Bogor, Indonesia. [https://www.cifor.org/publications/pdf\\_files/WPapers/WP178Levang.pdf](https://www.cifor.org/publications/pdf_files/WPapers/WP178Levang.pdf)
- Mukiibi, E., 2020. COVID-19 and the state of food security in Africa. Agriculture and Human Values 37(3): 627-628. <https://doi.org/10.1007/s10460-020-10079-9>
- Munyuli Bin Mushambanyi, T., 2000. Etude préliminaire orientée vers la production des chenilles consommables par l'élevage des papillons (*Anaphe infracta* : Thaumetopoeidae) à Lwiro, Sud-Kivu, République Démocratique du Congo (RD. Congo). Tropicultura 18(4): 208-211. <http://www.tropicultura.org/text/v18n4.pdf#page=50>
- Murefu, T.R., Macheka, L., Musundire, R. & Manditsera, F.A., 2019. Safety of wild harvested and reared edible insects: a review. Food Control 101: 209-224. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.03.003>
- Musundire, R., Osuga, I.M., Cheseto, X., Irungu, J. & Torto, B., 2016. Aflatoxin contamination detected in nutrient and anti-oxidant rich edible stink bug stored in recycled grain containers. PloS ONE 11(1): e0145914. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0145914>
- Muteba K.D., Ntoto, R. & Lebailly, P., 2013. Comportements et pratiques alimentaires à Kinshasa. Une approche basée sur le rapprochement des conditions de vie et des modes de consommation alimentaires des ménages. 7èmes Journées de Recherches en Sciences Sociales (INRA-SFER-CIRAD), France. <https://hdl.handle.net/2268/161444>
- Mutungi, C., Irungu, F.G., Nduko, J., Mutua, F., Affognon, H., Nakimbugwe, D., Ekesi, S. & Fiaboe, K.K.M., 2019. Postharvest processes of edible insects in Africa: A review of processing methods, and the implications for nutrition, safety and new products development. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 59(2), 276-298. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1365330>
- Muvatsi, P., Snook, L.K., Morgan, G. & Kahindo, J.M., 2021. The yield of edible caterpillars *Imbrasia oyemensis* and *Cirina forda* from timber trees logged on concessions in the Democratic Republic of the Congo: a contribution to managing tropical forests for multiple resources. Trees, Forests and People 4: 100079. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2021.100079>
- Muzzarelli, R., Terbojevich, M., Muzzarelli, C., Miliani, M. & Francescangeli, O., 2001. Partial depolymerization of chitosan with the aid of papain. Chitin Enzymol 16:405-414
- N'Gasse, G., 2003. Contribution des chenilles et larves comestibles à la réduction de l'insécurité alimentaire en République centrafricaine. Rapport de Consultation, FAO, Rome <http://www.fao.org/3/j3463f/j3463f05.htm>

- Nchanji, E.B. & Lutomia, C.K., 2021. Regional impact of COVID-19 on the production and food security of common bean smallholder farmers in Sub-Saharan Africa: Implication for SDG's. *Global Food Security* 29: 100524. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2021.100524>
- Nchanji, E., Lutomia, C. & Karanja, D., 2021a. Immediate impacts of COVID-19 measures on bean production, distribution, and food security in eastern Africa. *Journal of Agriculture, Food Systems, and Community Development* 10(2): 1-5. <https://doi.org/10.5304/jafscd.2021.102.007>
- Nchanji, E.B., Lutomia, C.K., Chirwa, R., Templer, N., Rubyogo, J.C. & Onyango, P., 2021b. Immediate impacts of COVID-19 pandemic on bean value chain in selected countries in sub-Saharan Africa. *Agricultural Systems* 188: 103034. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2020.103034>
- Netshifhefhe, S.R., Kunjoku, 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(1-2): 1-10. <http://dx.doi.org/10.17159/sajs.2018/20170145>
- Ngute, A.S.K., Dongmo, M.A.K., Effa, J.A.M., Ambombo Onguene, E.M., Fomekong Lontchi, J. & Cuni-Sanchez, A., 2020. Edible caterpillars in central Cameroon: host plants, value, harvesting and availability. *Forests, Trees and Livelihoods* 29(1): 16-33. <https://doi.org/10.1080/14728028.2019.1678526>
- Niassy S., Affognon H.D., Fiaboe K.K.M., Akutse K.S., Tanga C.M. & Ekesi S., 2016. Some key elements on entomophagy in Africa: culture, gender and belief. *Journal of Insects as Food and Feed*, 2(3): 139-144.
- Nielsen, S.S., 2017. *Food Analysis Laboratory Manual*, 5th ed., Springer Cham: New York, NY, USA. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-45776-5>
- Nielsen, S.S., 2021. Correction to: *Food Analysis Fifth Edition*. In *Food Analysis; Food Science Text Series*; Nielsen, S.S., Ed.; Springer: Cham, Switzerland. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-45776-5\\_36](https://doi.org/10.1007/978-3-319-45776-5_36)
- Nishimune, T., Watanabe, Y., Okazaki, H. & Akai, H., 2000. Thiamin is decomposed due to *Anaphe spp.* entomophagy in seasonal ataxia patients in Nigeria. *The Journal of nutrition* 130(6), 1625-1628.
- Nsevolo, M.P., Caparros Megido, R., Blecker, C., Danthine, S., Paul, A., Haubruge, E., Alabi, T. & Francis, F., 2014. Situation and perspective of entomophagy in Kinshasa. *Insects to Feed the World (IFW)*, the Netherlands. <https://hdl.handle.net/2268/169330>
- Nsevolo M.P. & Theeten F., 2015. Les insectes comestibles de la R.D. Congo (Entomophagie). *Projet CABIN (Central African Biodiversity Information Network)*. Université Pédagogique Nationale de Kinshasa. Occurrence data set available via GBIF.org at <https://doi.org/10.15468/ofzo4o>
- Nsevolo, M.P., 2016. Citizen science, a tool for enhancing knowledge and management of edible insect biodiversity in the Democratic Republic of the Congo. *Biodiversity Information Standards (TDWG) 2016 Annual Conference*, Costa Rica. <https://mbgocs.mobot.org/index.php/tdwg/tdwg2016/paper/view/1008/0>
- Nsevolo M.P., Taofic A., Caparros Medigo R., Sablon L., Haubruge É. & Francis F., 2016. La biodiversité entomologique comme source d'aliments à Kinshasa (République Démocratique du Congo). *Annales de la Société Entomologique de France (N.S.)*, 52: 57-64. <https://doi.org/10.1080/00379271.2016.1186467>
- Nsevolo, M.P., 2021. Authoritative Taxonomic Databases for Progress in Edible Insect and Host Plant Inventories. *Biodivers. Inf. Sci. Stand.* 5, e75908. <https://doi.org/10.3897/biss.5.75908>

- Nsevolo, M.P., Kiatoko, N., Kambashi, M.B., Francis, F. & Caparros Megido, R., 2022a. Reviewing entomophagy in the Democratic Republic of Congo: species and host plant diversity, seasonality, patterns of consumption and challenges of the edible insect sector. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1-20. <https://doi.org/10.3920/JIFF2022.0024>
- Nsevolo Miankeba, P., Taofic, A., Kiatoko, N., Mutiaka, K., Francis, F. & Caparros Megido, R., 2022b. Protein Content and Amino Acid Profiles of Selected Edible Insect Species from the Democratic Republic of Congo Relevant for Transboundary Trade across Africa. *Insects*, 13(11), 994. <https://doi.org/10.3390/insects13110994>
- Nsevolo, M.P., Kiatoko, S.N., Kambashi, B.M., Francis, F. & Caparros Megido, R., 2022c. COVID-19 and entomophagy in DRC: Contribution of edible insects to a more resilient local food system. *J. Insects Food Feed*, 8 (Suppl. 1), S115.
- Numbi Muya, G.M., Kambashi, B.M., Bindelle, J., Francis, F. & Capparos Medigo, R., 2021. Description of the development cycle of *Aegocera rectilinea* (Lepidoptera: Noctuidae), a caterpillar consumed in western Democratic Republic of Congo. *Journal of Insects as Food and Feed*, 8(4): 439-446. <https://doi.org/10.3920/JIFF2021.0093>
- Nzikou, J.M., Mbemba, F., Mvoula-Tsieri, M., Diabanguaya-Batéla, B., Malela, K.E., Kimbonguila, A., Ndangui, C.B., Pambou-Tobi, N.P., Silou, Th. & Desobry, S., 2010. Characterisation and Nutritional Potentials of "*Rhynchophorus phoenicis*" Larva Consumed in Congo-Brazzaville. *Current Research Journal of Biological Sciences*, 2(3), 189-194.
- 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. <https://doi.org/10.1007/s12571-013-0310-8>
- Oibiokpa, F.I., Akanya, H.O., Jigam, A.A., Saidu, A.N., Egwim, E.C., 2018. Protein quality of four indigenous edible insect species in Nigeria. *Food Sci. Hum. Wellness* 7, 175–183.
- Okia, C.A., Odongo, W., Nzabamwita, P., Ndimubandi, J., Nalika, N. & Nyeko, P., 2017. Local knowledge and practices on use and management of edible insects in Lake Victoria basin, East Africa. *Journal of Insects as Food and Feed* 3(2): 83-93. <https://doi.org/10.3920/JIFF2016.0051>
- Okunowo, W.O., Olagboye, A.M., Afolabi, L.O. & Oyedeji, A.O., 2017. Nutritional value of *Rhynchophorus phoenicis* (F.) larvae, an edible insect in Nigeria. *African Entomology*, 25(1), 156-163.
- Ombeni, J. & Munyuli, T., 2017. Évaluation de la valeur nutritionnelle des aliments sauvages traditionnels (Règne Animalia) intervenant dans la sécurité alimentaire des communautés rurales du Sud-Kivu (République Démocratique du Congo). *Geo-Eco-Trop : Revue Internationale de Géologie, de Géographie et d'Écologie Tropicales* 40(2): 115-132. [http://www.geocotrop.be/uploads/publications/pub\\_402\\_03.pdf](http://www.geocotrop.be/uploads/publications/pub_402_03.pdf)
- 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 B* 7(1), 51-55.
- Onyeike, E.N., Ayalogu, E.O. & Okaraonye, C.C., 2005. Nutritive value of the larvae of raphia palm beetle (*Oryctes rhinoceros*) and weevil (*Rhynchophorus phoenicis*). *J. Sci. Food Agr.* 85, 1822–1828.
- Ooninx, D.G., van Itterbeeck, J., Heetkamp, M.J., van Den Brand, H., van Loon, J.J. & van Huis, A., 2010. An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption. *PloS one*, 5(12), e14445.
- Oppong, J.R. & Woodruff, T., 2007. Democratic Republic of the Congo. Infobase Publishing. New York: Chelsea House, 104 p. ISBN: 9781438104980



- Osborne, J.W. & Overbay, A., 2004. The power of outliers (and why researchers should always check for them). *Practical Assessment, Research, and Evaluation* 9(1): 6. <https://doi.org/10.7275/qf69-7k43>
- Pagezy, H., 1975. Les interrelations homme-faune de la forêt du Zaïre. In: *L'homme et l'animal, Ier colloque d'ethnozoologie*. Institut International des Ethnoscience, Paris, pp. 63-88.
- Paoletti M.G. (ed.), 2005. *Ecological implications of minilivestock: potential of insects, rodents, frogs and snails* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781482294439>
- Paoletti, M.G., Norberto, L., Damini, R. & Musumeci, S., 2007. Human gastric juice contains chitinase that can degrade chitin. *Ann. Nutr. Metab.* 51:244–251
- Payne, C.L.R., Mato, B. & Fruth, B., 2016a. Entomophagy in the area surrounding LuiKotale, Salonga National Park, Democratic Republic of the Congo. *African Study Monographs* 37(1): 1-12.
- Payne, C.L., Scarborough, P., Rayner, M. & Nonaka, K., 2016b. A systematic review of nutrient composition data available for twelve commercially available edible insects, and comparison with reference values. *Trends Food Sci. Technol.* 47, 69-77.
- Pech, A., 2021. Quand notre environnement nous rend obèses : comment l'environnement influence-t-il nos pratiques alimentaires ? *Géococonfluences*. <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/informations-scientifiques/dossiers-thematiques/geographie-de-la-sante-espaces-et-societes/articles-scientifiques/obesite>
- Pennino, M., Dierenfeld, E.S. & Behler, J.L., 1991. Retinol, alphatocopherol and proximate nutrient composition of invertebrates used as feed. *International Zoo. Yearbook* 30, 143–149.
- Peri, E., Colazza, S., Guarino, S., Suma, P., Pergola, A.L. & Longo, S., 2013. The red palm weevil in Sicily: the introduction and spread of an invasive alien species. In *Colloque méditerranéen sur les ravageurs des palmiers*, Nice, France, 16-18 Janvier 2013. Association Française de Protection des Plantes (AFPP).
- Pinshi, C., 2020. What impact does COVID-19 have on the Congolese economy and international trade? *Economic Analysis Summary Note* 6: 1-5. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02864308/document>
- Popkin, B.M., 1993. Nutritional patterns and transitions. *Population and Development Review* 19: 138-157. <https://www.jstor.org/stable/2938388>
- Popkin, B.M., 2006. Global nutrition dynamics: The world is shifting rapidly toward a diet linked with non - communicable diseases. *American Journal of Clinical Nutrition* 84: 289-298. <https://doi.org/10.1093/ajcn/84.2.289>
- Preteville, N., Deguerry, A., Reverberi, M. & Weigel, T., 2018. Insects in Thailand: national leadership and regional development, from standards to regulations through association. In *Edible insects in sustainable food systems* (pp. 435-442). Springer, Cham.
- Raheem, D., Carrascosa, C., Oluwole, O.B., Nieuwland, M., Saraiva, A., Millán, R. & Raposo, A., 2019. Traditional consumption of and rearing edible insects in Africa, Asia and Europe. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 59(14): 2169-2188. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1440191>
- Ramos-Elorduy, J.B., Moreno, J.M., Prado, E., Perez, M.A., Otero, J.L. & De Guevara, O. L., 1997. Nutritional value of edible insects from the State of Oaxaca, Mexico. *J. Food Compos. Anal.* 10, 142–157. <https://doi.org/10.1006/jfca.1997.0530>
- Ramos-Elorduy, J.B., 2008. Energy Supplied by Edible Insects from Mexico and their Nutritional and Ecological Importance, *Ecology of Food and Nutrition* 47:3, 280-297. <https://doi.10.1080/03670240701805074>

- Ramos-Elorduy, J., 2009. Anthro-entomophagy: cultures, evolution and sustainability. *Entomological Research* 39(5): 271-288. <https://doi.org/10.1111/j.1748-5967.2009.00238.x>
- Ramos-Elorduy, J.B., Pino Moreno, J.M. & Martinez Camacho, V.H., 2012. Could grasshoppers be a nutritive meal. *Food Nutr. Sci.* 3, 164–175.
- Raoult, D., Zumla, A., Locatelli, F., Ippolito, G. & Kroemer, G., 2020. Coronavirus infections: epidemiological, clinical and immunological features and hypotheses. *Cell stress* 4(4): 66. <https://doi.org/10.15698/cst2020.04.216>
- Renner, B., Sproesser, G., Strohbach, S. & Schupp, H.T., 2012. Why we eat what we eat. The Eating Motivation Survey (TEMS). *Appetite*, 59(1): 117-128.
- Riggi, L.G., Veronesi, M., Goergen, G., MacFarlane, C. & Verspoor, R.L., 2016. Observations of entomophagy across Benin - practices and potentials. *Food Security* 8(1): 139-149. <https://doi.org/10.1007/s12571-015-0509-y>
- Rogers, E.M., 2003. Diffusion of innovations (5th ed.). New York: Free Press.
- Roos, N. & Van Huis, A., 2017. Consuming insects: are there health benefits? *Journal of insects as food and feed* 3(4), 225-229.
- Rose, A.J., 2019. Amino acid nutrition and metabolism in health and disease. *Nutrients* 11, 2623.
- Roulon-Doko, P., 1998. Chasse, Cueillette et Culture Chez les Gbaya de Centrafrique ; Editions L'Harmattan: Paris, France. pp. 247–342, ISBN 2-7384-6290-1. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00256590>
- Roux C., Souilhac C., Vergnet J., Coyla M., Arque L. & Rioux G., 2021. La génération Z et l'entomophagie en France [Projet tutoré]. Institut Supérieur du Tourisme, de l'Hôtellerie et de l'Alimentation (ISTHIA), Université Toulouse-Jean Jaurès.
- Rugman-Jones, P.F., Hoddle, C.D., Hoddle, M.S. & Stouthamer, R., 2013. The lesser of two weevils: molecular-genetics of pest palm weevil populations *confirm Rhynchophorus vulneratus* (Panzer 1798) as a valid species distinct from *R. ferrugineus* (Olivier 1790), and reveal the global extent of both. *PloS one*, 8(10), e78379.
- Rumpold, B.A., & Schlüter, O.K., 2013. Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition & Food Research*, 57(5), 802-823. <https://doi.10.1002/mnfr.201200735>
- Rumpold, B.A. & Schlüter, O., 2015. Insect-based protein sources and their potential for human consumption: Nutritional composition and processing. *Animal Frontiers* 5, 20-24.
- Saeed, T., Dagga, F.A. & Saraf, M., 1993. Analysis of residual pesticides present in edible locusts captured in Kuwait. *Arab Gulf Journal of Scientific Research* 11(1): 1-5.
- Salama, S.M., 2020. Nutrient composition and bioactive components of the migratory locust (*Locusta migratoria*). In: African edible insects as alternative source of food, oil, protein and bioactive components (pp. 231-239). Springer, Cham.
- Salvation Army, 2019. Nous aimerions retrouver ce que nous avons perdu. [Press release], <https://info.armeedusalut.ch/node/5521/pdf>.
- Sazali, S.N. & Aziz, N.S.A., 2012. Morphometric analysis of Cantor's Roundleaf Bat, *Hipposideros galeritus* Cantor 1846 from several localities in Sarawak, Malaysia. *Journal of Tropical Biology & Conservation* (JTBC).
- Sazali, S.N., Hazmi, I.R., Abang, F., Rahim, F. & Jemain, A.A., 2018. Morphometric Study of the Palm Weevils, *Rhynchophorus vulneratus* and *R. ferrugineus* (Coleoptera: Curculionidae) in View of Insular and Mainland Populations of Malaysia. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 41(3).

- Sazali, S.N., Hazmi, I.R., Abang, F., Rahim, F. & Jemain, A.A., 2021. Phylogeny and morphometric variation of several weevils species (Coleoptera, Curculionidae) from Malaysia. *Serangga*, 26(2): 183-201.
- 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 & food research* 61(6), 1600520. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201600520>
- Selosse, M.A., 2022. Le microbiote à la croisée de l'humain et de la biodiversité. *Environnement, Risques Sante* 21(3), 221-225.
- Séré, A., Bougma, A., Ouilly, J.T., Traoré, M., Sangaré, H., Lykke, A.M., Ouédraogo, A., Gnankiné, O. & Bassolé, I.H.N., 2018. Traditional knowledge regarding edible insects in Burkina Faso. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 14(1): 1-11. <https://doi.org/10.1186/s13002-018-0258-z>
- Sicherer, S.H. & Sampson, H.A., 2010. Food allergy. *Journal of allergy and clinical immunology* 125(2), S116-S125.
- Singh, A.K., Jaiswal, P. & Patley, S., 2008. Taxonomic redescription of the red palm weevil (*Rhynchophorus ferrugineus*). Genus, 9.
- Smetana, S., Spykman, R. & Heinz, V., 2021. Environmental aspects of insect mass production. *Journal of Insects as Food and Feed*, 7(5), 553-571. <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0116>
- Smith, M.D. & Wesselbaum, D., 2020. COVID-19, food insecurity and migration. *The Journal of Nutrition* 150(11): 2855-2858. <https://doi.org/10.1093/jn/nxaa270>
- Tabuna, H., 2000. Les produits forestiers non ligneux alimentaires de l'Afrique Centrale sur les marchés français et belges : situation actuelle et perspectives [Doctoral dissertation, Ecole Doctorale Sciences de la Nature et de l'Homme]. Evolution et Ecologie, Paris. <https://www.sudoc.fr/053772938>
- Takeda, J., 1990. The dietary repertory of the Ngandu people of the tropical rain forest: an ecological and anthropological study of the subsistence activities and food procurement technology of a slash-and-burn agriculturist in the Zaire river basin. *African Study Monographs* 11(Suppl): 1-75. [https://repository.kulib.kyoto-u.ac.jp/dspace/bitstream/2433/68351/1/ASM\\_S\\_11\\_1.pdf](https://repository.kulib.kyoto-u.ac.jp/dspace/bitstream/2433/68351/1/ASM_S_11_1.pdf)
- Tambe, J.T., Riolo, P., Okolle, J.N., Isidoro, N., Fanciulli, P.P. & Dallai, R., 2013. Sexual size differences and colour polymorphism of *Rhynchophorus phoenicis* in the Southwest Region of Cameroon. *Bulletin of Insectology*, 66(1), 153-159.
- Tanga, C.M., Egonyu, J.P., Beesigamukama, D., Niassy, S., Emily, K., Magara, H.J., Omuse, E.R., Subramanian, S. & Ekesi, S., 2021. Edible insect farming as an emerging and profitable enterprise in East Africa. *Current Opinion in Insect Science*, 48, 64-71. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2021.09.007>
- Tango, M., 1981. Les insectes comme aliments de l'homme. CEEBA Publ., Serie II, Vol 69, Bandundu, Zaïre, 177 p.
- Temba, M.C., Njobeh, P.B., Adebo, O.A., Olugbile, A.O. & Kayitesi, E., 2016. The role of compositing cereals with legumes to alleviate protein energy malnutrition in Africa. *Int. J. Food Sci. Technol.* 51, 543-554.
- Tharwat, A., Gaber, T., Ibrahim, A. & Hassanien, A.E., 2017. Linear discriminant analysis: A detailed tutorial. *AI communications*, 30(2), 169-190.
- Thomas, C.N., Ogbalu, O.K. & Okwakpam, B.A., 2004. Oviposition of *Rhynchophorus phoenicis* (F.) (Coleoptera: curcuonidae) in Palms of the Niger delta. *Indian J. Agric. Res.* 38(2), 126-130.

- Thompson, M., Owen, L., Wilkinson, K., Wood, R. & Damant, A., 2002. A comparison of the Kjeldahl and Dumas methods for the determination of protein in foods, using data from a proficiency testing scheme. *Analyst* 127, 1666–1668. 35.
- Tollens, E., 2008. Surging food prices and actions to be taken immediately (and in the longer run) for the DRC. “Paper prepared for workshop - Achieving food and nutrition security in the DRC: immediate actions and long term investments in agriculture”, IFPRI, Washington, DC.
- Ulrich, R.G., Buthala, D.A. & Klug, M.J., 1981. Microbiota associated with the gastrointestinal tract of the common house cricket, *Acheta domestica*. *Applied and environmental microbiology* 41(1), 246-254.
- UN (United Nations), 2022. World population projected to reach 9.8 billion in 2050, and 11.2 billion in 2100. Retrieved September 05 2022 from: <https://www.un.org/en/desa/world-population-projected-reach-98-billion-2050-and-112-billion-2100> (Accessed on 28 June 2022).
- UNDP (United Nations Development Program), 2020. Impacts sanitaires et socio-économiques de la COVID-19 en République Démocratique du Congo. Analyse prospective et orientations de la riposte multisectorielle. Available at [https://www1.undp.org/content/dam/rba/docs/COVID-19-CO-Response/UNDP-rba-Covid-RDC-DRC\\_2020.pdf](https://www1.undp.org/content/dam/rba/docs/COVID-19-CO-Response/UNDP-rba-Covid-RDC-DRC_2020.pdf) (Accessed on 16 June 2022)
- UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization), 2014. Eduquer à la biodiversité – Approches multiperspectives. L’Éducation pour le développement durable en action. Outils d’apprentissage et de formation N° 6. Secteur de l’éducation, UNESCO.
- UNFPA (United Nations Population Fund), 2020. “Against my will: defying the practices that harm women and girls and undermine equality.” State of world population 2020. New York, USA: UNFPA. <https://www.unfpa.org/swop-2020>
- van Huis, A., 2013. Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annual Review of Entomology*, 58(1): 563-583. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153704>
- van Huis, A., Itterbeeck J.V., Klunder H., Mertens E., Halloran A., Muir G. & Vantomme P., 2013. Edible insects: future prospects for food and feed security. *FAO Forestry Paper* 171. Available at <https://www.fao.org/3/i3253e/i3253e.pdf>
- van Huis, A., van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G. & Vantomme, P., 2014. Insectes comestibles : perspectives pour la sécurité alimentaire et l'alimentation animale. *FAO*.
- van Huis, A., 2015. Edible insects contributing to food security? *Agriculture & Food Security* 4(1): 1-9. <https://doi.org/10.1186/s40066-015-0041-5>
- van Huis, A., 2017a. Edible insects and research needs. *Journal of Insects as Food and Feed* 3(1): 3-5. <https://doi.org/10.3920/JIFF2017.x002>
- van Huis, A., 2017b. Edible insects: marketing the impossible? *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(2): 67-68.
- van Huis, A. & Dunkel, F.V., 2017. Edible insects: a neglected and promising food source. In *Sustainable protein sources* (pp. 341-355). Academic Press.
- van Huis, A., 2020a. Importance of insects as food in Africa. In Mariod A.A. (ed.) *African edible insects as alternative source of food, oil, protein and bioactive components*. Springer Nature, 1-17. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-32952-5>
- van Huis, A., 2020b. Insects as food and feed, a new emerging agricultural sector: a review. *Journal of Insects as Food and Feed* 6(1): 27 44. <https://doi.org/10.3920/JIFF2019.0017>

- van Huis, A., Le Gall, P. & Motte-Florac, E., 2016. Savoureux insectes : de l'alimentation traditionnelle à l'innovation gastronomique. Presses universitaires de Rennes; Presses universitaires François Rabelais de Tours; Institut de recherche pour le développement.
- Vantomme, P., Munke, C., van Huis, A., van Itterbeeck, J. & Hakman, A., 2014. Insects to Feed the World: Summary Report, Wageningen University and Research Center: Wageningen, Netherlands. Available online: <http://www.fao.org/forestry/edibleinsects/86385/en> (Accessed on 21 June 2022).
- Varelas, V., 2019. Food wastes as a potential new source for edible insect mass production for food and feed: A review. *Fermentation*, 5(3), 81. <https://doi.org/10.3390/fermentation5030081>
- Vidal, N.P., Manful, C.F., Pham, T.H., Stewart, P., Keough, D. & Thomas, R., 2020. The use of XLSTAT in conducting principal component analysis (PCA) when evaluating the relationships between sensory and quality attributes in grilled foods. *MethodsX*, 7, 100835.
- Voiculescu, A. & Pănoiu, L., 2020. Food crisis-global priority. *Ovidius University Annals, Economic Sciences Series* 20(1): 232-236. <https://stec.univ-ovidius.ro/html/anale/RO/2020/Section%202/20.pdf>
- von Grebmer, K., Bernstein, J., Mukerji, R., Patterson, F., Wiemers, M., Ní Chéilleachair, R., Foley, C., Gitter, S., Ekstrom, K. & Fritschel, H., 2019. 2019 Global hunger index: the challenge of hunger and climate change. Bonn: Welthungerhilfe, and Dublin: Concern Worldwide. 72 p. <https://www.globalhungerindex.org/pdf/en/2019.pdf>
- Vranken, L., Avermaete, T., Petalios, D. & Mathijs, E., 2014. Curbing global meat consumption: Emerging evidence of a second nutrition transition. *Environmental Science & Policy* 39: 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.02.009>
- Walangululu, J.M. & Mushagalusa, G.N., 2000. Les principaux ravageurs des choux pommés (*Brassica oleracea* var capitata subs sabouda) à Bukavu et ses environs. *Tropicultura* 18(2): 55-57. <http://www.tropicultura.org/text/v18n2/55.pdf>
- Washington, R., James, R., Pearce, H., Pokam, W.M. & Moufouma-Okia, W., 2013. Congo basin rainfall climatology: can we believe the climate models? *Philosophical Transactions of the Royal Society Biological Sciences* 368(1625): 20120296. <https://doi.org/10.1098/rstb.2012.0296>
- Wattanapongsiri, A., 1966. A revision to the genera *Rhynchophorus* and *Dynamis* (Coleoptera: Curculionidae). Department of Agriculture Science Bulletin 1, 328 pp. Bangkok, Thailand. <http://hdl.handle.net/1957/10673>
- Weitkunat, R., Pottgiesser, C., Meyer, N., Crispin, A., Fischer, R., Schotten, K. & Überla, K., 2003. Perceived risk of bovine spongiform encephalopathy and dietary behavior. *Journal of Health Psychology* 8(3): 373-381. <https://doi.org/10.1177/13591053030083007>
- WHO (World Health Organization), 2003. Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases. In WHO Technical Report Series, 916 (pp. 1e60). Switzerland.
- WHO (World Health Organization), 2004. Vitamin and mineral requirements in human nutrition (2nd ed.). Bangkok: Thailand, World Health Organization (WHO) and Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- WEF (World Economic Forum), 2020. Why Sub-Saharan Africa needs a unique response to COVID-19. Retrieved from <https://www.weforum.org/agenda/2020/03/why-sub-saharan-africa-needs-a-unique-response-to-covid-19/> (Accessed November 26, 2021)
- WHO (World Health Organization), 2020a. 2019 Novel Coronavirus (2019-nCoV): Strategic preparedness and response plan. Retrieved from [https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/srp-04022020.pdf?sfvrsn=7ff55ec0\\_4&download=true](https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/srp-04022020.pdf?sfvrsn=7ff55ec0_4&download=true) (Accessed March 13, 2020).

- WHO (World Health Organization), 2020b. WHO Coronavirus Disease (COVID-19) Dashboard. Retrieved from <https://covid19.who.int/>. Accessed June 5, 2021.
- Wu, G., 2021. *Amino Acids: Biochemistry and Nutrition*, 2nd ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA; pp. 7–9, ISBN 9781003092742.
- Yen, A.L., 2010. Edible insects and other invertebrates in Australia: future prospects. In: *Forest Insects as Food: Humans Bite Back, Proceedings of a Workshop on Asia-Pacific Resources and their Potential for Development*, edited by PB Durst, DV Johnson, RL Leslie and K. Shono (pp. 65-84).
- Yin, W., Liu, J., Liu, H. & Lu, B., 2017. Nutritional value, food ingredients, chemical and species composition of edible insects in China. *Future Foods*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.70085>
- Yuen, K.F., Wang, X., Ma, F. & Li, K.X., 2020. The psychological causes of panic buying following a health crisis. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17(10): 3513. <https://doi.org/10.3390/ijerph17103513>
- Zagrobelny, M., Dreon, A.L., Gomiero, T., Marazzan, G.L., Glaring, M.A., Moller, B.L. & Paoletti, M.G., 2009. Toxic moths: source of a truly safe delicacy. *Journal of Ethnobiology*, 29, 64–76.
- Zar, J.H., 1999. *Biostatistical analysis* - Prentice-Hall, Upper Saddle River, USA.
- Zhao, M., Wang, C.Y., Sun, L., He, Z., Yang, P.L., Liao, H.J. & Feng, Y., 2021. Edible Aquatic Insects: Diversities, Nutrition, and Safety. *Foods*, 10(12), 3033.
- Zhuang, P., Zou, H. & Shu, W., 2009. Biotransfer of heavy metals along a soil-plant-insect-chicken food chain: Field study. *Journal of Environmental Sciences*, 21, 849–853.
- Zielińska, E., Baraniak, B., Karaś, M., Rybczyńska, K. & Jakubczyk, A., 2015. Selected species of edible insects as a source of nutrient composition. *Food Res. Int.* 77, 460–466.
- Zijlstra, W.P., Van der Ark, L.A. & Sijtsma, K., 2011. Outliers in questionnaire data: can they be detected and should they be removed? *Journal of Educational and Behavioral Statistics* 36(2): 186-212. <https://doi.org/10.3102/1076998610366263>
- Zurayk, R., 2020. Pandemic and food security. *Journal of Agriculture, Food Systems, and Community Development* 9(3): 17-21. <https://doi.org/10.5304/jafscd.2020.093.014>

# VII

---

## Scientific productions and publications





## VII.1. Articles in peer reviewed academic journals

1. **Nsevolo, M. P.**, Kiatoko, N., Kambashi, M. B., Francis, F. & Caparros Megido, R. (2022). Reviewing entomophagy in the Democratic Republic of Congo: species and host plant diversity, seasonality, patterns of consumption and challenges of the edible insect sector. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1-20. <https://doi.org/10.3920/JIFF2022.0024>
2. **Nsevolo Miankeba, P.**, Taofic, A., Kiatoko, N., Mutiaka, K., Francis, F., & Caparros Megido, R. (2022). Protein Content and Amino Acid Profiles of Selected Edible Insect Species from the Democratic Republic of Congo Relevant for Transboundary Trade across Africa. *Insects*, 13(11), 994. <https://doi.org/10.3390/insects13110994>
3. **Nsevolo, M. P.** and Malaisse, F. (2022). Freins et leviers pour la commercialisation des insectes comestibles élevés en masse : étude exploratoire dans un pays où l'entomophagie est traditionnelle. *Geo-Eco-Trop*, 46, 2.
4. Halloran, A., Megido, R. C., Oloo, J., Weigel, T., **Nsevolo, P.**, & Francis, F. (2018). Comparative aspects of cricket farming in Thailand, Cambodia, Lao People's Democratic Republic, Democratic Republic of the Congo and Kenya. *Journal of Insects as Food and Feed*, 4(2), 101-114.

## VII.2. Peer reviewed abstracts

1. **P. Nsevolo**, N. Kiatoko, M. Kambashi, F. Francis and R. Caparros Megido (2022). COVID-19 and entomophagy in DRC: contribution of edible insects to a more resilient local food system. *Journal of Insects as Food and Feed* Vol. 8, No. Supplement 1, p. S115. <https://doi.org/10.3920/jiff2022.s1>
2. R. Caparros Megido, F. Madamo Malasi, **P. Nsevolo**, G. Numbi and F. Francis (2022). Perspective for edible caterpillar consumption in R.D. Congo. *Journal of Insects as Food and Feed* Vol. 8, No. Supplement 1, p. S113. <https://doi.org/10.3920/jiff2022.s1>

## VII.3. Poster in international conference

1. **Nsevolo, P.** (2021). Authoritative Taxonomic Databases for Progress in Edible Insect and Host Plant Inventories. *Biodiversity Information Science and Standards*, 5, e75908. <https://biss.pensoft.net/article/75908/>
2. **M.P. Nsevolo**, N. Kiatoko, M. Kambashi, F. Francis, R. Caparros Megido. COVID-19 and Entomophagy in DRC: contribution of edible insects to a more resilient local food system. *Insects to Feed the World (IFW) 2022*. Québec, Canada.

## VII.4. Articles under review

1. **M.P. Nsevolo**, N. Kiatoko, F. Francis & R. Caparros Megido. Could entomophagy contribute to build resilient food system? Insights into insect consumption patterns in Kinshasa (DRC) on the COVID-19's era. *Journal of Insects as Food and Feed*.

2. **Nsevolo, M.P.**, Lundanda, M.R., Kambashi, M.B., Kiatoko, N., Francis, F. and Caparros Megido, R. Who is collecting edible grubs from the wild? Typology of semi-farmers of *Rhynchophorus spp.* (Coleoptera) in DRC and insights into their attitude towards edible insect mass-rearing.
3. **P.M. Nsevolo**, R.M. Lundanda, R. Caparros Megido, F. Francis and N. Kiatoko. Analysis of sexual dimorphism and morphometric characteristics of *Rhynchophorus phoenicis* (Fabricius 1801) populations for mass-rearing perspective in DR Congo.

## VII.5. Other publications related to the thesis

1. **Nsevolo, P.**, Taofic, A., Caparros, R., Sablon, L., Haubruge, É., & Francis, F. (2016). La biodiversité entomologique comme source d'aliments à Kinshasa (République démocratique du Congo). In *Annales de la Société entomologique de France (NS)* (Vol. 52, No. 2, pp. 57-64). Taylor & Francis. <https://doi.org/10.1080/00379271.2016.1186467>
2. **Nsevolo, M.P.** Citizen science, a tool for enhancing knowledge and management of edible insect biodiversity in the Democratic Republic of the Congo. In Proceedings of the Biodiversity Information Science and Standards (TDWG) 2016 Annual Conference, Santa Clara de San Carlos, Costa Rica, 5–9 December 2016. <https://mbgocs.mobot.org/index.php/tdwg/tdwg2016/paper/view/1008/0>
3. **Nsevolo, M.P.** and Theeten, F. (2015). Université Pédagogique Nationale de Kinshasa (UPN) - Les insectes comestibles de la R.D. Congo (Entomophagie). Projet CABIN (Central African Biodiversity Information Network). Université Pédagogique Nationale de Kinshasa and MRAC (Tervuren). Occurrence dataset available via GBIF.org at <https://doi.org/10.15468/ofzo4o>
4. **Papy, Nsevolo Miankeba**, Rudy, Caparros Megido, Christophe, Blecker, Sabine Danthine, Paul Aman, Eric Haubruge, Taofic Alabi, et Frederic Francis. Edible insects and food security in DR Congo. In: Missouri Botanical Garden Open Conference Systems, *Taxonomic Database Working Group (TDWG) 2014 Annual Conference* <https://mbgocs.mobot.org/index.php/tdwg/2014/paper/view/615>
5. **Nsevolo, P.**, Caparros Megido, R., Blecker, C., Danthine, S., Paul, A., Haubruge, E., Alabi, T., & Francis, F. (2014). *Situation and perspective of entomophagy in Kinshasa*. Poster session presented at Conference insects to feed the world. <https://hdl.handle.net/2268/169330>

# VIII

---

Index\_espèces insectes



## Liste des espèces d'insectes cités (chapitre I)

Nom scientifique complet	Famille	Ordre	Page (1 <sup>st</sup> occurrence)
<i>Acheta domesticus</i> (Linnaeus, 1758)	Gryllidae	Orthoptera	5
<i>Anaphe panda</i> Boisduval, 1847	Notodontidae	Lepidoptera	12
<i>Anaphe venata</i> Butler, 1878	Notodontidae	Lepidoptera	6
<i>Antheua insignata</i> Gaede, 1928	Notodontidae	Lepidoptera	16
<i>Apis mellifera</i> Linnaeus, 1758	Apidae	Hymenoptera	5
<i>Bombyx mori</i> Linnaeus, 1758	Bombycidae	Lepidoptera	5
<i>Bunaea alcinoe</i> Stoll, 1780	Saturniidae	Lepidoptera	24
<i>Cinabra hyperbius</i> Westwood, 1881	Saturniidae	Lepidoptera	16
<i>Cirina forda</i> Westwood, 1849	Saturniidae	Lepidoptera	8
<i>Clanis bilineata</i> Walker, 1866	Sphingidae	Lepidoptera	29
<i>Dactylopius coccus</i> Costa, 1829	Dactylopiidae	Hemiptera	29
<i>Diastocera trifasciata</i> (Fabricius, 1775)	Cerambycidae	Coleoptera	20
<i>Endoxyla leucomochla</i> Turner, 1915	Cossidae	Lepidoptera	7
<i>Galleria mellonella</i> (Linnaeus, 1758)	Pyralidae	Lepidoptera	7
<i>Glycaspis brimblecombei</i> Moore, 1964	Aphalaridae	Hemiptera	9
<i>Glycaspis eremica</i> Moore, 1970	Aphalaridae	Hemiptera	9
<i>Gonimbrasia belina</i> Westwood, 1849	Saturniidae	Lepidoptera	5
<i>Huechys sanguinea</i> (De Geer, 1773)	Cicadidae	Hemiptera	13
<i>Imbrasia epimethea</i> Drury, 1773	Saturniidae	Lepidoptera	8
<i>Imbrasia truncata</i> Aurivillius, 1909	Saturniidae	Lepidoptera	6
<i>Locusta migratoria</i> (Linnaeus, 1758)	Acrididae	Orthoptera	7
<i>Macrotermes bellicosus</i> (Smeathman, 1781)	Termitidae	Blattodea	6
<i>Melanoplus mexicanus</i> (Saussure, 1861)	Acrididae	Orthoptera	11
<i>Melophorus bagoti</i> Lubbock, 1883	Formicidae	Hymenoptera	9
<i>Nudaurelia dione</i> Fabricius, 1793	Saturniidae	Lepidoptera	16
<i>Nudaurelia oyemensis</i> Rougeot, 1955	Saturniidae	Lepidoptera	6
<i>Oecophylla smaragdina</i> (Fabricius, 1775)	Formicidae	Hymenoptera	5
<i>Oryctes (Rykanes) rhinoceros</i> (Linnaeus, 1758)	Scarabaeidae	Coleoptera	6
<i>Periplaneta americana</i> (Linnaeus, 1758)	Blattidae	Blattodea	11
<i>Periplaneta australasiae</i> (Fabricius, 1775)	Blattidae	Blattodea	11
<i>Rhynchophorus bilineatus</i> Faust, J., 1899	Dryophthoridae	Coleoptera	32
<i>Rhynchophorus cruentatus</i> (Fabricius, J.C., 1775)	Dryophthoridae	Coleoptera	32

<b>Nom scientifique complet</b>	<b>Famille</b>	<b>Ordre</b>	<b>Page (1<sup>ère</sup> occurrence)</b>
<i>Rhynchophorus distinctus</i> Wattanapongsiri, 1966	Dryophthoridae	Coleoptera	32
<i>Rhynchophorus ferrugineus</i> (Olivier, A.G., 1791)	Dryophthoridae	Coleoptera	32
<i>Rhynchophorus lobatus</i> Ritsema, C., 1882	Dryophthoridae	Coleoptera	32
<i>Rhynchophorus palmarum</i> (Linnaeus, C., 1758)	Dryophthoridae	Coleoptera	32
<i>Rhynchophorus phoenicis</i> Csiki, E., 1936	Dryophthoridae	Coleoptera	5
<i>Rhynchophorus quadrangulus</i> Quedenfeldt, G., 1888	Dryophthoridae	Coleoptera	32
<i>Rhynchophorus ritcheri</i> Wattanapongsiri, 1966	Dryophthoridae	Coleoptera	32
<i>Ruspolia differens</i> (Serville, 1838)	Tettigoniidea	Orthoptera	8
<i>Samia ricini</i> Jones, W., 1791	Saturniidae	Lepidoptera	6
<i>Sphenarium magnum</i> Márquez Mayaudón, 1962	Pyrgomorphidae	Orthoptera	11
<i>Sphenarium mexicanum</i> Saussure, 1859	Pyrgomorphidae	Orthoptera	11
<i>Tagoropsis flavinata</i> Walker, 1865	Saturniidae	Lepidoptera	16
<i>Tenebrio molitor</i> Linnaeus, 1758	Tenebrionidae	Coleoptera	5