

Potentialité des insectes utilisés en alimentation de la volaille et du poisson au sud du Bénin

Auteur : Fagbohoun, Johannes

Promoteur(s) : Francis, Frédéric

Faculté : Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT)

Diplôme : Master de spécialisation en production intégrée et préservation des ressources naturelles en milieu urbain et péri-urbain

Année académique : 2017-2018

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/5095>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

Potentialité des insectes utilisés en alimentation de la volaille et du poisson au sud du Bénin

Travail de fin d'études présenté en vue de
L'obtention du diplôme de Master de spécialisation en Production Intégrée et
Préservation des Ressources Naturelles en Milieu Urbain et Péri urbain

Johannes Romuald Fagbohoun

Année académique : 2017-2018

Promoteur : Professeur Frédéric Francis

Copyright 2018. Toute reproduction du présent document par quelque procédé que ce soit ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique ¹ de Gembloux Agro-Bio Tech.

« Le présent document n'engage que son auteur »

Dans ce cas, l'autorité académique est représentée par le(s) promoteur(s) membre du personnel(s) enseignant de GxABT

Remerciements

Le présent travail qui sanctionne ma fin de formation est rendu possible grâce à la bonne volonté et à la collaboration de certaines personnes dont il convient d'adresser mes sincères remerciements.

- Je remercie en premier lieu l'Académie de Recherche et d'Enseignement Supérieur (ARES) qui nous a offert la bourse qui nous permet d'étudier à la faculté de Gembloux Agro-Bio Tech,
- Mes sincères remerciements vont à l'endroit du Professeur Frédéric Francis qui a accepté, dès le début, encadrer mon travail dès mon arrivée dans son unité et pour avoir mis à notre disposition tout le matériel nécessaire au bon déroulement de notre stage. Je vous prie de recevoir mes sincères gratitudee,
- Je remercie le Professeur Jijakli HAISSAM, responsable du Master en Production Intégrée et Préservation des Ressources Naturelles en milieu urbain et péri-urbain, qui dès mon arrivée à la faculté au sein de la faculté de Gembloux Agro Bio Tech m'a orienté vers le promoteur adéquat. Mes profonds respects.
- Mes remerciements aux Dr. Manuèle TAMO et Dr. Georg GOERGEN, Entomologistes à l'Institut International d'Agriculture Tropical, pour leur accueil de la phase d'enquête et pour la mise à disposition de certains matériels de collecte. Un merci particulier au Dr. Goerg GOERGEN pour son aide dans l'identification des différents spécimens collectés.
- Un grand merci au personnel du laboratoire d'entomologie fonctionnelle et évolutive Clément Martin, Bertrand Hoc, Nicolas Poncelet et Jeanine Bortels pour leurs aide et assistance durant tout le temps qu'a duré ce mémoire. Spécial remerciements à Clément MARTIN et Bertrand HOC pour leurs corrections à différents niveaux du présent travail.
- Un spécial merci à Habib TOESSI pour sa disponibilité et son assistance lors de la phase d'enquête dans les différentes localités parcourues.
- Enfin, je tiens à remercier ma fiancée Katina OLODO pour son aide et assistance utile lors de l'analyse des données mais aussi pour la relecture de présent mémoire et son soutien inconditionnel. Remerciements sincères

Table des matières

Remerciements	ii
Table des matières	iii
Liste des sigles Abréviation et conventions	vi
Liste des figures.....	vii
Liste des tableaux.....	viii
Abstract	ix
Résumé :	x
Introduction	1
1 Synthèse bibliographique	4
1.1 Etat des lieux de la production mondiale d'aliments pour animaux.....	4
1.2 Consommation des insectes dans le monde	5
1.3 Récolte et production des insectes dans le monde	6
1.4 Les insectes utilisés en alimentation animale	7
1.4.1 Les Diptères.....	7
1.4.2 Les Coléoptères	9
1.4.3 Les termites	10
1.4.4 Les sauterelles	11
1.5 Les animaux nourris à base d'insectes	11
1.5.1 Le porc.....	11
1.5.2 Les volailles.....	12
1.5.3 Les poissons	13
1.6 Les insectes comme complément alimentaire des animaux élevés en Afrique	13
1.7 Etat des lieux sur l'utilisation des insectes dans l'alimentation animale au Bénin	15
1.8 Bénéfices environnementaux liés à la production des insectes	15
Questions de recherche.....	19
Objectifs	20
2 Méthodologie.....	22
Milieu d'étude	22
2.1 Evaluation des connaissances endogènes sur les insectes utilisés comme complément dans l'alimentation de la volaille et du poisson au sud du Bénin.	22

2.1.1	Méthodes d'échantillonnage.....	22
2.1.2	Enquête ethno-entomologique auprès des éleveurs de volailles et de poissons au Sud Bénin.	23
2.1.3	Identification des insectes.....	26
2.2	Développement d'un système de production en masse d'insectes sur différents substrats (Laboratoire d'Entomologie Fonctionnelle et Evolutive)	28
2.2.1	Choix du substrat et de l'insecte : <i>Lucilia sericata</i>	28
2.2.2	Essai d'élevage de <i>L. sericata</i>	28
2.3	Composition nutritionnelle des insectes collectés au Bénin en comparaison à ceux produits à Gembloux Agro-Bio-Tech.....	31
2.3.1	Séchage des insectes.....	32
2.3.2	Extraction des lipides	33
2.3.3	Dosage des protéines	36
2.4	Traitement et Analyse des données.....	40
3	Résultats	42
3.1	Evaluation des connaissances traditionnelles sur les insectes utilisés en alimentation de la volaille et du poisson.....	42
3.1.1	Caractéristiques socio-économiques et professionnels des enquêtés	42
3.1.2	Identification des insectes utilisés en alimentation de la volaille et du poisson au Bénin.	45
3.1.3	Utilisation des insectes dans le régime alimentaire de la volaille et du poisson	47
3.1.4	Les différents substrats utilisés selon les insectes	47
3.1.5	Dépendance entre les variables socio-économiques et utilisation des insectes	49
3.1.6	Performance de l'utilisation des insectes.....	50
3.2	Elevage en masse de <i>Lucilia sericata</i>	51
3.3	Compositions nutritionnelles des insectes.....	53
3.3.1	Teneur en protéines et lipides de <i>L. sericata</i> selon les substrats et les stades de développements	53
3.3.2	Teneur en protéines et lipides des Insectes ou formes d'insectes collectés au Bénin ...	54
4	Discussion	57
4.1	Evaluation des connaissances traditionnelles sur l'utilisation des insectes en alimentation animale au Bénin	57
4.2	Elevage en masse de <i>Lucilia sericata</i>	60

4.3	Teneur en macroéléments des échantillons d'insectes	61
4.3.1	Taux de protéines	61
4.3.2	Taux de lipides	62
	Conclusion.....	64
	Perspectives	65
	Références bibliographiques citées	66
	ANNEXES	75

Liste des sigles Abréviation et conventions

An:	Année
AEC :	Avant l'Ere Commune
°C :	degré Celsius
FAO :	Food & Agriculture Organisation
g:	Gramme
kg:	Kilogramme
h:	Heure
l:	litre
m:	Mètre
mbar:	millibar
ml:	millilitre
P :	Probabilité
PCR :	Polymerase Chain Reaction
V :	Volume
USDA :	United States Department of Agriculture
% :	Pourcent

Liste des figures

Figure 1 : Evolution des prix des huiles et farines de poissons au plan mondiale entre 1983 et 2008 (Tacon et Metian, 2008 cités par Van Huis <i>et al.</i> , 2013)	4
Figure 2 : Evolution mondiale de la quantité d'aliments produits pour les principaux animaux d'élevage dont le porc, le bétail, la volaille et l'aquaculture (Alltech, 2017)	5
Figure 3 : Chrysalides et adultes de <i>Hermetia illucens</i> (www.bugguide.net, consulté le 04 Avril 2018)	8
Figure 4 : Adulte de <i>Lucilia sericata</i> (ww.inpn.mnhn.fr, consulté le 19 juin 2018).....	9
Figure 5 : Adultes et stades immatures de <i>Tenebrio molitor</i> (www.shutterstock.com, consulté le 25 juillet 2018)	10
Figure 6 : Ordre hiérarchique des termites (www.aramel.free.fr, consulté le 18 Juin 2018)...	11
Figure 7 : Entretiens semi-structurés avec quelques répondants dans quelques zones d'études (Fagboboun, 2018)	24
Figure 8 : Fauchage et collecte d'insectes auprès des producteurs dans L'Ouémé, Bénin. A gauche, fauchage pour capture de mouches ; à droite, collecte de termites (Fagbohoun, 2018)	26
Figure 9 : Identification des insectes au centre de lutte Biologique pour l'Afrique IITA-Bénin (Fagbohoun, 2018)	27
Figure 10 : Volières d'élevages des mouches (Fagbohoun, 2018).....	29
Figure 11 : Substrat d'élevage en masse des larves de <i>L. sericata</i> . A gauche du foie de porc broyé pur et à droite du foie enrichi à l'huile de colza (Fagbohoun, 2018)	30
Figure 12 : Production de Chrysalides de <i>L. sericata</i>	31
Figure 13 : Matériel d'extraction de lipides (Fagbohoun, 2018)	34
Figure 14: Centrifugeuse contenant les tubes Falcon (à gauche, une centrifugeuse ; à droite, un agitateur en fonction)	34
Figure 15 : Evaporateur rotatif en fonction (Fagbohoun, 2018)	36
Figure 16 : Présentation du Dumas en plein dosage des protéines (Fagbohoun, 2018).....	37

Figure 17 : Matériel de pesée et de production de pastille.....	38
Figure 18 : Carte des zones échantillonnées lors de la phase d'enquête.....	42
Figure 19 : Proportion des enquêtés selon le type d'élevage pratiqué.....	43
Figure 20 : Boîte à moustache des âges en fonction des départements et le genre des répondants	45
Figure 21 : Analyse factorielle des correspondances sur les raisons qui motivent l'utilisation des insectes dans l'alimentation des animaux selon les groupes ethniques	49
Figure 22 : Proportion des enquêtés vaccinant leurs animaux	50
Figure 23: Hiérarchisation des difficultés rencontrées dans l'utilisation des insectes en alimentation animale au Sud du Bénin.....	51
Figure 24 : Teneurs en protéines(A) et en lipides (B) des larves et pupes de <i>L. sericata</i> sur du foie et du foie enrichi à l'huile de colza. Les valeurs ayant les mêmes lettres sont identiques au seuil de 5%.	54
Figure 25 : Teneur en protéines (A) et en lipides (B) des insectes ou formes d'insectes collectés au Sud du Bénin. Les valeurs ayant les mêmes lettres sont identiques au seuil de 5%.	55

Lite des tableaux

Tableau 1 : Synthèse du questionnaire utilisé lors de l'enquête.....	24
Tableau 2 : Caractéristiques socio-démographique et professionnelles des enquêté	44
Tableau 3 : Listes insectes utilisées en alimentation animale et leurs noms locaux au Sud du Bénin ..	46
Tableau 4 : Listes animaux nourris à base d'insectes et les insectes ou partie d'insectes utilisés.....	47
Tableau 5 : Listes des substrats identifiés pour nutrition des principaux insectes utilisés	48
Tableau 6 : Paramètres mesurés sur les larves et les pupes de <i>L. sericata</i> en fonction du substrat nourricier	52
Tableau 7 : Synthèse des macroéléments des insectes impliqués dans cette étude	56

Abstract

The use of insects as food and feed is promoted worldwide. In order to assess the traditional knowledge on the potential insects being used as feed for poultry and fish in southern Benin, a survey was conducted in study area. To make the survey more accurate, 74 local farmers already integrating insects in animal feeding were randomly interviewed. Four orders, (coleoptera, Diptera, Hymenoptera andBlattodea), 9 families (Cetoniidae, Curculionidae, Dynastidae, Muscidae, Calliphoridae, Stratiomyidae, Anopheles, Termitidae, Formicidae) and 6 species (*Rhynchophorus phoenicis*, *Oryctes monoceros*, *Chrysomya regalis*, *Hermetia illucens*, *Trinervitermes togoensis* and *Microcerotermes sp*) are used as feed. Fly larvae are the main insects form implicated in animal feeding (74% of respondents already use), termites and beetles are the other species involved. In order to assess the nutritional values of the involved species, samples were oven dried and brought to Belgium for analysis. Proteins and lipids compositions of samples collected were compared to those of *Lucilia sericata* larvae and pupae reared in controlled conditions on two diets pig liver and pig liver enriched with rapeseed oil at 5%. The crude proteins content of samples harvested from Benin ranges from 58.62% to 31.30% whereas those of *L. sericata* varies from 53.85% to 38.26%. Fly larvae raised on poultry manure distinguished higher proteins composition than in any other sample. The lower crude proteins content was in *R. phoenicis* larvae.

Lipids contents vary from 31.08% (*R. phoenicis* larvae) to 11.03%(Termites), meanwhile, *L. sericata*'s lipids contents vary according to insect's stage used. Lipids content in larvae was much higher (28.01%) than those of pupae lipids contents (17.75%). Diet enriched with oil has no effect on the lipids contents but rather insects' stages. These results are preliminary outcomes for further investigations. Fatty acids and amino acids compositions analysis will provide more information on nutrients contents of insect's species.

Key-words: Insects, animal feed, proteins, lipids, *Lucilia sericata*

Résumé :

L'utilisation des insectes en alimentation humaine et celle animale est devenue une pratique qui suscite de plus en plus l'intérêt de plusieurs acteurs. Afin d'évaluer les connaissances traditionnelles sur les insectes utilisés en alimentation de la volaille et du poisson, une enquête a été menée au sud du Bénin auprès des acteurs impliqués auprès de 74 éleveurs de volailles et de poissons. Quatre ordres (coléoptères, diptères, hyménoptères et Blattoptères), neuf familles (Cetoniidae, Curculionidae, Dynastidae, Muscidae, Calliphoridae, Stratiomyidae, Anopheles, Termitidae, Formicidae) et six espèces (*Rhynchophorus phoenicis*, *Oryctes monoceros*, *Chrysomya regalis*, *Hermetia illucens*, *Trinervitermes togoensis* et *Microcerotermes sp*) ont été identifiés comme insectes impliqués dans le nourrissage des volailles et du poisson. Les larves de diptères (les mouches) sont utilisées en majorité par les enquêtés (74%), viennent ensuite les termites (23%) et les larves de coléoptères (3%). L'Analyse des taux de protéines et lipides contenus dans les échantillons collectés montre que les larves de *O. monoceros* ; les larves de *C. regalis* élevées sur la fiente de volaille et les termites de la famille des Formicidae ont une teneur en protéines supérieures à 50% (58, 62%, 56,59% et 53,85% respectivement). La teneur en lipides des échantillons varie entre 30,08% (*R. phoenicis*) et 11,03% (larves des *C. regalis* élevées sur du son de maïs+ les viscères de poissons). L'analyse de la variance montre une différence très significative entre les moyennes obtenues aussi bien au niveau de teneur en protéines que celles en lipides ($P < 0,05$).

L'élevage de *Lucilia sericata* sur du foie uniquement et du foie enrichi à l'huile de colza montre que cette mouche se développe sur les deux substrats, mieux encore la durée du stade larvaire, le taux de survie des larves et le poids des pupes issues de la diète composée uniquement sont meilleurs que les résultats obtenus sur du foie enrichi à l'huile de colza. Les larves de *L. sericata* ont un taux de protéines de 53% quel que soit le substrat nourricier. Mais au niveau des pupes, la teneur est plus élevée lorsque les larves sont nourries uniquement avec du foie (46%) en comparaison aux larves nourries sur du foie enrichi (38,26%). L'ajout de l'huile au foie n'affecte pas le taux de lipides présents des échantillons mais c'est plutôt le stade de développement de l'insecte qui conditionne le taux de lipides présents dans les échantillons.

L'étude du profil en acides aminés et en acides gras des divers échantillons permettra de mieux identifier les apports nutritionnels des insectes dans le régime alimentaire des animaux.

Mots clés : insectes, nutrition animale, *Lucilia sericata*, protéines, lipides

Introduction

La population Mondiale augmente à un rythme exponentiel. La demande alimentaire mondiale devrait augmenter de 70 à 100 % d'ici 2050 (World Bank, 2008) suivant le rythme exponentiel de croissance de la population estimée à 11,2 milliards en 2100 (ONU, 2017). Ce qui engendrera L'augmentation de prix des ressources alimentaires et accentuera par la pression sur le secteur de la production animale(FAO, 2013).

La production mondiale d'aliments pour animaux a passé la barre du Milliard de tonnes en 2016 (Alltech, 2017). Les principales matières premières entrant dans l'alimentation des animaux d'élevages sont actuellement la farine de poisson et de Soja. Environ 27% (20 millions de tonnes) des produits de pêche maritime est transformé en farine ou en huile de poisson (Cashion *et al.*, 2017). De nombreuses espèces de poissons menacées sont capturées et transformer en farine pour satisfaire aux besoins en protéines et en lipides du secteur de production animale (Amar, 2010). Le soja qui est la principale source de protéines végétales, et a vu sa production mondiale passée de 30 millions de tonnes en 1960 à plus de 350 millions de tonnes au cours de la campagne de production 2016-2017 (USDA, 2017). Ce qui engendre des impacts négatifs sur les différentes composantes de l'écosystème terrestre via l'emploi massifs d'intrants agricoles.

Dans la recherche de nouvelles sources d'aliment écologiquement durable, de nombreuses études ont montré le rôle alternatif que les insectes pourraient apporter dans l'alimentation animale (Van Huis, 2003; Tchibozo, Huis & Paoletti, 2005; Kelemu *et al.*, 2015a). En effet, la composition nutritionnelle des insectes est comparable à celle des sources conventionnelles de protéines végétales et animales (Anand, Ganguly & Haldar, 2008; XiaoMing *et al.*, 2010; De Marco *et al.*, 2015a). En général, la teneur en protéines brutes des insectes varie de 13% à 77% sur base de leur poids sec et en fonction de de l'espèce, de son stade de développement mais également du substrat sur lequel ils sont élevés (Amisi *et al.*, 2013; Caparros Megido *et al.*, 2017).

Le profil lipidique des insectes offre également de bonnes perspectives d'incorporation comme complément alimentaire dans la nutrition animale (Makkar *et al.*, 2014; Devic *et al.*, 2018).

En Afrique de nombreuses études ont montré la possibilité d'incorporer les insectes dans l'alimentation des animaux d'élevage tels que la volaille, les poissons et le porc (Mushambanyi & Balezi, 2002; Kelemu *et al.*, 2015a; Pomalégni *et al.*, 2017). Au Ghana et

au Mali par exemple, les larves de *Musca domestica* L. 1758 sont utilisées comme sources de protéines animales pour la volaille, le porc et le poisson (Kenis *et al.*, 2014)

Plusieurs travaux scientifiques ont mis en évidence la possibilité d'inclure certaines espèces d'insectes dans le régime alimentaire des poissons tropicaux et des zones tempérées (Bondari & Sheppard, 1987; Barroso *et al.*, 2014). Henry *et al.* (2018) ont fait un état des lieux des insectes comme substitut dans la nutrition des animaux et ont trouvé que par exemple certains Diptères, Coléoptères et Orthoptères présentaient une teneur en acide gras meilleure en comparaison à la farine de poissons. Chez d'autres espèces d'insectes, c'est la teneur en protéines qui est élevée (Anand *et al.*, 2008; Nguyen, Davis & Saoud, 2009).

Au Bénin incorporation des insectes dans le régime alimentaire des animaux a été investiguée par quelques auteurs (Chrysostome, 1997; Kenis *et al.*, 2014).

Malgré ce potentiel apparent des insectes en nutrition animale pour l'Afrique, peu de travaux identifient les insectes déjà utilisés. De plus, au niveau des éleveurs de volailles et de poissons, peu de vulgarisation est faite par les institutions chargées de l'accompagnement des sur l'utilisation des insectes. Vu les difficultés qu'ont les éleveurs à s'approvisionner, il est important de valoriser les insectes afin de réduire la dépendance vis-à-vis des ressources halieutiques marines qui constituent la principale source de farine de poisson.

Le présent travail vise à faire un inventaire des potentiels espèces insectes utilisés dans l'alimentation de la volaille et du poisson au Sud Bénin. Dans un premier temps i) une enquête entomologique permettra d'identifier les groupes d'insectes utilisés, ii) des études en laboratoire sur les échantillons d'insectes mettra en évidence les apports nutritionnels de ceux-ci dans le régime alimentaire des animaux.

ETAT DE L'ART

1 Synthèse bibliographique

1.1 Etat des lieux de la production mondiale d'aliments pour animaux

La production alimentaire mondiale est en constante augmentation. L'aquaculture s'est développée pour répondre à l'augmentation de la demande en poisson qui n'est plus comblée par les prises issues de la pêche maritime et continentale. De plus, des milliers d'hectares de terres sont allouées à la production agricole de matières premières à l'échelle industrielle tel que le soja destiné à produire des intrants d'élevage. (Nguyen *et al.*, 2009; Maurer *et al.*, 2016). Les sources de protéines issues de la pêche sont surexploitées pour subvenir aux besoins en intrants de l'aquaculture. Cette croissance a favorisé la surpêche des espèces de moindre valeur afin de produire la farine ou l'huile de poissons (Cashion *et al.*, 2017). Selon la FAO, (2016) la production issue de la pêche a atteint son niveau maximal en 1994, avec 30,1 millions de tonnes (équivalent poids vif). En 2014, ce chiffre est retombé à 15,8 millions de tonnes car la fabrication d'aliments d'élevage incorpore désormais les déchets issus de la découpe des poissons et également autres produits aquacoles et des farines animales du bétail. Les sources de protéines végétales issues notamment du soja, du blé et du tournesol sont aussi incluses.

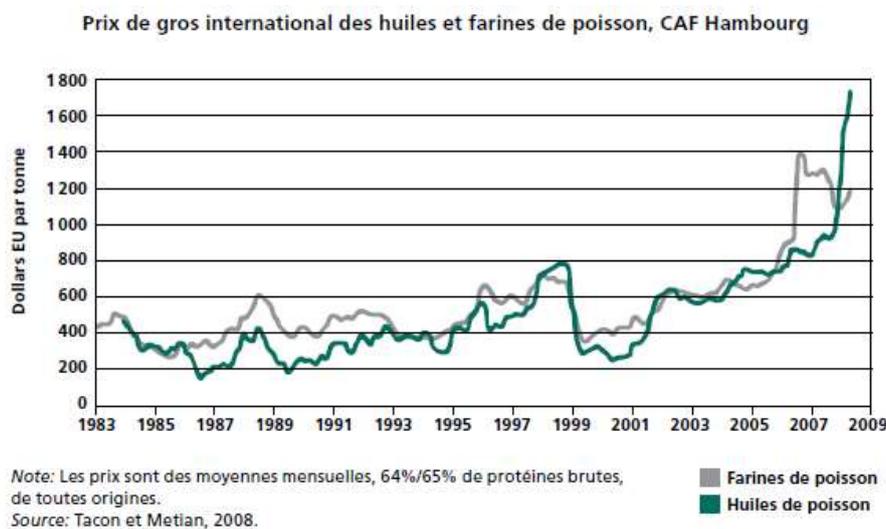


Figure 1 : Evolution des prix des huiles et farines de poissons au plan mondiale entre 1983 et 2008 (Tacon et Metian, 2008 cités par Van Huis *et al.*, 2013)

Malgré les entrepris, la production d'huile de poisson n'a pas pour autant diminué car les huiles végétales sont moins riches en oméga-3 que celles que fournissent les poissons (Kleivdal *et al.*, 2013).

En effet, la production des farines de poissons et/ou de soja représentent environ 60% à 70% du coût des aliments pour animaux. Depuis 2016, la quantité d'aliments pour animaux a atteint la barre de milliard de tonnes (Alltech, 2017), la production de volailles et de porcs consommant une part importante des ressources halieutiques (Ssepuyya *et al.*, 2017).

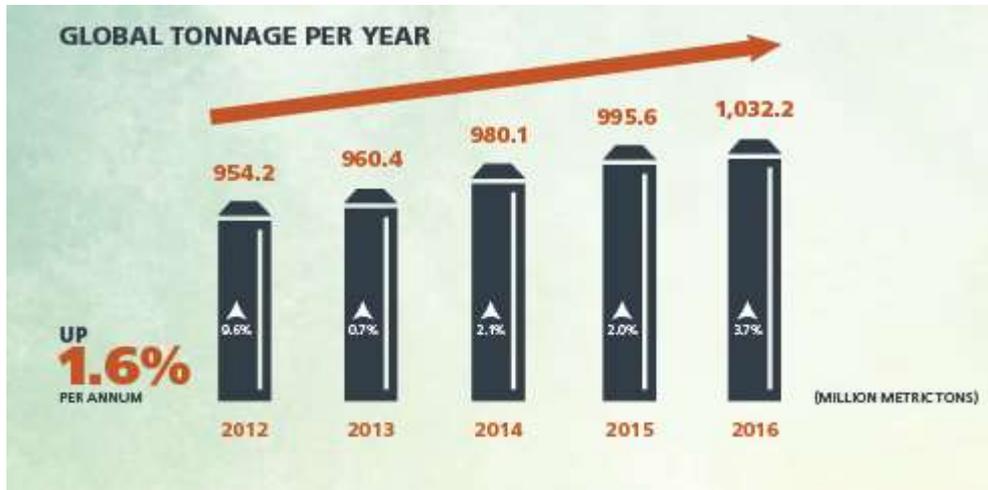


Figure 2 : Evolution mondiale de la quantité d'aliments produits pour les principaux animaux d'élevage dont le porc, le bétail, la volaille et l'aquaculture (Alltech, 2017)

1.2 Consommation des insectes dans le monde

En réalité le recours aux insectes, aussi bien dans l'alimentation humaine qu'animale est une pratique ancienne. Dans la Grèce antique, Aristote (384 – 322 AEC) a écrit dans son *Historia Animalium* : « La larve de cigale, lorsqu'elle atteint sa pleine taille dans le sol, devient une nymphe ; alors elle a le meilleur goût avant que sa carapace n'éclate (avant la dernière mue). » Il a aussi mentionné que, parmi les adultes, les femelles avaient meilleur goût après l'accouplement car elles sont pleines d'œufs (Van Huis, 2013). Dans plusieurs livres religieux du Christianisme, de l'Islam et du Judaïsme, la consommation des insectes a été notée à plusieurs reprises. Dans l'évitique (Lévitique XI : 22) il est fait mention des insectes consommés. Toutes ces informations prouvent que le recours aux insectes est une pratique très ancienne.

XiaoMing *et al.*, (2010), ont par exemple répertorié plus de 1900 espèces d'insectes comestibles à travers le monde. En Europe Occidentale et méditerranéenne et en Amérique du nord, une étude a révélé que environ 150 espèces d'insectes ont un potentiel nutritionnel en mesure de remplacer la farine de poisson (Sánchez-Muros, *et al.*, 2014). Rappelons quand même que les insectes comestibles pour l'homme ont été plus répertoriés que ceux utilisés dans l'alimentation animale.

Bien que l'entomophagie soit une pratique ancienne, il faut remarquer que peu de documents donnent des informations précises sur les régions du monde où le recours aux insectes est fréquent. Cependant, au cours des dernières décennies, un intérêt majeur est porté sur les insectes comestibles (y compris la nutrition animale).

1.3 Récolte et production des insectes dans le monde

Dans les régions du monde où les insectes font partie du régime alimentaire des populations, des méthodes de collectes et de production d'insectes et de leurs dérivés ont été développées. Généralement la disponibilité des insectes récoltés est liée à la période (la saison) de récolte et aux cycles biologiques de l'insecte. En Thaïlande et en Asie du sud est par exemple certaines espèces d'insectes, telle que les larves de libellules et les scorpions d'eau (*Laccotrephes sp.*) (Nepidae) sont disponibles toute l'année ; alors que d'autres insectes comme la fourmi rouge adulte, le bousier, le scarabée, la punaise puante ne se retrouvent qu'en février (Yhoung-Aree et Viwatpanich, 2005.)

En Amérique latine (le Mexique, la Colombie et le Brésil), la récolte des insectes a lieu en début de saison pluvieuse et se poursuit tout au long de la saison.(Huis, 2013). Sur le même continent, certaines espèces d'insectes sont plutôt récoltées en fin de saison sèche. C'est le cas notamment des larves des charançons du palmier de *Rhynchophorus palmarum* et de *Rhinostomus barbirostris* qui sont récoltées entre Septembre et Janvier qui coïncide avec la fin de la saison des pluies(van Huis, 2013)

Au Burkina Faso, en fin de saison sèche, les termites capturés à l'aide dealebasse remplies de fumier humide et d'autres matières organiques sont enterrées au sol. Quelques jours plus tard, lesalebasses sont déterrées contenant des termites(Ayieko, Oriaro & Nyambuga, 2010; Kenis *et al.*, 2014).

C'est principalement la lutte biologique contre les ravageurs des cultures qui a permis de développer des méthodes d'élevage en masse des insectes. L'élevage en masse des auxiliaires des ennemis des culture a permis de maîtriser la biologie et les techniques de production en masse(Sánchez-Muros *et al.*, 2014). Selon Leppla, (2002) cité par (Sánchez-Muros *et al.*, 2014), les grands groupes taxonomiques que sont les coléoptères(plus de 200 espèces), les Lépidoptères(plus de 300 espèces), les Diptères (environs 200 espèces), les Hétéroptères (moins de 100 espèces), Orthoptères, Hyménoptères, les Blattodea (les blattes et les termites) sont élevés sur différents substrats selon leur régime alimentaire. Chez les diptères par exemple, *Musca domestica* (Linnaeus, 1758), les larves de la mouche domestique sont élevées

sur des résidus organiques de ménages, la fiente d'animaux ou les sous-produits issus de l'agroalimentaire (El Boushy, 1991; Achiano & Giliomee, 2006). Plusieurs autres espèces sont élevées pour leur valeur économique. C'est le cas notamment des vers de farine (*Tenebrio molitor*, L.) dont les stades larvaires avancés sont une source de macronutriments pour les hommes et les animaux (Paul *et al.*, 2017). C'est une espèce dont la production en masse se fait sur des résidus d'origines végétales.

1.4 Les insectes utilisés en alimentation animale

Parmi les insectes utilisés en alimentation animale, un certain nombre sont déjà élevés en masse puisqu'ils ont déjà démontré des avantages dans l'alimentation animale (Bondari & Sheppard, 1987; El Boushy, 1991; Sánchez-Muros *et al.*, 2014; Ssepuyya *et al.*, 2017). Ici nous ne mentionnons que quelques-uns. :

1.4.1 Les Diptères

Les diptères représentent l'ordre des insectes ayant le plus d'espèces susceptibles d'être utilisées en alimentation animale. Dans cet ordre, les mouches sont les plus abondantes (Mihályi, 1965). Parmi celles-ci, la mouche soldat noire *Hermetia illucens* (*Stratiomyidae* : Linnaeus, 1758), la mouche domestique, *Musca domestica* (*Muscidae* : Linnaeus, 1758) et plusieurs autres Calliphoridae qui regroupent plusieurs centaines d'espèces dans le monde.

1.4.1.1 *Hermetia illucens*

H. illucens fait l'objet d'une attention particulière des chercheurs pour à son aptitude à se nourrir sur la matière organique en décomposition (les résidus organiques) et à sa teneur élevée en macronutriments utiles dans l'alimentation de certains animaux d'élevage. (Mihályi, 1965 ; Kenis *et al.*, 2014 ; Nakamura *et al.*, 2016 ; Devic *et al.*, 2018). En effet, Diener *et al.*, (2009) ont testé la capacité des larves de *H. illucens* à dégrader les fèces et des déchets organiques ménagers en Suisse, en Thaïlande et au Costa Rica. Ils ont trouvé que cette mouche peut réduire les résidus organiques des ménages de 65% à 75% et dans le même temps produire des larves riches en protéines ; ce qui suggère que la mouche soldat noire peut donc être utilisée pour Le traitement des déchets ménager, mais également pour la production de protéines pour animaux (Newton *et al.*, 2005; Nakamura *et al.*, 2016; Devic *et al.*, 2018). Une autre expérience menée par St-Hilaire *et al.*(2007) a montré que des larves de *Hermetia illucens* étaient nourries d'un mélange de fiente et de viscères de poissons ont leur teneur en acides gras était augmentée de 21% à 30%. De plus, cette étude a montré que nourrir les

larves d'un mélange de déjection de bœufs et de viscères de poissons permettait d'enrichir leur teneur en oméga -3 de 2.5-3.8%. *H. illucens* peut également supplanter d'autres espèces mouches qui présentent des nuisances (Allegretti, Schmidt & Talamini, 2017).

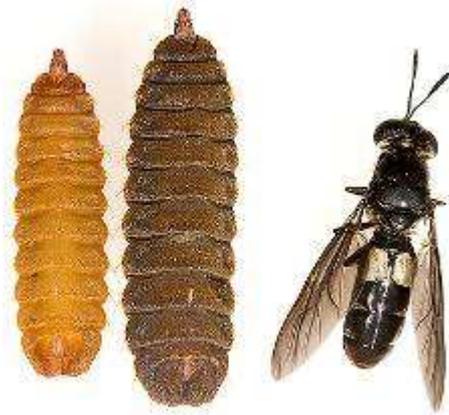


Figure 3 : pupes et adultes de *Hermetia illucens* (www.bugguide.net, consulté le 04 Avril 2018)

1.4.1.2 *Musca domestica*

Une autre mouche qui a suscité l'intérêt du monde scientifique et celles des acteurs spécialisés dans l'alimentation des animaux est la mouche domestique *Musca domestica*, (L., 1758) (El Boushy, 1991; Zuidhof *et al.*, 2003; Aniebo, Erundu & Owen, 2008; Ayieko *et al.*, 2010; Pomalégni *et al.*, 2017). En effet elle a un potentiel de conversion de la matière organique en biomasse corporelle élevée ; ce qui offre une alternative crédible au remplacement des sources conventionnelles de macro et micro nutriments pour le poisson et la volaille (El Boushy, 1991; Zuidhof *et al.*, 2003; Aniebo *et al.*, 2008).

Selon Pieterse & Pretorius, (2014), le pourcentage de certains acides aminés et acides gras tel que l'acide palmitoléique (16:1n7), l'acide oléique (18:1n9), et l'acide linoléique est plus élevé dans les larves de *M. domestica* que dans les pupes de ces dernières.

1.4.1.3 Les Calliphoridae du genre *Lucilia*

Une autre mouche qui pourrait avoir un potentiel dans l'alimentation des animaux est la mouche verte *Lucilia sericata*. C'est une mouche qui a longtemps été étudiée pour le rôle que jouent ces larves sarcophages et nécrophages dans la décomposition des cadavres ou carcasses d'animaux. (Daniels, Simkiss & Smith, 1991 ; Sherman & Tran, 1995 ; Zhang *et al.*, 2009 ; Čičková *et al.*, 2015). Plusieurs travaux scientifiques ont montré son rôle dans le nettoyage

des tissus nécrosés pour la désinfection des plaies incurables dans le domaine médical (Liu *et al.*, 2016). De nombreuses espèces de cette famille sont déjà élevées comme sources de nutriments aux animaux d'élevages. Barroso *et al.* (2014) ont d'ailleurs mentionné les larves L3 et les pupes de *L. sericata* comme potentiel parties d'insectes à utiliser en remplacement à la farine de poissons et/ou de soja. Vu l'aptitude des larves de *L. sericata* à se nourrir sur du matériel animal, ces larves pourraient avoir une teneur en protéines non négligeable et constitueraient donc une bonne source de protéines bon marché.



Figure 4 : Adulte de *Lucilia sericata* (ww.inpn.mnhn.fr, consulté le 19 juin 2018)

1.4.2 Les Coléoptères

Les larves de nombreux Coléoptères comestibles sont utilisées dans l'alimentation d'animale D'ailleurs parmi les insectes comestibles, les espèces de cet ordre sont les plus nombreux (Huis, 2013). En alimentation animale, sont utilisés, entre autres insectes de cet ordre : Le Ténébrion meunier *Tenebrio molitor* (L., 1758) ; les larves des foreuses de bois et de bousiers ; les larves des charançons des palmiers genre *Rhynchophorus sp.* D'autres ténébrions sont également utilisés. Il s'agit du petit ténébrion (*Alphitobius diaperinus*) et ténébrion géant (*Zophobas morio*). Les *Cerambycidae*, *Scarabaeidae* et *Curculionidaesont* également comme complément dans l'alimentation de la volaille et du poisson (van Huis, 2013).

Le ver de farine (Figure 5) est un insecte cosmopolite qui offre une alternative intéressante en remplacement à la farine de soja et de poisson (De Marco *et al.*, 2015b; Gasco *et al.*, 2016; Paul *et al.*, 2017; Henry *et al.*, 2018). C'est un insecte riche en protéines et en acide gras. Aguilar-Miranda *et al.*, (2002) ont élevé le ver de farine sur de la farine de maïs et de la carotte et ont trouvé après analyses des macro et micro nutriments que les larves de cet insecte ont une teneur en protéines et en lipides de $58\pm 0.3\%$ et $32.4\pm 0.2\%$, respectivement.

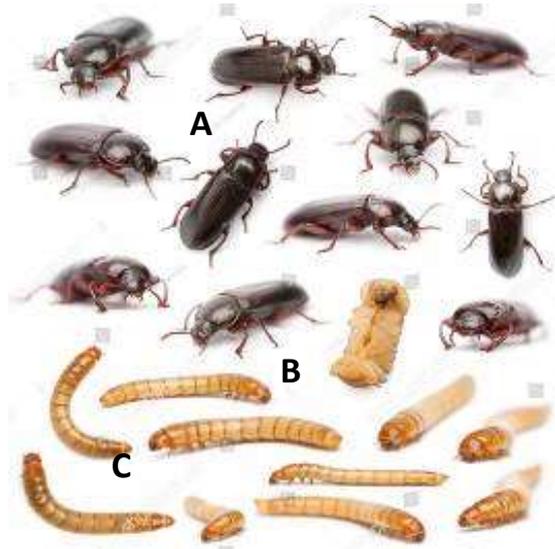


Figure 5 : Adultes et stades immatures de *Tenebrio molitor* (www.shutterstock.com, consulté le 25 juillet 2018)

A= Adulte de *T. molitor* ; B= Nympe de *T. molitor* ; C= larves de *T. molitor*

De Marco *et al.*, (2015b) ont comparé la valeur nutritionnelle de la farine d'*Hermetia illucens* et de *Tenebrio molitor*. Ils ont mis en évidence que *T. molitor* contient plus de protéines brutes, d'ester, de matière organique et d'énergie que l'aliment de base de ces animaux.

1.4.3 Les termites

Les termites sont également utilisés en alimentation animale dans plusieurs endroits du monde. Il n'est pas rare de voir la volaille se nourrir de termites en milieu rural ; ce qui fait des termites, une source alimentaire naturels pour de nombreux oiseaux. (Verbeke *et al.*, 2015). Selon Bukkens & Paoletti (2005), les termites et chenilles sont très riches en matières grasses essentielles. En Afrique, les termites font partie de la ration alimentaire journalière de certains peuples comme sources de protéines (Belluco *et al.*, 2013). Ils ont une teneur moyenne en fibre de l'ordre de 5,06% (Rumpold & Schlüter, 2014). Selon les mêmes auteurs, la teneur en protéines brutes des termites est de 35,34% et un taux de lipides de 32,74%. Par contre, Oyarzun *et al.*, (1996) ont évalué la composition nutritionnelle des termites du genre *Nasutitermes spp* et ils ont trouvé une valeur en protéines brutes de 67% et 2% de matière grasse.



Figure 6 : Ordre hiérarchique des termites (www.aramel.free.fr, consulté le 18 Juin 2018)

1.4.4 Les sauterelles

Les criquets et les sauterelles font partie des insectes comestibles. la principale raison pour laquelle les Orthoptères sont consommés est qu'ils constituent une source de protéines animales localement disponible en début de saison des pluies (Lehtovaara *et al.*, 2017). Dans la nature, la faune aviaire et même la volaille en divagation consomment les criquets et les sauterelles (Sánchez-Muros *et al.*, 2014). Selon les mêmes auteurs, des essais menés sur le nourrissage de volailles avec des diètes contenant des Orthoptères améliorent les performances de croissance. Pour ce qui est de la teneur en macronutriments des criquets, selon les espèces, on peut avoir une teneur en protéine qui varie entre 43% et 45%, c'est le cas de *Ruspolia differens* (Audinet-Serville, 1838, Kinyuru *et al.*, 2011). Par contre, *Acrida cinerea* (Thunberg, 1815), la sauterelle chinoise quant à elle a une composition en protéines brute de 65.4 et 8% de matière grasse sur base de matière sèche (Wang *et al.*, 2007). Il faut également noter que la teneur en protéines brutes des criquets et des sauterelles peut atteindre 74% selon les espèces. (Ncobela & Chimonyo, 2015).

1.5 Les animaux nourris à base d'insectes

Plusieurs expériences ont testé les performances de croissances de certains animaux nourris à base d'insectes ou fromes d'insectes.

1.5.1 Le porc

Les larves d'*H. illucens* ont été partiellement incorporées au régime alimentaire de porcs (substituées à 50% à la farine de soja) et ont obtenu une bonne croissance du à la richesse en acide aminés, acides gras et en calcium (Makkar *et al.*, 2014). Le remplacement de 10% de la

farine de poisson par la farine d'asticots dans le régime alimentaire des porcelets en Thaïlande, n'a eu aucun effet négatif sur leur croissance et ou leur prise de poids (Veldkamp & Bosch, 2015). Rappelons quand-même que peu d'études scientifiques se sont intéressées à l'incorporation des insectes dans le nourrissage du porc.

1.5.2 Les volailles

Les volailles ont bénéficié d'une attention particulière en ce qui concerne l'incorporation des insectes dans leurs diètes.

En effet, plusieurs travaux scientifiques ont été effectués sur le remplacement partiel ou total de la farine/huile de poisson ou de soja dans l'alimentation de la volaille (El Boushy, 1991; Anand *et al.*, 2008; Tomberlin *et al.*, 2015; Allegretti *et al.*, 2017; Ssepuuya *et al.*, 2017). Selon Wang *et al.*, (2007), l'incorporation de 15% de la farine de *Acrida cinerea* (Thunberg) dans la diète des poulets de chair ne réduit pas la croissance de ces derniers, ce qui confirme que ces insectes peuvent remplacer partiellement les ingrédients de base entrant dans la composition de leur ration alimentaires. Brah *et al.*, (2017), ont remplacé la farine de poisson par celle du criquet à différentes concentrations (25%, 50%, 75% et 100%) dans l'alimentation des pondeuses et ont mis en évidence que la farine de criquet améliore la couleur du jaune d'œuf. Plus intéressant, le taux de ponte, le gain de poids et le taux d'albumine dans le blanc d'œuf ne présente aucune différence significative en comparaison à ceux des pondeuses nourries à base d'aliment conventionnel. Ces travaux montrent que la farine de criquets est en mesure de remplacer celle du poisson un peu plus onéreux.

Des essais ont également porté sur l'incorporation des larves de la mouche soldat noire dans le régime alimentaire de la volaille et ont donné des résultats encourageants. Les larves de *H. illucens* ont été incorporées à 50 et à 100% dans la ration des poulets de chair et ont permis une croissance normale. Ce qui suggère que les larves de la mouche soldat noire sont en mesure de remplacer la farine de soja dans la ration des poulets de chair. (Schiavone *et al.*, 2017a). De la même manière, Maurer *et al.*, (2016) on conduit des expériences similaires sur les poules pondeuses et ont remarqué que la substitution de la farine des larves séchées de *H. illucens* préalablement élevées sur du résidu végétal, à 50% et à 100% n'affecte en rien les performances zoo technico-économiques (croissance, ponte et ration journalière), la diète conventionnelle étant le témoin dans cet essai. Plusieurs autres travaux montrent le rôle important que peuvent jouer les insectes dans l'alimentation des volailles.(DeFoliart, *et al.*, 1982; El Boushy, 1991; Anand *et al.*, 2008; Allegretti *et al.*, 2017).

1.5.3 Les poissons

Au cours des deux dernières décennies, de nombreux travaux scientifiques se sont penchés sur la possibilité d'incorporer les insectes en aquaculture (Nguyen *et al.*, 2009; Barroso *et al.*, 2014; Cashion *et al.*, 2017). Des essais d'alimentation de différentes espèces de poissons avec la farine des larves de *H. illucens* ont donné des résultats plus ou moins acceptables.

Parmi les espèces de poissons nourries à partir de la mouche soldat noire, on a : *Ictalurus punctatus* (Verreaux, 1866), la barbue de rivières qui est un poisson chat élevé et apprécié des consommateurs américains ; le tilapia bleu *Oreochromis aureus* (Steindachner, 1864), un poisson d'eaux douces que l'on retrouve en Afrique de l'ouest, au proche et/ou au moyen orient ; *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792), la truite arc-en-ciel que l'on retrouve dans les pays du nord mais également en Amérique du sud ; *Salmo salar* (Linnaeus, 1758), un poisson commun des eaux froides des zones tempérées d'Europe (Makkar *et al.*, 2014).

Par contre les larves du Bombyx du Munier se sont révélées efficaces dans l'alimentation des poissons d'élevage car ayant donné des performances de croissance similaires à celle des diètes habituelles (Hossain, Nahar & Kamal, 1997). L'incorporation à 25% des larves du ténébrion meunier comme source de protéines dans la ration des alevins du poisson chat africain (*Clarias gariepinus*) n'a eu aucun impact négatif sur leur développement. Mais malgré toutes ces études sur la capacité des insectes à remplacer la farine de poisson et de soja dont les coûts sont élevés, il convient de faire un état des lieux des travaux déjà réalisés ou en cours de réalisation en Afrique.

1.6 Les insectes comme complément alimentaire des animaux élevés en Afrique

Sur le continent africain, la recherche de sources alternatives de protéines dans les élevages aquacoles et avicoles a poussé le monde scientifique et les acteurs de ces filières à étudier le rôle que pouvaient jouer les insectes et leurs dérivés. Dans les années 1980, les compositions nutritionnelles des insectes avait déjà été étudiées surtout en Afrique Central(au Congo) (DeFoliart *et al.*, 1982; Ramos-Elorduy *et al.*, 1997). Mais ces études concernaient principalement les insectes comestibles pour l'homme. Il faut attendre la fin de cette décennie pour avoir des informations sur les insectes utilisés en alimentation animale sur le continent africain (DeFoliart, 1989). Dès les années 2000, et avec la hausse des prix des farines/huiles de poissons et de soja, le monde scientifique a commencé par explorer le potentiel des insectes comme complément en nutrition animale (Ng *et al.*, 2001; Ramos-Elorduy, 2002; Van Huis, 2003; Bukkens & Paoletti, 2005; XiaoMing *et al.*, 2010). Ainsi, l'on note un intérêt accru

pour l'incorporation des insectes, aussi bien dans le monde scientifique qu'auprès des firmes qui développent des techniques innovantes de production plus ou moins industrielle d'insectes en utilisant les sous-produits ou déchets des ménages. En Afrique, différents projets de production d'insectes à des fins de nourrissage d'animaux ont été créés.

Le premier projet qui a consacré la production d'insectes en Afrique de l'ouest est le projet « Insects as Feed in West Africa (IFWA) ». C'est un projet régional qui regroupe plusieurs pays d'Afrique de l'ouest dont : le Bénin, Burkina Faso et le Ghana. Son but est de développer des méthodes durables de production d'insectes à partir des résidus organiques à petite échelle auprès des petits exploitants. C'est un projet à travers lequel plusieurs étudiants (Master et Doctorat) seront formés dans les différents pays concernés. Il est financé par l'agence de développement Suisse, entamé en 2015, il prendra fin en 2020 (IFWA, 2018).

En Afrique de l'Est, des projets similaires à ceux en cours en Afrique de l'ouest ont vu le jour. Au Kenya et en Ouganda, le projet « Insects Feed for Poultry and Fish production in Kenya and Uganda » dirigé par le Centre International de Physiologie et d'Ecologie des Insectes (ICIPE) a vu le jour. L'objectif visé à travers ce projet est l'amélioration de la production d'aliments pour les petites exploitations avicoles et piscicoles au Kenya et en Ouganda. Il a débuté en 2014, a duré 30 mois et est financé par le Centre de Recherches pour le Développement International (IRDC) et le Centre International Australien pour le Développement Agricole (ACIAR) (ICIPE, 2018).

En Afrique du Sud, la société « Agriprotein » spécialisée dans la production industrielle de farine de larves d'insectes telle que la mouche ordinaire (y compris les Calliphoridae) et la mouche soldat noire, a vu le jour en 2008. Au bout d'une dizaine, d'année, elle a su combiner recherche académique et développement industrielle car étant en partenariat avec les universitaires et les industries de transformation agroalimentaire. Cette startup est à ce jour, capable de consommer plus de 250 tonnes de déchets organiques par jours et est en mesure de produire 20 tonnes de larves de mouches par jour, 3.5 tonnes de larves très riches en acide gras et plus de 50 tonnes de fertilisants organiques sur une superficie de 1ha. Ces farines produites servent comme sources de matières premières de nourrissage dans l'aviculture, l'aquaculture et pour les animaux de compagnie (Agriprotein, 2017).

D'autres travaux scientifiques portant sur l'utilisation des insectes en alimentation animale ont également été entrepris sur le continent Africain. (Aniebo *et al.*, 2008a) ont par exemple mis au point une technique de production de larves de mouches domestique en utilisant comme substrats, un mélange de sang d'animaux d'abattoirs avec du son de blé, de riz ou de soja.

Après un essai réalisé sur une année de production, ils ont pu obtenir une production annuelle de larves fraîches de mouches qui varie entre 705,012kg - 721,155kg/an (315,089 - 322,304kg de larves sèches), et ceci sur une quantité de sang issue des abattoirs de l'état de Rivers au Nigéria, estimée à 518,000kg/an.

1.7 Etat des lieux sur l'utilisation des insectes dans l'alimentation animale au Bénin

Au Bénin, l'intérêt pour l'incorporation des insectes dans la nutrition animale n'est pas un fait récent. En effet, en milieu rural, les populations locales savent le rôle que joue l'apport des insectes dans le régime alimentaire des animaux d'élevage. Chrysostome (1997) avait déjà effectué des tests de nourrissage de pintadeaux et de poussins avec un régime contenant des termites et avait conclu que certains termites étaient toxiques aux poussins et pas aux pintadeaux.

Plus récemment, les connaissances traditionnelles sur l'utilisation des asticots dans l'alimentation des poulets de chairs ont été investiguées (Pomalégni *et al.*, 2017). Cette étude a montré que 5,7% des éleveurs Béninois produisent déjà des larves de mouches domestiques pour nourrir la volaille. Bloukounon-Goubalan *et al.* (2018) ont quant à eux fait un inventaire des différents substrats utilisés dans la production de larves de mouche ordinaire au Sud du Bénin.

Le laboratoire d'hydrologie et d'aquaculture de l'Université d'Abomey-Calavi en partenariat avec certaines universités belges dont l'Université de Liège a lancé le projet de recherche dont le thème porte « l'optimisation de la filière de production de Tilapia au Bénin par amélioration génétique et stratégie alimentaire innovante (OpTil-Bénin) ». Une des composantes de ce projet est la mise place d'une unité de production d'aliments pour poisson à base de sous-produits locaux et d'insectes au sein de cette université (LHA, 2018). Malgré ces différents projets de recherche en cours de réalisation, peu d'informations scientifiques sont actuellement disponibles sur le potentiel des insectes capables d'apporter les éléments nécessaires à la croissance des animaux d'élevage.

1.8 Bénéfices environnementaux liés à la production des insectes

L'impact de notre système de production actuelle est déjà perceptible sur les différentes composantes de notre environnement. Une autre conséquence de notre mode de production est l'émission de Gaz à Effet de Serre (GES). La production d'insectes pour différentes finalités (consommation humaine ou animale) paraît une solution viable et durable qui réduira notre

impact sur l'environnement (Huis, 2013). En effet, la production de bétails occupe plus 70% des terres agricoles exploitables et produit plus de 1000 fois de GES que la production de tout autres insectes (Oonincx *et al.*, 2010). La production d'insectes occupe moins d'espace et produits plus de biomasse que tout autre animale d'élevage sur un intervalle de temps donné. (Diener *et al.*, 2011)

De nombreux insectes ont la capacité de consommer la matière organique faisant d'eux de véritables nettoyeurs de l'environnement. *H. illucens* par exemple atteint des taux de conversion (quantité d'aliments nécessaire pour obtenir un gain de poids de 1 kg) de 10-15 (Surendra *et al.*, 2016). Cet insecte dont les larves sont omnivores, sont capable de se nourrir divers substrats aussi bien d'origine végétale qu'animale. Une larve peut consommer entre 25mg et 500mg de matière organique par jour. (Makkar *et al.*, 2014). La mouche soldat noire est donc une espèce candidate capable de convertir des résidus organiques en biomasse. De plus, la teneur en éléments nutritifs des larves de cette mouches correspond aux besoins nutritionnels de certains animaux d'élevages comme les poissons et la volaille (Schiafone *et al.*, 2017a).

La production d'insectes consomme moins d'eau et de terre que les élevages conventionnels. Par exemple produire 1kg de poulet nécessite en moyenne 2300 litres d'eau, or, la production de la même quantité d'insecte nécessitera peu car certaines espèces pouvant survivre dans des conditions environnementales très extrêmes (Chapagain & Hoekstra, 2003).

Un autre avantage que présente l'utilisation des insectes à des fins alimentaires est la réduction des ravageurs des cultures car certains insectes qui sont connus pour être de véritable nuisances pour les cultures se sont avérés très riches en éléments nutritifs (van Huis, 2013). Par exemple les larves des charançons des palmiers qui sont de redoutables ravageurs des plantations de palmiers à huile sont comestibles et sont également incorporées aux diètes des animaux.(Kelemu *et al.*, 2015b). Il en est de même pour les criquets et les sauterelles qui dévastent des cultures telle que les céréales, mais sont prisés comme sources de protéines (Kinyuru *et al.*, 2011; Caparros Megido *et al.*, 2016; Lehtovaara *et al.*, 2017; Paul *et al.*, 2017).

La production d'insectes à partir de sous-produits entre dans une démarche d'économie circulaire car elle permet d'utiliser les déchets d'une activité comme matière première d'une autre (Newton *et al.*, 2005; Bai *et al.*, 2007; Oonincx, van Huis & van Loon, 2015). De plus,

comme nous l'avons mentionné plus haut, la production d'insectes à partir des déchets produits des résidus exploitables en agriculture biologique en tant que fertilisants organiques.

Malgré le potentiel des insectes à résoudre certains problèmes environnementaux, leur manipulation peut engendrer des problèmes de d'hygiène et même d'allergie.

Certains insectes tels que la mouche domestique sont des vecteurs de maladies et de bactéries pouvant nuire à l'homme. C'est le cas par exemple des mouches ordinaires qui peut véhiculer des maladies ou des germes pathogènes telle que le Bacille *Vibrio Cholerae* responsable du choléra. Aussi le recours aux insectes collectés dans la nature présente des risques si ceux-ci sont contaminés par les polluants de l'environnement, ces polluants peuvent se retrouver dans les insectes et poser de problèmes de santé aux animaux qui les consomment (Nyakeri *et al.*, 2017).

La mouche soldat noire quant à elle a l'habileté de diminuer certaines bactéries mais pas les contaminants. Des études ont par exemple prouvé qu'elle est en mesure de réduire *Escherichia coli* dans la fiente d'animaux (Liu *et al.*, 2008). L'un des avantages que présente *H. illucens* est qu'elle ne se rencontre que sur des matières en décomposition souvent loin des habitations. Il a même été prouvé que cette mouche surplante les mouches ordinaires lorsque les deux sont présentes dans un même milieu (Newton *et al.*, 2005; Gligorescu *et al.*, 2018). Au vu de tout ce qui précède, les insectes présentent une solution alternative complémentaire aux ingrédients de base essentiels à la croissance des animaux d'élevage.

L'intérêt de ce travail de fin d'étude porte sur l'évaluation des connaissances traditionnelles (Traditionnal Ecological Knowledge, TEK) car des études ont prouvé que les populations locales ayant des pratiques historiques d'utilisation des ressources acquièrent des informations sur l'écosystème, les processus et les propriétés de la faune et de la flore locales appelées connaissances écologiques, qui peuvent être traditionnelles, locales ou récemment acquises (Alves & Rosa, 2005). De plus en plus, des travaux scientifiques prennent en compte les connaissances que possèdent les populations traditionnelles sur l'utilisation des animaux ou des végétaux et leurs applications dans différents domaines ; en partie parce que la base empirique développée au cours des siècles peut avoir, dans de nombreux cas, une corroboration scientifique ; mais surtout en raison des aspects historiques, économiques, sociologiques, anthropologiques et environnementaux d'une telle pratique.

Dans le cas de notre étude, nous utilisons une des méthodes préconisées par (Huntington, 2000) pour évaluer les connaissances endogènes des populations locales Au travers d'un questionnaire.

Questions de recherche

La présente étude repose sur une démarche scientifique dont les questions de recherches se résument en ces points :

- Quelles sont les localités où les insectes entre dans le régime alimentaire de la volaille et du poisson et quels sont les groupes ethniques ayant une connaissance avérée sur le sujet au sud du Bénin ?
- Quels sont les insectes actuellement utilisés dans le nourrissage de la volaille et du poisson dans la zone d'étude ?
- Quels substrats localement disponibles offrent un élevage optimal et durable des insectes impliqués ?
- Quels sont les apports nutritionnels des insectes impliqués dans la diète des animaux ?
- La qualité du substrat d'élevage des insectes influence-t-elle sur la teneur en éléments nutritionnels de ces derniers ? Quelle est la teneur en lipides et en protéines des insectes recensés selon leur mode d'élevage ?

Objectifs

L'objectif principal visé par la présente étude est de répertorier et analyser, les connaissances locales sur les insectes utilisés comme sources de nutriments dans l'alimentation animale de la volaille et du poisson au sud du Bénin. Il s'agit de faire une enquête entomologique dans les différents départements du sud du Bénin et d'identifier les potentiels insectes capables d'apporter des éléments nutritifs essentiels à la croissance des animaux d'élevage à travers des études de composition nutritionnelle mais aussi de proposer des substrats localement disponibles capable de produire des insectes très riches en macronutriments permettant la croissance optimale des animaux d'élevage.

De manière spécifique, ce travail permettra de :

1. Evaluer les connaissances endogènes sur les insectes utilisés comme complément dans l'alimentation des animaux

- 1.1. Identifier les insectes ayant un potentiel alimentaire pour la nutrition animale ainsi que les stades de développement impliqués,
- 1.2. Répertorier les différentes diètes (résidus) locales utilisées pour l'élevage des insectes,
- 1.3. Catégoriser les espèces animales nourries à base d'insectes

2. Développer des systèmes d'élevage en masse d'insectes sur différents substrats

- 2.1. Identifier les substrats qui offrent un élevage optimal des principaux insectes identifiés,
- 2.2. Tester quelques paramètres de croissance d'insectes retenus sur deux diètes différentes

3. Evaluer la qualité nutritionnelle des insectes produits par les populations locales afin de proposer uns substrats favorables à leur production.

- 3.1 Déterminer le taux de lipides présents dans les différents insectes dont les populations locales ont mentionné selon leur l'utilisation
- 3.2 Evaluer l'impact des substrats d'élevage des insectes sur le taux de protéines brutes des insectes.

MATERIEL ET METHODES

2 Méthodologie

Milieu d'étude

Notre zone d'étude s'est concentrée sur le sud du Bénin précisément, dans la zone guinéo-congolaise : 6°25 à 7°30' N (Figure 6) regroupant : 7 départements à savoir : le Couffo, le Mono, l'Ouémé, le Plateau, l'Atlantique, le Littoral et le Zou. Le choix de cette partie du Benin, est justifié par des études antérieures qui ont Mis en évidence l'utilisation d'insectes dans l'alimentation animale.

Le climat est de type subéquatorial avec deux saisons pluvieuses et deux saisons sèches. La pluviométrie annuelle varie de 900 mm à l'Ouest à 1 300 mm à l'Est, (Adomou, 2005). Les groupes socioculturels dominants dans le milieu d'étude sont les Adja, les Aïzo, les Fon, les Gèn, les Goun, les Holli, les Hwla (Péda compris), les Kotafon, les Nago (Yoruba compris), les Sahouè, les Toli, les Watchi et les Wémè.) (Fandohan *et al.*, 2017).

2.1 Evaluation des connaissances endogènes sur les insectes utilisés comme complément dans l'alimentation de la volaille et du poisson au sud du Bénin.

2.1.1 Méthodes d'échantillonnage

Au vu la thématique de l'étude réalisée, nous avons choisi d'adopter un échantillonnage non probabiliste (ou empirique) et plus précisément, un plan d'échantillonnage à choix raisonné ou méthode des « quota » (Desabie, 1963). Cette méthode a été choisie pour les raisons suivantes :

- Pas de liste exhaustive préétablie de la cible de notre sondage (les éleveurs de volailles et de poissons non répertoriés) initiale de notre unité de sondage qui est les éleveurs utilisant les insectes dans l'alimentation de leur cheptel ;
- Nous avons choisi la méthode des quotas car notre échantillonnage doit être représentative des éleveurs incorporant les insectes dans la diète de la volaille et du poisson
- L'autre raison pour laquelle nous avons choisi cette méthode est d'ordre économique. En effet, l'échantillonnage aléatoire nécessite plus de moyens et de ressources.

2.1.2 Enquête ethno-entomologique auprès des éleveurs de volailles et de poissons au Sud Bénin.

L'enquête ethno-entomologique s'est déroulée durant les mois d'Avril et de mai 2018 au Sud du Bénin. Avec l'aide des agents des directions départementales de l'agriculture l'élevage et de la pêche du Bénin, des chefs de villages ou quartiers de ville, nous avons identifié les localités où les éleveurs incorporent les insectes dans la ration de leurs animaux. Une fois phase d'identification réalisée, nous nous sommes fixés comme échantillon pour chaque type d'acteur (éleveurs et pisciculteurs) au moins 30 enquêtés répartis sur la zone d'étude. Ensuite un contact avec les différents acteurs a été établi et nous avons fixé rendez-vous avec ces derniers selon leur disponibilité. Une fois l'entretien convenu, l'éleveur est rencontré sur sa ferme ou son habitation selon le site où il produit les insectes, afin de lui administrer le questionnaire.

Une interview semi-structurée nous a permis de poser les questions suivantes : les descripteurs socio-démographiques des répondants, les caractéristiques professionnelles (activités principales et niveau d'instruction), les caractéristiques des insectes utilisés, Les caractéristiques de l'élevage (voir fiche d'enquête synthétisée ci-dessous) sont entre autres les différents aspects abordés lors de l'enquête. Le questionnaire est inspiré de celui de (Niassy *et al.*, 2016), mais dans notre cas, nous nous sommes limités aux questions relatives aux insectes utilisés comme complément alimentaire pour les animaux concernés par notre étude .

Un guide local ou un conseiller agricole nous assiste lorsque les répondants ne peuvent s'exprimer dans une langue que nous ne comprenions. Ce guide est choisi sur ses compétences pour ce type de mission ou par son réseau Un échantillon de chaque espèce d'insecte mentionné par les éleveurs sondés est recueilli à des fins d'identification et d'analyses en laboratoire. Le tableau 1 ci-dessous présente les grandes lignes du questionnaire.



Figure 7 : Entretiens semi-structurés avec quelques répondants dans quelques zones d'études (Fagboboun, 2018)

A=Entretien avec un utilisateur d'insectes accompagné d'un guide local, département du Couffo, Bénin
 B= Echange avec une productrice de larves de mouches, département du Zou, Bénin,
 C= Site de collecte de larves d'insectes dans une tige de palmier en décomposition, département de l'Ouémé. Bénin
 D= Site de production de larves de mouches, à gauche, collecte de larves de mouches avec une épuisette et à droite, préparation de substrat pour la production de larves de mouches. Département du Mono, Bénin

Tableau 1 : Synthèse du questionnaire utilisé lors de l'enquête

Caractéristiques socio-économique et professionnelles du répondant
Nom et Prénom :
Age :
Sexe :
Niveau d'instruction :
Activité principale :
Taille du ménage :
Utilisation des insectes
Raisons motivant le recours aux insectes
Animaux nourris à base d'insectes

Liste des insectes utilisés par le répondant (nom local et français et substrat de production)

Mode d'obtention des insectes utilisés

Période de ramassage ou de production intense

Description de la production d'insectes

Formes d'utilisation des insectes

Performances liées à l'utilisation d'insectes dans élevage.

Rentabilité liée à l'utilisation d'insectes dans l'élevage

Difficultés liées à l'utilisation d'insectes

Vaccination des animaux nourris à base d'insectes

En plus du questionnaire, un GPS (Garmin 64s) est utilisé pour enregistrer les coordonnées géographiques de chaque localité échantillonnée et réaliser une carte géoréférencée des zones parcourues.

Afin d'identifier les insectes impliqués, on procède à un piégeage selon les ordres. Pour les Diptères par exemple, lorsqu'il s'agit des adultes, un filet fauchoir est utilisé pour les capturer dans la zone de production de leurs larves (voir Figure 7). Les autres insectes sont capturés selon le piège adéquat.

Pour les termites appartenant à la famille des *Formicidae*, un piège lumineux utilisé.

Avec un récipient contenant de l'eau, les insectes y sont capturés et collectés. Les termites de la famille des *Termitidae* quant à eux, sont recueillis auprès des éleveurs qui nous les fournissaient à notre demande (Figure 7)



Figure 8 : Fauchage et collecte d’insectes auprès des producteurs dans L’Ouémé, Bénin. A gauche, fauchage pour capture de mouches ; à droite, collecte de termites (Fagbohoun, 2018)

Une partie des échantillons collectés auprès des éleveurs est conservée selon leur état de collecte : les lépidoptères ou autres insectes séchés sont conservés à température ambiante (20-25°C) alors que les autres ordres sont conservés dans des tubes Falcon® à fond plat de 50 ml (Figure 8) dans de l’alcool à 70° C et mis au frais (température ambiante).

L’autre partie des échantillons (celles réservées à l’analyse de macroéléments) est conservée soit vivant et ramenés à l’IITA-Bénin pour séchage à l’étuve dans le cas échéant, soit séchés temporairement au soleil.

2.1.3 Identification des insectes

Les insectes collectés durant la phase d’enquête sont ramenés au laboratoire pour l’identification. La première étape de cette identification consiste à un tri initial des spécimens de chaque boîte selon leur ressemblance et dissemblance morphologique. Tous les individus ayant la même morphologie et ayant été collectés sur le même site sont regroupés ensemble. Cette opération permet de faciliter les le montage des insectes pour l’identification.

Le tri ayant permis de repartie les insectes selon les grandes rangs taxonomiques (ordre et familles), on procède ensuite au montage des insectes sur du polystyrène (frigolite) à l’aide des aiguilles de dimensions et de tailles différentes.

Après le montage, un binoculaire est requis pour l’observation des caractères morphologiques de chaque insecte (appareil buccal, formes et membrane des ailes) et ceci en se référant aux clés dichotomiques d’identification des insectes telle que celle de (Delvare & Aberlenc, 1989)

spécifique aux insectes d'Afrique et d'Amérique tropicale. Cette clé ne comportant pas toutes les familles d'insectes surtout, l'ordre des Diptères, nous nous référons aux spécimens conservés soit à International Institute of Tropical Agriculture (IITA-Benin). La présence d'entomologistes, spécialistes des insectes tropicaux nous permet d'identifier certains échantillons jusqu'au niveau de l'espèce.

Certains insectes étant aux stades larvaires et l'identification à cette phase étant difficile, nous avons laissé certaines larves en élevage afin d'obtenir des adultes plus facilement identifiables. Pour les insectes non identifiés, nous procédons à une identification par barcoding jusqu'au niveau de l'espèce en fonction des amorces disponibles (pour des contraintes de temps, cette identification par PCR se fera ultérieurement.).



Figure 9 : Identification des insectes au centre de lutte Biologique pour l'Afrique IITA-Bénin (Fagbohoun, 2018)

1= salle de conversation de plus 400 mille spécimens d'insectes de toute l'Afrique de l'Ouest et du Centre ; 2= Quelques Coléoptères servant de référence dans l'identification des échantillons ; 3= salle d'identification des insectes au binoculaire au sein du centre ; 4= larve de coléoptère laissée en élevage à l'IITA Bénin.

2.2 Développement d'un système de production en masse d'insectes sur différents substrats (Laboratoire d'Entomologie Fonctionnelle et Evolutive)

2.2.1 Choix du substrat et de l'insecte : *Lucilia sericata*

Le département d'Entomologie Fonctionnelle et Evolutive dispose de plusieurs espèces d'insectes ayant le potentiel d'apporter des macroéléments capables de répondre aux exigences nutritionnelles des animaux d'élevage tel que les poissons et les volailles. Afin de comparer les macronutriments d'une des espèces dont dispose le laboratoire à celle collectées au Bénin, nous avons procédé à un élevage d'un diptère dont *Lucilia sericata*. Cet insecte a été choisi comme espèce candidate car c'est une Calliphoridae et cette famille de mouche a une très large distribution car elle est présente en milieu tropical où a eu lieu la phase d'échantillonnage. Il est donc très probable de trouver des *calliphoridae* dans notre collection du Bénin

L'élevage de *L. sericata* est fait sur un substrat d'origine animale qu'est le foie de porc. Ce substrat est la diète standard d'élevage de cette mouche en laboratoire (Tarone & Foran, 2008). L'autre raison pour laquelle le foie est choisi est que cet insecte est nécrophage et participe à décomposition des cadavres (Daniels *et al.*, 1991; Arong *et al.*, 2011). L'idée d'utiliser le foie vient du fait que plus tard si les résultats sont concluants, les déchets d'abattoirs et/ou de boucheries pourront être utilisés pour sa production.

2.2.2 Essai d'élevage de *L. sericata*

L'élevage de *L. sericata* se fait comme mentionné précédemment, du foie de porc uniquement (FP) et du foie de porc enrichi à l'huile de colza à 5%(FH). L'idée d'utiliser l'huile de Colza vient du fait que, très souvent les lipides des insectes sont pauvres en acide gras linoléique (oméga 3) et cette huile est connue pour sa composition en cet acide (Bourre, 2003; Barroso *et al.*, 2017). L'autre raison est d'ordre économique car cette l'huile est plus abordable que 'autres qui ont un taux en oméga bien supérieur.

Un pré-test sur différentes concentrations d'huile (du foie de porc enrichi à 5% ; 10% ; 15% ; 20% ; 30% ; 40 % ; et à 50%) nous permet de noter que les larves L₁ (larves de 24h) ne survivent qu'à une concentration de 5% d'huile. Ce qui nous permet de considérer cette concentration pour la suite de notre expérience.

Pour cet essai, 2 kg de foie sont achetés dans une charcuterie et séparés en deux lots d'un 1 kg de foie chacun. Au premier lot, on pèse 950 g de foie auquel on ajoute 50g de foie pour le

porter à 1 kg de substrat final. Le mélange est ensuite broyé à l'aide d'un mixer de type Kenwood Multipro FP905 à vitesse maximale pendant 5 minutes. Le reste du foie c'est-à-dire celui n'ayant pas reçu d'huile de colza est broyé telle qu'elle. Pour des raisons d'étiquetage, le substrat constitué de foie sans huile est noté FP et celui enrichi à l'huile est noté FH.

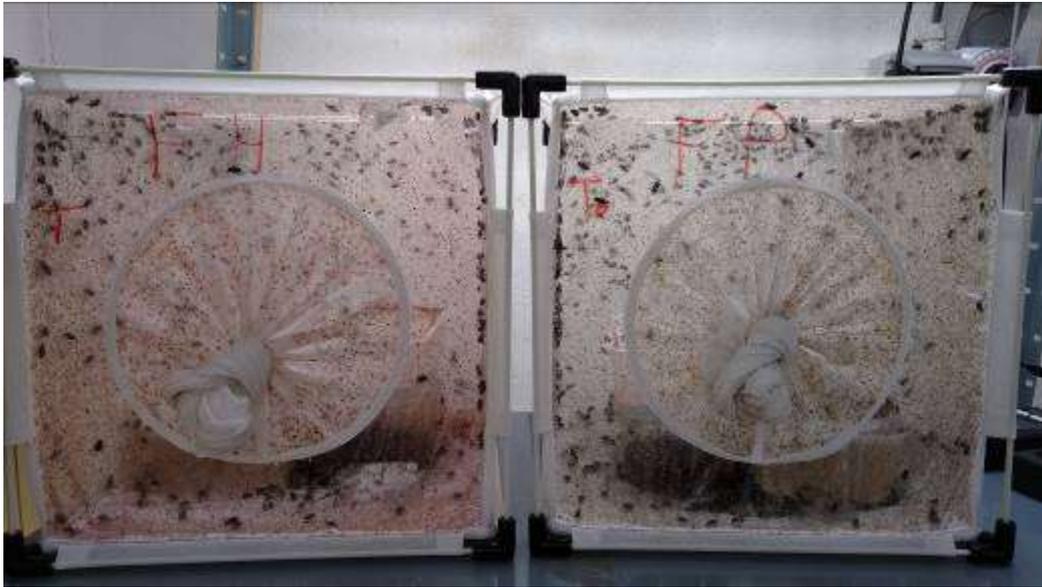


Figure 10 : Volières d'élevages des mouches (Fagbohoun, 2018)

Dans deux volières (figure 10), environ 2500 pupes de *L. sericata* sont déposées dans chacune des volières et suivies jusqu'à l'émergence des mouches. Afin de permettre aux mouches de s'accoupler, les adultes nouvellement émergés disposent d'un mélange d'eau et de sucre pendant 72h sans soumission de substrats, ceci afin d'avoir des femelles accouplées (Sherman & TRAN, 1995; Zheng *et al.*, 2017). Environ 100g de chaque diète auquel on ajoute 20 ml d'eau distillée que l'on mélange pour la garder toujours humide est soumis à chaque population de mouche (Zhang *et al.*, 2009 ; Arong *et al.*, 2011). 24h après, on constate la ponte des œufs sur les substrats et ceux-ci sont retirés et déposés dans une salle dont les conditions sont contrôlées (température moyenne $28,21^{\circ} \pm 0,83$ C ; humidité relative $54,44 \pm 3,52\%$, Figure période : 12h/12h) (Firoozfar *et al.*, 2011). Après éclosion des œufs de *L. sericata*, les larves sont nourries et le substrat est rajouté s'il arrivait à manquer jusqu'à ce que les mouches atteignent le stade pré-pupes (Gallagher, *et al.*, 2010).



Figure 11 : Substrat d'élevage en masse des larves de *L. sericata*. A gauche du foie de porc broyé pur et à droite du foie enrichi à l'huile de colza (Fagbohoun, 2018)

Lorsque les larves atteignent le stade de L₃ (5-7 jours après éclosion des œufs), c'est-à-dire le stade de pré-pupes une partie des larves est séparée des juvéniles et conservées par cryoconservation à une température à -50°C. L'autre partie est laissée dans un récipient contenant du sable où les larves migrent pour se transformer en pupes. Ces dernières sont également récupérées et conservées à une température de -50°C. Ce processus est ainsi réitéré jusqu'à l'obtention d'une quantité larves et de pupes de mouche verte jugée suffisante pour des analyses nutritionnelles.



Figure 12 : Production de Chrysalides de *L. sericata*

Afin de mesurer l'effet d'ajout d'huile sur la croissance des larves, par traitement, 10 larves L_1 sont séparées chacune dans des boîtes de pétri de 35 mm et 2 g de substrat est déposé dans chaque boîte de pétri et suivies jusqu'à ce que les larves atteignent le stade pupe. Cette opération est répétée trois fois, soit 30 larves par traitement. Les paramètres suivants sont mesurés pour chaque traitement (les stades de développement, les substrats nourriciers étant ici les traitements) : La matière sèche des stades de développements produits, le taux de suivi des larves qui est le nombre de larves par substrat au stade de pupaison, la durée des stades larvaires qui est le nombre jour entre éclosion et la formation de pupe et enfin le poids moyen d'une pupe selon le substrat.

2.3 Composition nutritionnelle des insectes collectés au Bénin en comparaison à ceux produits à Gembloux Agro-Bio-Tech

Afin de mieux investiguer les apports nutritionnels des insectes utilisés par les populations locales au Sud du Bénin dans l'alimentation des animaux élevés et ceux produits en laboratoire, une analyse de la composition nutritionnelle principalement, des lipides et des protéines est réalisée sur les différents échantillons. Ces analyses nous permettent de quantifier et de caractériser les lipides et les protéines contenues dans les échantillons afin de mieux orienter la production en masse des insectes selon les espèces, les substrats d'élevage en masse de ces derniers afin que leur apport dans le nourrissage des animaux soit plus rationnel.

Comme échantillons ramenés du Bénin, nous avons : les larves de mouches composées principalement *Chrysomya regalis* (Calliphoridae) élevées sur trois différents substrats (du son de maïs mélangés aux restes de poissons ; le drèche mélangé aux feuilles de moringa ; la fiente de poules pondeuses nommés respectivement : ASMP, ADM et AFV) ; *Microcerotermes* sp. (Termitidae) noté TO ; les larves des charançons des palmiers *Rhynchophorus phoenicis* notées RH, adultes reproductives des termites de la famille des Formicidae TA, des larves de Dynastidae dont l'espèce *Oryctes monoceros* notée DY. Comme mentionné dans le chapitre précédent, nous avons également produit les larves et pupes de *L. sericata* afin de les comparer aux insectes collectés lors de la phase d'enquête. Larves et pupes de *L. sericata* élevées sur du foie uniquement sont notées LFP et PFP respectivement alors que les larves et pupes élevées sur du foie enrichi à l'huile de Colza sont notées LFH et PFH respectivement.

2.3.1 Séchage des insectes

Les insectes récoltés lors de la phase de collecte sur le terrain ou formes d'insectes sont affamés pendant au moins 12 heures pour vider le tube digestif des larves de leur contenus (Aniebo & Owen, 2010). Les échantillons sont ensuite mis à mort à froid à une température de -20°C pendant 24h. Après cette étape, on les pose sur du papier aluminium puis ils sont séchés temporairement à l'étuve à environ 40° C pendant 72h (Sogbesan & Ugwumba, 2008). Cette procédure nous permet de les conserver en attendant notre arrivée en Belgique pour une harmonisation des méthodes de séchage.

Les larves produites sont quant à elles affamées pendant 24h, et mis à mort par cryoconservation et lyophilisées avec les échantillons collectés sur le terrain.

Une fois en Belgique, afin d'harmoniser les conditions de séchage, tous les échantillons sont lyophilisés pendant 5 jours (120 h) après avoir subi une congélation à -50°C durant le même intervalle de temps (Barroso *et al.*, 2014). Chaque échantillon est ensuite broyé à l'aide d'un moulin IK, modèle M20 pendant 5 minutes à vitesse maximale afin d'obtenir une farine capable de traverser un tamis dont les mailles font 1 mm de diamètre (Paul *et al.*, 2017). Ces farines obtenues sont de nouveau conservées à une température de -20 degrés jusqu'aux analyses.

2.3.2 Extraction des lipides

La quantification de la teneur en lipide de chaque espèce d'insecte se fait par la méthode de Folch *et al.*, (1957) et reprise par plusieurs autres auteurs (St-Hilaire *et al.*, 2007; Lee *et al.*, 2010; Paul *et al.*, 2015). C'est une méthode à froid utilisée pour l'extraction des lipides dans le tissu biologique ou produits alimentaires avec des solvant binaire (chloroforme, hexane...etc.) (Théodet & Gandemer, 1991) et un solvant polaire (dans notre cas une solution de NaCl à 58%) qui permet de rompre les liaisons lipides-protéines. Le mélange de solvant dans notre étude est le Chloroforme/méthanol (2 :1 ; V: v), soit 200 ml de chloroforme pour 100 ml de méthanol par exemple.

Le matériel utilisé pour l'extraction des lipides est composé entre autres de (voir Figure 13) :

- Une Balance analytique de précision 0,0001 g (de portée 210g)
- Méthanol (CH₃OH)
- Chloroforme (CHCl₃)
- Une solution préparée de Chlorure (NaCl) de sodium à 58%
- Entonnoirs
- Ampoules à décanter de 250 ml
- Ballons à fond plat de 500 ml
- Tubes Falcon de 50 ml
- Filtres de 5 μ de 125 mm de diamètre
- Tubes Falcon de 5 ml
- Pipettes pasteur en verre de 150 mm
- Centrifugeuse SIGMA 4K15
- Evaporateur rotatif
- Epruvettes graduées (50 ml - 200 ml -500 ml)

Le protocole exécuté lors de la phase d'extraction des lipides se présente comme suit :



Figure 13 : Matériel d'extraction de lipides (Fagbohoun, 2018)

Faire trois pesées de $\pm 5g$ de chaque échantillon d'insecte dans les tubes Falcon de 50 ml c'est-à-dire trois répétitions), ajouter 25 ml du mélange de Chloroforme/méthanol (2/1) dans chaque tube Falcon®. Mettre les tubes sur un support de tubes de cette taille et les disposer sur un agitateur pendant 10 mn à vitesse maximale (420 tours/minutes). Cela permet d'homogénéiser les deux phases dans les tubes. Les échantillons sont ensuite passés dans une centrifugeuse à haute vitesse (modèle SIGMA 4K15) pendant 10 mn à 4000 g et à une température de 20° C (température ambiante) pour séparer les deux phases dans le tube. Dans la centrifugeuse, les tubes Falcon sont placés de manière à équilibrer le poids centre de cette dernière (Figure 14 A)



Figure 14: Centrifugeuse contenant les tubes Falcon (à gauche, une centrifugeuse ; à droite, un agitateur en fonction)

Une fois le processus précédent terminé, vider le surnageant de chaque tube dans une ampoule de 250 ml, c'est-à-dire un tube par ampoule en se servant d'un entonnoir muni du filtre.

Une fois le surnageant récupéré, ajouter à nouveau le solvant initial, reprendre les l'agitation et la centrifugation dans les mêmes conditions citées plus haut. Cette opération est reprise deux fois.

Une fois le surnageant récupéré à nouveau, après centrifugation, rincer les filtres à l'aide du solvant et compléter les la solution recueillie dans les ampoules à décanter jusqu'à 120 ml de solution finale. Ajouter ensuite à chaque ampoule 30 ml de la solution de NaCl à 58% (58g pour 100 ml).

Chaque ampoule est fermée à l'aide du couvercle et agitée trois fois pour mélanger les deux phases. Cette opération se réalise en retournant l'ampoule et la valve par laquelle le liquide coulera préalablement fermés, puis agiter et dégazer par la valve entre chaque agitation. Après l'agitation et le dégazage, laisser décanter toute la nuit, le mélange. Cela permet de séparer deux phases non-miscibles dont celle inférieure contient les lipides.

Le lendemain, il faut récupérer cette phase organique inférieure dans des ballons à fond plat préalablement tarés (un ballon par ampoule). Une fois la récupération, ajouter 40 ml de solvant de Chloroforme (CHCl_3) dans chaque ampoule et reprendre l'opération de mise en contact et de dégazage. Laisser ensuite reposer le mélange de chaque ampoule pendant environs 5h. Récupérer à nouveau la phase organique inférieur dans les mêmes ballons que précédemment (celle supérieure ne servant plus, elle est jetée selon la procédure du laboratoire).

Pour récupérer les lipides contenus dans la solution récupérée dans les ballons, un évaporateur rotatif de Marque BUCHI, modèle R-2010 est utilisé pour concentrer le lipide contenu dans la solution de chaque ballon (Figure 15).

L'évaporateur rotatif ou « rotavapor » est un appareil qui permet de faire évaporer par condensation, au maximum, un solvant dans une solution (dans notre cas du $\text{CHCl}_3/\text{CH}_3\text{OH}$) pour ne rester que le lipide dans le ballon(Price, 2007).



Figure 15 : Evaporateur rotatif en fonction (Fagbohoun, 2018)

L'évaporateur comprend un bain-marie, un ballon de forme adaptée (dans notre cas nos ballons à fond plat), un autre ballon(500ml) qui récupère le solvant évaporé, un réfrigérant qui condense les gaz récupérés, un aspirateur-compresseur qui, en réduisant la pression (pas en dessous de 200mbar) dans le ballon contenant notre échantillon, provoque l'évaporation assez rapide du solvant à température ambiante (35°C dans notre étude). pour ne pas oxyder les lipides (Kpoviessi *et al.*, 2004).

Une fois l'étape de l'évaporateur rotatif terminée, on utilise l'azote gazeux pour éliminer les dernières traces de solvant dans le ballon. Enfin, on pèse les ballons afin de calculer le taux de lipides contenu dans $\pm 5g$ de l'échantillon initial.

2.3.3 Dosage des protéines

La teneur en protéines de chaque spécimens récolté est déterminé en utilisant la méthode Dumas, (1831). Dans le cadre de notre étude, nous travaillons avec l'appareil Rapid Ncube Elementar (Dumas).



Figure 16 : Présentation du Dumas en plein dosage des protéines (Fagbohoun, 2018)

La méthode Dumas permet le dosage de l' N_2 . L'échantillon est soumis à une combustion à une température de $960^\circ C$, en présence d' O_2 . Le gaz issu de la combustion passe par une série de tubes contenant des produits qui visent à éliminer tous les gaz autres que le N_2 . Ensuite, l'azote arrive au détecteur pour y être détecté et dosé. Les gaz de combustion entraînés par le courant d'hélium passent sur un catalyseur d'oxydation qui les transforme en CO_2 , H_2O , SO_2 , SO_3 , $NxOy$. Ces gaz passent alors sur un deuxième catalyseur (cuivre réduit) qui va réduire les oxydes d'azote en azote élémentaire, le SO_2 , en SO_3 , et piéger l'excès d'oxygène. A la sortie du tube, on trouve en plus du gaz vecteur hélium, les gaz N_2 , SO_2 , CO_2 et H_2O . Les produits non dosés sont piégés. Les gaz obtenus sont alors séparés dans une colonne de chromatographie et quantifiés par un détecteur à conductibilité thermique (González-Martín, Álvarez-García & Hernández-Andaluz, 2006). Le signal obtenu est amplifié puis traité par un ordinateur. (Alais, Dumas & Saint-Lebe, 1961; Thiex *et al.*, 2002). Dans notre étude, nous avons considéré comme facteur de protéines 6.25 car cela permet la transformation de la quantité d'azote déterminée en poids de protéine (Guillou, Pélissier & Grappin, 1986).

Pour doser le taux de protéines dans les différents échantillons, la procédure suivante est appliquée :

Les échantillons qu'ils soient solides ou liquides doivent être emballés pour pouvoir être introduits dans la machine. Les échantillons solides sont emballés dans du papier sans azote. Ils sont ensuite compressés grâce à une presse. Tandis que les échantillons liquides (ou

contenant un peu de liquides) sont pesés dans des feuilles en étain avec du sable utilisé comme adsorbant. Les échantillons passés à la presse se transforment en pastilles et ce sont ces pastilles qui sont introduites dans le Dumas.

La production des pastilles se fait de la manière suivante : Durant la production de pastilles il faut faire attention à quelques points : dans un premier temps, il est important de veiller à porter des gants lors de la manipulation, les doigts pouvant apporter de l'eau, des protéines ou autre, ce qui modifie la masse de la pastille ou la concentration en azote et donc la mesure finale ; dans un deuxième temps, faire attention au pliage vous évitera de casser la pastille lors la compression et ainsi de devoir recommencer l'opération. La pesée de chaque échantillon est répétée trois fois, soit trois répétitions pour chaque échantillon. Toutes les pesées sont faites dans cette expérience avec une balance OHAUS, modèle Discovery de portée 210 g avec précision de 0,0001 g.



Figure 17 : Matériel de pesée et de production de pastille

Les points suivants sont à respecter :

- A. Placer le support et un papier plié en « cornet de frite » dans la balance. Tarer
- B. Peser 200 mg d'échantillon (ne pas encore noter la masse)
- C. Effectuer le pliage du papier contenant l'échantillon
- D. Compresser
- E. Peser et noter la masse

Les points mentionnés ci-dessous concernent les échantillons solides. Celles des échantillons liquides (ou contenant des liquides) se présente comme suit :

- A. Façonner un puis avec la feuille en étain en s'aidant du support approprié,

- B. Mettre un fond de sable et tarer,
- C. Peser 200µl (ou mg) de l'échantillon et noter la masse exacte,
- D. Recouvrir l'échantillon avec du sable jusqu'à ce qu'il ait tout adsorbé,
- E. Refermer en veillant à ne rien renverser,
- F. Recouvrir d'une 2ème feuille en étain.

Avant de commencer l'analyse proprement dite des échantillons, un nettoyage et l'analyse des témoins est nécessaire. Les témoins sont utilisés pour générer un facteur de correction.

Ils sont analysés puis comparés à leur pourcentage d'azote théorique. Ce facteur de correction sera multiplié au pourcentage d'azote des échantillons mesurés et nous donnera sa teneur réelle en azote. Dans notre cas nous avons utilisé l'acide aspartique comme témoin durant toutes les analyses.

Une fois que les pastilles sont préparées, les séquences sont encodées dans une nouvelle page de données et enregistrée. On choisit ensuite la méthode appropriée à l'échantillon à mesurer. Ce sont le débit et le temps pendant lequel l'échantillon est soumis à l'arrivée d'O₂ qui sont modifiés. Par défaut on travaille avec le 250mg standard.

On encode chaque série d'analyse de cette façon : nom de la personne + date.

Mettre le carrousel en position « 0 ». Pour cela: System -> carousel position -> cocher "all samples removed from carousel" et reference run. Le carrousel se met en position de départ.

Placer les échantillons dans les puits du carrousel.

Si les paramètres de pression, débit et températures sont atteints, on peut démarrer la séquence. Soit en automatique soit en single, c'est-à-dire un échantillon à la fois.

Lorsque l'on travaille en automatique, ce qui est notre cas, on peut programmer l'arrêt de la séquence après les 8 premières mesures de façon à calculer le daily factor et ainsi contrôler le bon fonctionnement de l'appareil. Pour cela, cocher uniquement « sleeping at sample number : 8 » dans sleep/wake up options et appuyer sur ok. Ensuite, on pourra redémarrer la séquence en appuyant sur « automatique ». L'appareil arrête les mesures après la dernière ligne encodée. Une fois les analyses terminées, on met l'appareil en veille.

Rappelons que cette procédure est celle en vigueur au laboratoire de chimie alimentaire de la faculté de Gembloux où nous avons effectué les analyses.

2.4 Traitement et Analyse des données

Les données brutes de l'enquête ont été dépouillées, et saisies dans le tableur Excel (pack Microsoft office 2016) puis exportées et traitées avec le logiciel statistique R 3.4.2 dans Rstudio (<http://www.rstudio.com> ; <http://www.R-project.org/>) (R development core team (1995–2015)). La statistique descriptive grâce aux packages ggplot2 version 2.21 Wickham (2016) nous a permis de générer les tableaux de contingences, les boîtes à moustaches, les camemberts, et histogrammes afin de ressortir les informations essentielles selon l'objectif initial de notre étude. En associant les données socio-démographiques et professionnelles des enquêtés, aux différentes données sur l'utilisation des insectes par le biais des tableaux de contingence, nous avons vérifié la dépendance des variables par une analyse factorielle des correspondances grâce au package FactomineR version 1.41 (Husson et al., 2007) et facto extra 1.05 (Kassambara and Mundt, 2017) et confirmé l'indépendance par le test de Khi-carré.

Afin de vérifier la significativité des différents traitements de chacun des variables : poids individuel des pupes, teneur en protéines et lipides selon les insectes et les substrats, une analyse de la variance (ANOVA) au seuil de 5% a été effectuée sur les paramètres considérés. Les modèles ANOVA (à un et a deux facteurs) ont été validées grâce aux tests de normalité de Shapiro-Wilk et d'homogénéité des résidus de Bartlett. Le test de Tukey du package agricolae 1.2-8 nous a permis de comparer les moyennes des différents traitements selon les variables concernées.

Résultats et Discussion

3 Résultats

3.1 Evaluation des connaissances traditionnelles sur les insectes utilisés en alimentation de la volaille et du poisson.

3.1.1 Caractéristiques socio-économiques et professionnels des enquêtés

Au total, 74 répondants ont été questionnés lors de l'enquête dans cinq départements à savoir : le Mono, le Couffo, l'Ouémé le plateau et le Zou. La figure 4 montre la dispersion géographique des enquêtes dans les départements respectifs. 84% (62 enquêtés) de ces enquêtés sont des hommes contre seulement 16% (12 personnes) pour les femmes (Table 2). Sur le plan professionnel, 52,70% (39 enquêtés sur 74) des répondants pratiquent l'aviculture uniquement, 36,49% (27 sur 74) sont des aviculteurs et 10,81% (8 sur 74) pratiquent les types d'élevage à la fois (Figure 5).

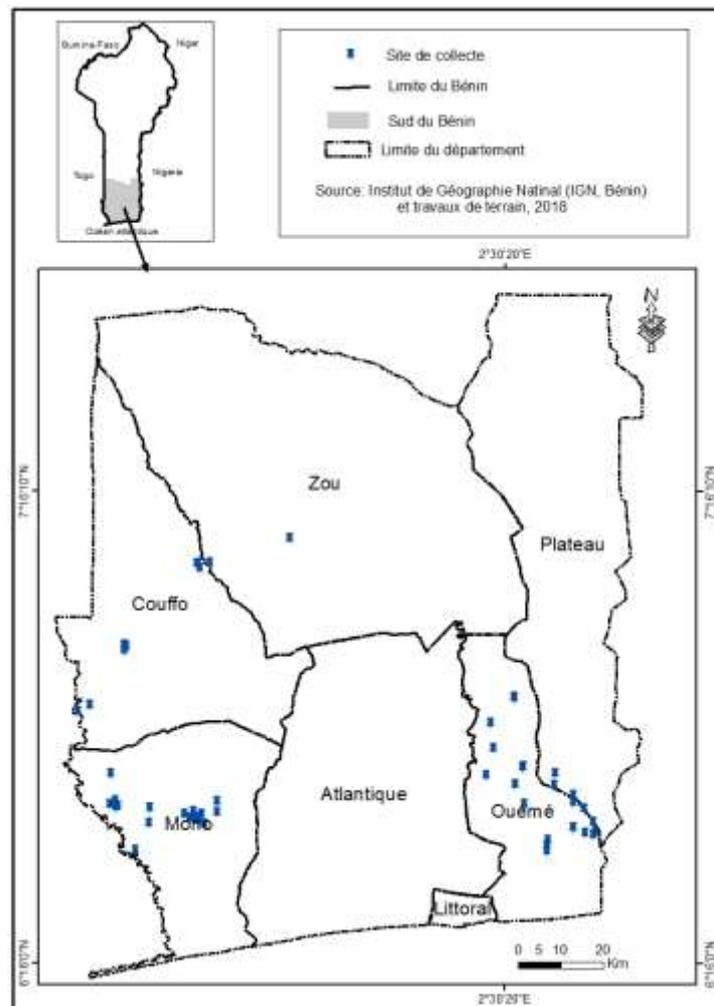


Figure 18 : Carte des zones échantillonnées lors de la phase d'enquête

La moyenne d'âges des répondants est de $47,58 \pm 11,21$ ans avec le plus jeune et le plus âgé des éleveurs rencontrés dans le département de l'Ouémé (Figure 6). Dans certains départements tels que le Zou et le plateau nous n'avons rencontré aucune femme utilisant les insectes (Figure 6). Sur le plan ethnique, les groupes majoritaires qui incorporent les insectes dans l'alimentation de leur cheptel sont : les Adja (15 sur 74) ; les Sahouè (13 sur 74) et les Tori (11 sur 74), et les autres groupes minoritaires sont les Wémè, Goun, Kotafon, Fon et autres ethnies (Tableau 2). Du point de vue éducation, il ressort de notre enquête que 17% des répondants sont analphabètes, 28% ont fréquentés jusqu'au primaire, 30% ont un niveau secondaire et enfin 19% un niveau universitaire (Tableau 2). Les secteurs d'activités des personnes interrogées lors de notre enquête sont l'élevage (42%), l'agriculture (39%) et dans une moindre mesure la transformation agro-alimentaire.

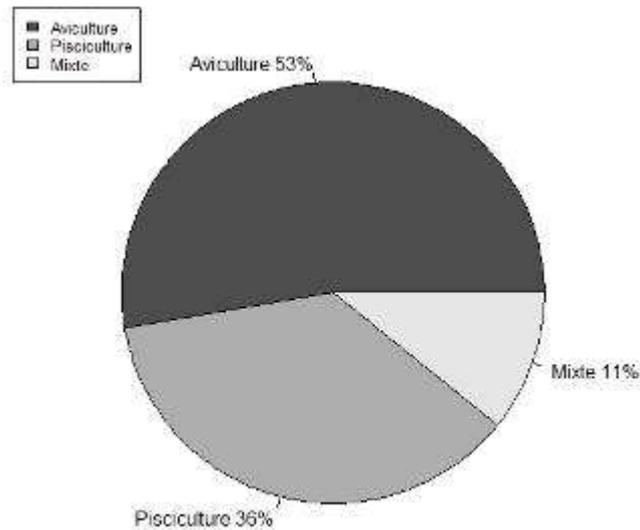


Figure 19 : Proportion des enquêtés selon le type d'élevage pratiqué

Tableau 2 : Caractéristiques socio-démographique et professionnelles des enquêtés

Données socio-économiques et professionnelles des répondants							
Caractéristiques	Mono	Couffo	Ouémé	Plateau	Zou	Total	
Genres	H=21	H=12	H=24	H=3	H=2	H=62	
	F=1 T= 22	F= 8 T=20	F=3 T=27	F=0 T= 3	F= 0 T=2	F=12	
L'Age moyen (ans)	50,09±8.40	46,95 ±9.87	47 ±14.26	39.66 ±9.29	46,0± 5.65	47,58±11.21	
Proportion des groupes ethniques investigués							
Adja	Sahouè	Tori	Wémè	Goun	Kotafon	Fon	Autres ethnies
20,27%	17,56%	14,86%	12,16%	10,81%	8,1%	5,41%	5,41%
Activités socio-économiques des principales des répondants							
Elevage		Agriculture		Agroalimentaire		Autres	
42%		39%		4%		15%	
Niveau d'instruction des enquêtés							
Analphabètes		Primaire		Secondaire 1 ^{er} cycle		Secondaire 2 nd cycle	Universitaire
17 (23%)		21 (28%)		16 (22%)		6 (8%)	14(19%)

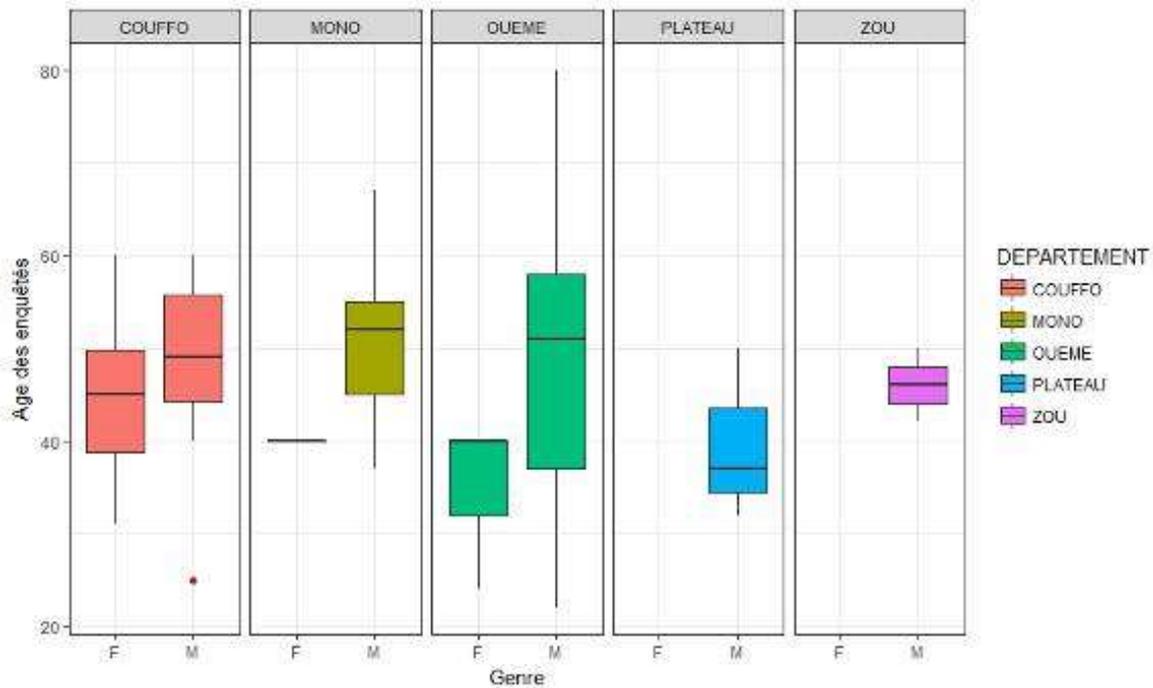


Figure 20 : Boîte à moustache des âges en fonction des départements et le genre des répondants

3.1.2 Identification des insectes utilisés en alimentation de la volaille et du poisson au Bénin.

L'investigation sur les insectes utilisés en alimentation animale au Sud du Bénin a permis de révéler les grands groupes d'insectes utilisés comme ingrédients de base dans l'alimentation de la volaille et du poisson. Après les travaux d'identification des insectes collectés lors de la phase d'échantillonnage, les spécimens répertoriés dans le tableau 5 sont les principaux insectes et formes d'insectes utilisés en alimentation de la volaille et du poisson. Au total, 4 ordres d'insectes, 9 familles et 6 espèces ont été identifiés comme insectes utilisés en alimentation de la volaille et du poisson. L'ordre des diptères est le plus représenté des ordres car étant représenté par au moins 4 familles et plus de 6 Genre/espèces. Ensuite, viennent les coléoptères avec 3 familles. Les ordres des Blattoptères et des Hyménoptères ne sont représentés que par les Termitidae et Les Formicidae respectivement.

Tableau 3 : Listes insectes utilisées en alimentation animale et leurs noms locaux au Sud du Bénin

N°	Ordre	Famille	Nom scientifique	Partie utilisés (stade de développement)	Origines	Noms locaux	Ethnies
1	Coléoptère	Cetoniidae	Indéterminée	Larve	Déchets ménagers	Otran, Atran	Sahouè
2	Coléoptère	Curculionidae	<i>Rhynchophorus phoenicis</i>	Larve	Palmier à huile en décomposition	Atran, Ekon	Adja
3	Coléoptère	Dynastidae	<i>Oryctes monoceros</i>	Larve	Palmier Raphia	Gohoungo	Tori, Yoruba
4	Diptère	Muscidae	Indéterminée	Larve	Son de maïs+ tourteau de palme et	Owé	Kotafon
5	Diptère	Calliphoridae	Indéterminée	Larve	Fiente de lapin	Owé	Kotafon
6	Diptère	Calliphoridae	<i>Chrysomya regalis</i>	Larve	Son de maïs + tripes de poissons	Yékui, Ewan, Wanviou, Wanvou, Owé	Adja, Fon, Tori, Goun, Wémè
7	Diptère	Stratiomyidae	<i>Hermetia illucens</i>	Larve	Déchet de fruits	Wévi	Wémè
8	Diptère	Anopheles	Indéterminée	Larve	Eau saumâtre	Wedou- Wédou	Tori
8	Blattoptères	Termitidae	<i>Trinervitermes togoensis</i>	Adulte	Termites	Kossou- Kossou	Fon
9	Hyménoptère	Formicidae	Indéterminée	Adulte ailé	Ramassage après la pluie	Kô féfé	Sahouè, Kotafon, Adja
10	Blattoptères	Termitidae	Indéterminé	Adulte	Termitière	Koussou- Kossou	Sahouè
11	Blattoptères	Termitidae	<i>Microcerotermes sp.</i>	Adulte	Termitière	Koussou- Kossou	Tori, Aizô, Wémè

3.1.3 Utilisation des insectes dans le régime alimentaire de la volaille et du poisson

Des informations reçues des répondants, un tableau de contingence (annexe 2) a été établi en fonction des insectes ou partie d'insectes utilisés et des différentes ethnies échantillonnées. Il ressort que 74,32% (55 sur 74) des enquêtés utilisent prioritairement les larves de mouches dans l'alimentation de leurs animaux ; 22,97% utilisent les termites comme insectes principales et seulement 2,7% ont recouru aux larves des coléoptères comme insectes dans la nutrition de leur élevage.

Parmi les insectes utilisés en alimentation animale, les larves de mouches sont utilisées dans la nutrition des poules, pintades, canards, pigeons et de dinde. Les larves de coléoptères sont utilisées en complément aux aliments conventionnels quand elles sont disponibles. Les termites sont souvent utilisés dans la nutrition des poussins et des pintadeaux (Tableau 4). Pour les poissons, les larves de mouches font parties des principales formes d'insectes entrant dans leur alimentation. Les termites et les larves font également partie de leur alimentation.

Tableau 4 : Liste animaux nourris à base d'insectes et les insectes ou partie d'insectes utilisés.

Volailles	Insectes/partie d'insectes utilisés	Poissons	Insectes/partie d'insectes utilisés
Poussins, Poules, Pintadeaux et Pintade	Termites, Larves de mouches, termites, larves de coléoptères	<i>Clarias sp.</i> Alevins et adultes	Termites, Larves de mouches, termites, larves de coléoptères
Canard	Termites,	<i>Tilapia sp.</i> Adultes	Termites,
Dinde	Larves de mouches		Larves de mouches
Pigeon,			Larves de moustiques
Canard			Larves de coléoptères

3.1.4 Les différents substrats utilisés selon les insectes

Plusieurs substrats font partie des ressources utilisées en alimentation de la volaille et du poisson au sud Bénin.

Ces substrats sont parfois utilisés seul ou en combinaison avec d'autres qui permettent d'attirer les mouches et autres insectes dans le mélange. Le tableau 5 résume et décrit les différents substrats utilisés par les enquêtés.

Tableau 5 : Listes des substrats identifiés pour nutrition des principaux insectes utilisés

Insectes	Substrats de production	Description
Larves de mouches (Muscidae et Calliphoridae)	Son de maïs, son de soja, fiente de poulets pondeuses, fiente de lapin drèche, fiente de porc, tripes de poissons cadavre d'animaux, viscères de lapins ou de poules, son de blé, tourteau de palme, feuille de Moringa, reste de fruit en décomposition	Mélanger un des substrats avec de l'eau déposer le mélange à l'ombre à l'air libre pour que les mouches pondent dessus. Parfois plusieurs substrats sont combinés surtout celles d'origines animales et végétales
Termitidae	Feuilles sèches de chiendent, bouse de vache, bois sec	Mettre les feuilles sèches de chiendent dans un canari et y ajouter la bouse de vache le tout arrosé d'un peu d'eau. Retourner ce canari sur une termitière dont on casse l'extrémité
Larves de coléoptères	Palmiers pourrissant dans les champs	Ramassage des larves dans les palmiers pourrissant aux champs.
Adultes des Hyménoptère de la famille des Formicidae	Ramassage par piégeage lumineux après les premières pluies	Disposer d'une source de lumière électrique. Mettre de l'eau dans un récipient en dessous de la source de lumière pour capturer les insectes.

3.1.5 Dépendance entre les variables socio-économiques et utilisation des insectes

3.1.5.1 Relation entre les raisons énumérées et les groupes ethniques rencontrés

L'analyse factorielle de correspondance (AFC) montre une relation dépendante entre les groupes ethniques (Figure 8) et les raisons d'utilisations des insectes. Cette observation a été confirmée par le test Khi-carrée qui montre un lien statistique entre les variables ethnies et les raisons d'utilisation ($\chi^2= 86.756$, P-value 0.0005). Ainsi, les *Houeda* utilisent les insectes principalement pour le gain de poids de leurs animaux pendant que les *Goun* considèrent les insectes comme des aliments peu coûteux. Par contre les *Fon*, les *Adja* trouvent que les insectes dans le nourrissage de leur animal, accélèrent la croissance de ceux-ci.

Les raisons d'incorporation des insectes dans la ration de leur cheptel pour les autres groupes ethniques sont partagées entre le fait que ce soit des aliments naturels riches en nutriments ou des aliments induisant la résistance des animaux face aux maladies.

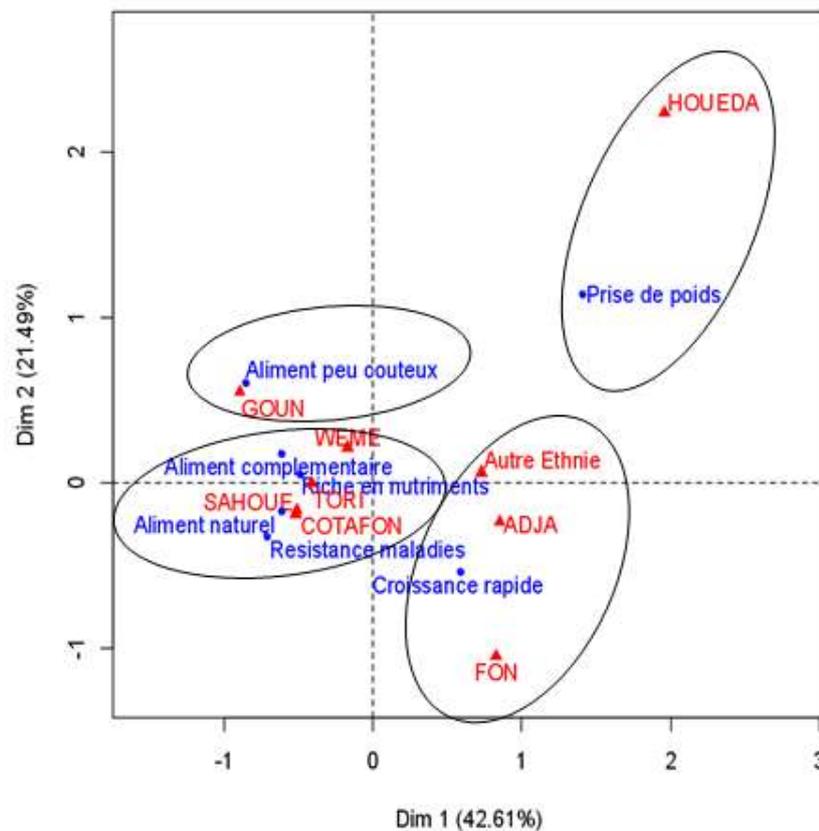


Figure 21 : Analyse factorielle des correspondances sur les raisons qui motivent l'utilisation des insectes dans l'alimentation des animaux selon les groupes ethniques

3.1.5.2 Relation les raisons utilisation des insectes et les principaux insectes recensés

Nous avons vérifié s'il existe une dépendance entre les raisons énumérées et les insectes rencontrés. Aucune dépendance statistique n'est observée entre ces deux paramètres ($\chi^2 = 14.32$, P-value= 0.425). Ce qui témoigne que quel que soit les insectes rencontrés les raisons évoquées par les enquêtés sont à priori identiques

3.1.5.3 Relation entre l'âge des enquêtés et les raisons évoquées

Aucune dépendance statistique n'est remarquée entre l'âge des enquêtes et les raisons observées ($\chi^2 = 21.944$, P-value= 0.079). Ainsi, l'âge des enquêtés n'influence pas les raisons évoquées.

3.1.6 Performance de l'utilisation des insectes

3.1.6.1 Vaccination des animaux nourris aux insectes

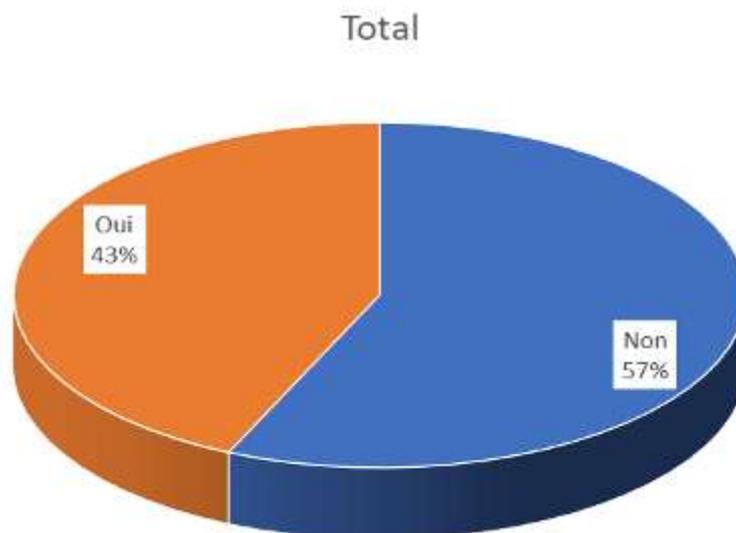


Figure 22 : Proportion des enquêtés vaccinant leurs animaux

Plus de la moitié des enquêtés ne vaccine pas leurs animaux. Comme raisons évoquées pour ne pas vacciner les animaux, certains éleveurs mentionnent que les animaux nourris aux insectes résistent mieux aux maladies d'où l'absence de vaccination.

3.1.6.2 Rentabilité et difficultés d'utilisation des insectes

La totalité des répondants (100%) sont unanimes sur le fait que l'utilisation des insectes dans le régime alimentaire de leurs animaux est rentable et comme arguments ils ont évoqué les mêmes raisons qui motivent le recours aux insectes. Toutefois, malgré cette rentabilité, ils énumèrent en majorité (47/74) les problèmes de disponibilité des substrats pour ceux élevés, et d'insectes pour ceux ramassés (Figure 7). Les autres difficultés minoritairement recensées sont les problèmes d'odeur qui se dégage des sites de production d'insectes, de digestion

difficile chez les poussins, de non maîtrise des techniques de productions et la durée de production. Seulement 4 enquêtés sur les 74 pensent que cette technique n'a aucune difficulté.

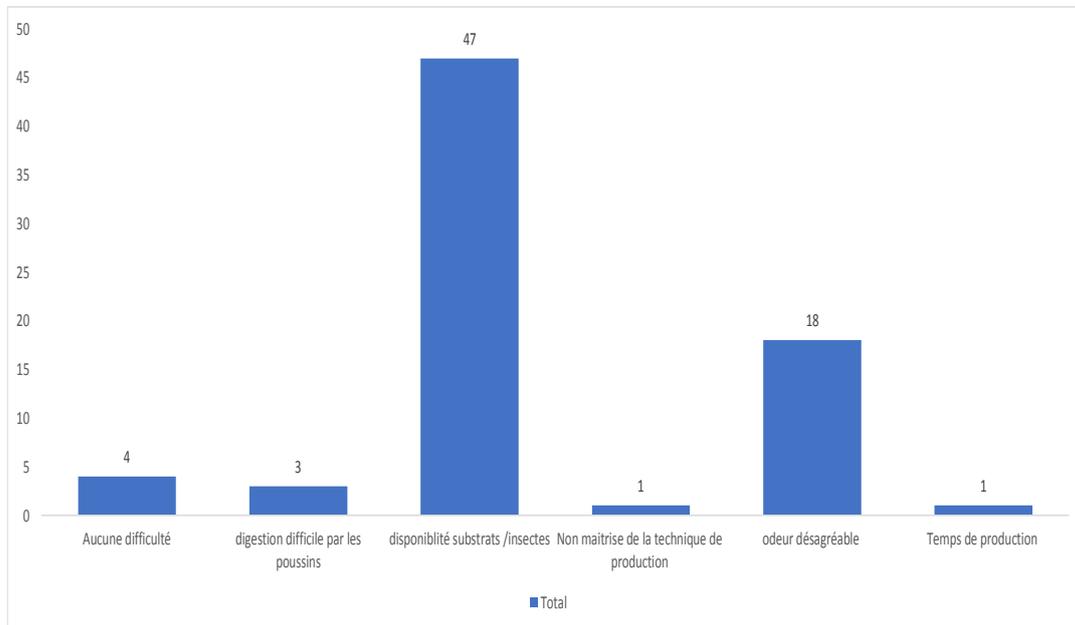


Figure 23: Hiérarchisation des difficultés rencontrées dans l'utilisation des insectes en alimentation animale au Sud du Bénin.

3.2 Elevage en masse de *Lucilia sericata*

L'élevage en masse de *L. sericata* montre selon le stade lavaire (L) ou pupe (P) et le substrat : foie uniquement (FP) et foie enrichi à 5% d'huile de Colza (FH) après 8 jours de production a conduit à 4 traitements qui sont : (i) larves de *L. sericata* sur uniquement du foie (LPFP), (ii) larves *L. sericata* sur foie +huile (LFH), (iii) pupes de *L. sericata* sur uniquement du foie (PFP) et (iv) pupes *L. sericata* sur foie + huile (PFH). Le tableau 6 renseigne les valeurs moyennes des traitements pour les paramètres mesurés.

Tableau 6 : Paramètres mesurés sur les larves et les pupes de *L. sericata* en fonction du substrat nourricier

Echantillon	Poids matière fraîche (g)	Poids après séchage (g)	Poids individuel (mg)	Taux de survie des larves (%)	Durée du stade larvaire(jrs)
Larves de <i>L. sericata</i> sur uniquement du foie (LPFP)	215,59	60,25	38,94	63	9,77 ± 1.21
Pupes sur de <i>L. sericata</i> sur uniquement du foie (PFP)	119,48	45,41			
Larves <i>L. sericata</i> sur foie +huile (LFH)	155,52	47,76	34,64	57	8,15 ±1.01
Pupes <i>L. sericata</i> sur foie+ huile (PFH)	109,06	55,96			

Le test d'analyse de variance a révélé que le substrat composé de 1 kg de foie uniquement produit plus de larves et de pupes que celui enrichi à l'huile de colza. Ainsi, le « Sous-produit » constitué uniquement de foie (FP) donne 215,59 g de larves et 119,48 g de pupes alors que celui enrichi à l'huile de colza produit 155,52 g de larves et 109,06 g de pupes. La matière sèche obtenue pour les larves et les pupes élevées sur du foie uniquement est respectivement 60.245 g et 45,41 g. soit une matière sèche (par rapport au poids initial des échantillons) de 27,94% pour LFP et 38% pour PFP.

L'analyse de la variance sur les poids moyens des pupes sur les deux substrats montre qu'il existe une différence significative entre le poids d'une pupa élevée sur du foie uniquement et celui d'une pupa issue d'une diète enrichie à l'huile de colza ($P=9,37.10^{-05}$).

La matière sèche obtenue sur les larves et pupes élevées sur du foie enrichi à l'huile de colza est respectivement de 30,51% et 51,31%. La durée du stade larvaire est de $9,77 \pm 1,21$ lorsque

les larves sont élevées sur du foie uniquement et de $8,15 \pm 1,01$ jours lorsque celles-ci sont élevées sur du foie enrichi à l'huile de colza.

3.3 Compositions nutritionnelles des insectes

3.3.1 Teneur en protéines et lipides de *L. sericata* selon les substrats et les stades de développements

3.3.1.1 Teneur en protéines

Chez *Luicilia sericata*, le test d'analyse de variance à deux facteurs (stades de développement et type de substrats) résumé sur la figure 24 A, montre qu'il existe une différence très significative (annexe 5) au seuil de 5% entre les teneurs en protéines des 4 traitements ($P < 0.005$). Les résultats du test de Tukey réalisé pour la comparaison des moyennes (Figure 24 A) nous renseignent davantage sur 3 trois résultats principaux. Premièrement, au stade larvaire, quel que soit le substrat utilisé : LFP (larves sur foie pur) et LFH (larves sur foie enrichi à l'huile) les teneurs en protéines s'équivalent statistiquement (LFP= $53,85\% \pm 0,21$, LFH= $53,57\% \pm 0,17$). Enfin, au niveau du stade de pupes, nous observons que le taux de protéines des pupes élevées uniquement sur du foie pur (PFP= $46,4\% \pm 0,43$) est significativement plus importante que celui des larves élevées sur du foie enrichi à l'huile (PFH= $38,26\% \pm 0,69$). Ce qui suggère qu'au niveau de la qualité protéinique le procédé d'enrichissement du substrat à huile de Colza tend à réduire la teneur en protéines des larves de *L. sericata* et est sans effet sur les stades larvaires.

3.3.1.2 Teneur en lipides

Le tableau issu de l'analyse de la variance à deux facteurs des teneurs en lipides selon les substrats nourriciers et les stades de développements (annexe 6) montre que la qualité du substrat n'affecte pas la teneur en lipides ($P > 0.05$) mais cette teneur est plutôt liée aux stades de développement impliquées dans cet essai ($P < 0,005$). La teneur en lipides des larves *L. sericata* étant de $28,01 \pm 1,87$ et celle des pupes est de $17,75\% \pm 2,09$.

Considérant les stades de développement, les lipides extraits sont plus élevés au niveau des larves qu'au niveau des pupes (Figure 24B). Ces résultats suggèrent que l'enrichissement du foie en huile de colza n'impacte pas la teneur en lipides de *L. sericata* quel que soit le stade de développement.

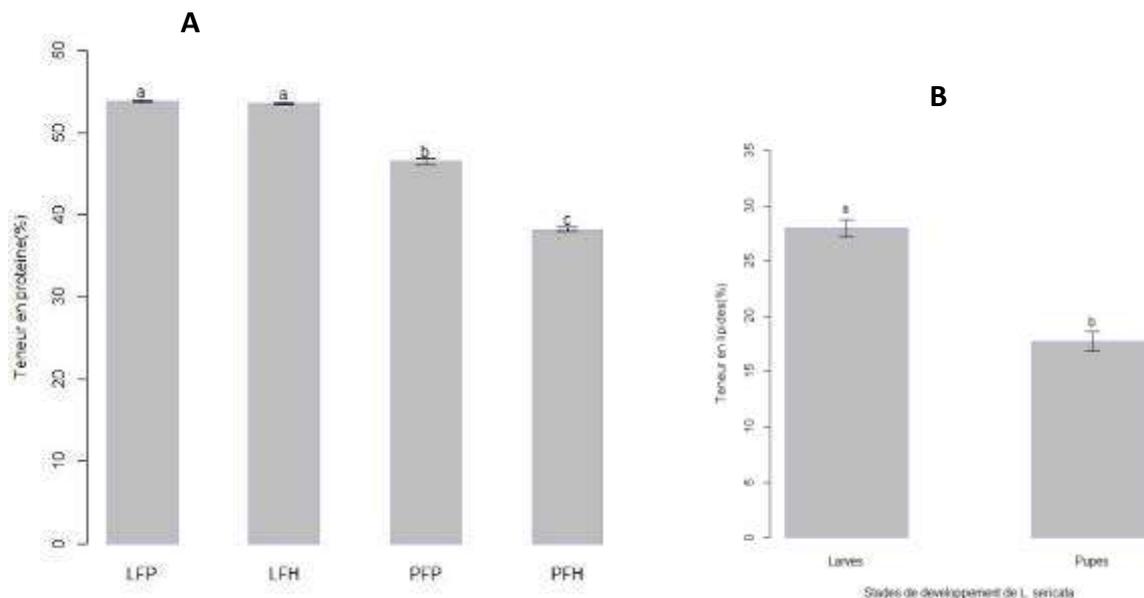


Figure 24 : Teneurs en protéines(A) et en lipides (B) des larves et pupes de *L. sericata* sur du foie et du foie enrichi à l’huile de colza. Les valeurs ayant les mêmes lettres sont identiques au seuil de 5%.

3.3.2 Teneur en protéines et lipides des Insectes ou formes d’insectes collectés au Bénin

3.3.2.1 Taux de protéines des échantillons

Les teneurs en protéines et lipides ont été évaluées sur les 3 groupes d’insectes en fonction des différents substrats de cultures. Au total sept traitements ont été considérés. Il s’agit : (i) des larves de mouches (A), rencontré sur 3 substrats différents : AFV (asticots sur larves de volailles), ADM (Asticot sur Drèche + Moringa), et ASMP (Asticot sur son de maïs + poisson), (ii) des termites (T) au stade ouvrier (TO) et ailé (TA) ; puis (iii) des larves de coléoptères de l’espèce *R. phoenicis* (RH) et des larves de *Oryctes monoceros* (DY). L’analyse de la variance à un facteur sur les protéines montre qu’il existe une différence très significative entre les teneurs en protéines observées ($P= 2,10^{-16}$) pour ces 7 traitements. Le test de comparaison des moyennes montre qu’à part les traitements DY et ADM qui donnent la même teneur en protéines, tous les autres traitements fournissent des teneurs en protéines différentes. Ainsi, les asticots nourris sur la fiente de volaille fournissent les fortes teneurs en protéines par rapport à l’ensemble des traitements. Pour les larves de diptères utilisées le substrat affecte la teneur en protéines des larves de mouches et la fiente de volailles est le substrat qui favorise l’augmentation de la teneur en protéines (Figure 25A). Le traitement RH fournit la plus faible teneur en protéines.

3.3.2.2 Teneur en lipides

De l'extraction des lipides, nous observons toujours qu'il existe une différence très significative entre les taux des lipides extraits des 7 échantillons ($P= 4,53.10^{-9}$). Le Traitement RH qui fournissait le plus faible taux de protéines est celui qui donne avec les termites ailés (TA) la plus forte teneur en lipides parmi les 7 traitements, soit $31,08\% \pm 0,40$ et $30,01\% \pm 1,19$ respectivement. Une fois de plus, parmi les larves de mouches élevées sur les trois différents substrats c'est le traitement AFV ($20,52\% \pm 1,65$) qui donne la plus forte teneur en lipides (Figure 25B).

Le tableau 6 ci-dessous présente le résumé des valeurs nutritionnelles des insectes mis en évidence dans cette étude.

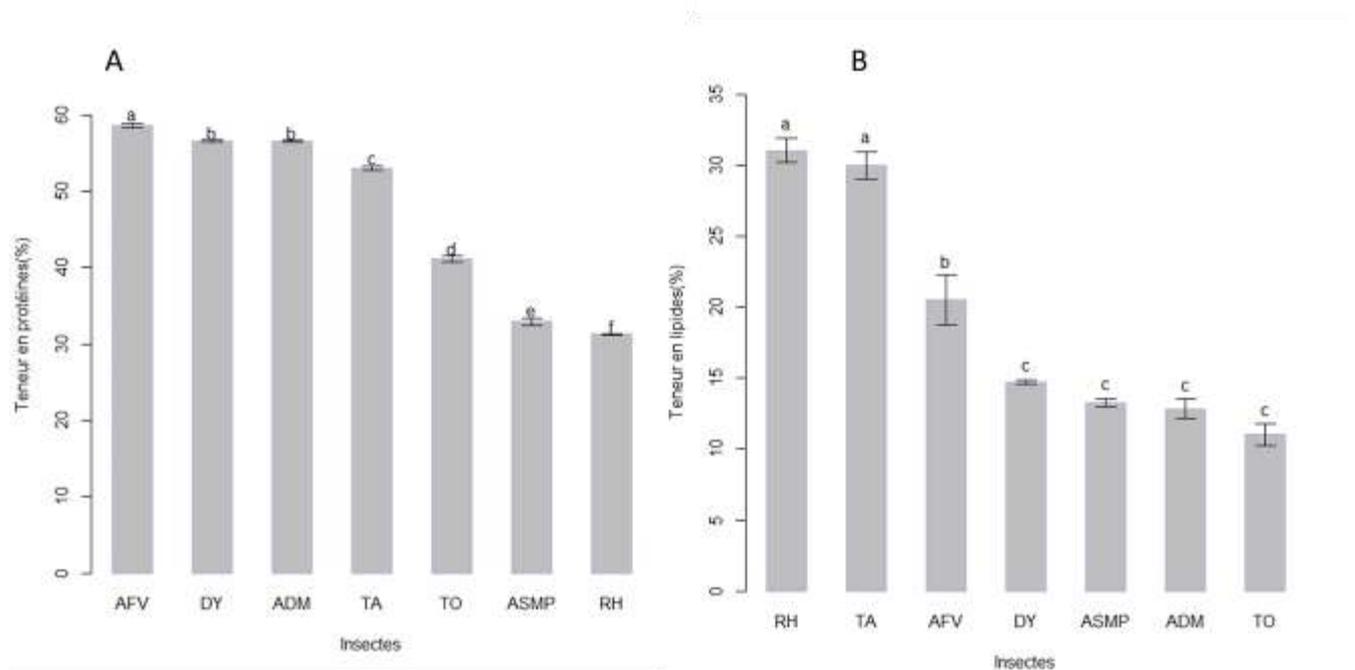


Figure 25 : Teneur en protéines (A) et en lipides (B) des insectes ou formes d'insectes collectés au Sud du Bénin. Les valeurs ayant les mêmes lettres sont identiques au seuil de 5%.

Tableau 7 : Synthèse des macroéléments des insectes impliqués dans cette étude

Echantillons (insectes ou stade)	% en Protéines	Ecart-type	%lipides	Ecart-type
Larves des Calliphoridae élevées sur de la fiente de volaille	58,62	0,33	20,52	1,66
Larves de <i>Oryctes monoceros</i>	56,59	0,46	14,75	0,30
Larves de mouches élevées sur de la drèche mélangées aux feuilles de Moringa	56,56	0,56	12,84	1,48
Hyménoptère de la famille des Formicidae	53,01	0,82	30,02	1,19
Larves de <i>Lucilia sericata</i> élevées sur du foie pur	53,85	0,21	28,01	1,87
Larves de <i>Lucilia sericata</i> obtenues sur du foie enrichi à l'huile de colza.	53,5713	0,18		
Pupes <i>L. sericata</i> issues de substrat composé uniquement de foie	46,55	0,43	17,75	2,09
Pupes de <i>L. sericata</i> élevées sur du foie enrichi à l'huile de colza	38,26	0,69		
Larves de mouches élevées sur du son de maïs mélangé aux tripes de poissons	32,92	0,28	13,29	3,08
Larves de <i>Rhynchophorus phoenicis</i>	31,31	0,69	31,08	0,40
Termites de la famille des Termitidae	41,20	0,13	11,03	1,30

4 Discussion

4.1 Evaluation des connaissances traditionnelles sur l'utilisation des insectes en alimentation animale au Bénin

L'enquête entomologique a permis de mettre en évidence la biodiversité entomologique utilisée comme source de nutriments dans l'alimentation des volailles et du poisson au sud du Bénin. Ces informations montrent que les populations locales disposent de connaissances avérées sur les ressources locales pour de nourrir leur cheptel. Kenis *et al.*, (2014) ont également trouvé qu'en Afrique de l'Ouest, certains grands groupes tels que les termites et les coléoptères mais également les larves de diptères sont aussi utilisées en alimentation des volailles et du poisson ; ce que nos résultats confirment. De plus parmi les coléoptères, certains sont comestibles pour l'homme mais également pour les animaux, c'est le cas notamment des larves de *Rhynchophorus phoenicis* qui sont appréciées de certains peuples du sud Bénin mais que d'autres utilisent comme complément alimentaire pour les animaux (Rumpold & Schlüter, 2014). Les termites, les larves de diptères et autres groupes d'insectes identifiés dans cette étude l'ont été par des travaux antérieurs (Chrysostome, 1997; Van Huis, 2003; van Huis, 2013; Verbeke *et al.*, 2015).

Les larves de mouches domestiques sont en majorité utilisées par les populations cibles investiguées. Ces informations confirment les travaux d'autres auteurs ayant travaillé sur les insectes utilisés en alimentation de la volaille et du poisson au Bénin et dans la sous-région ouest africaine. (Mensah *et al.*, 2007 ; Bouafou *et al.*, 2011 ; De Marco *et al.*, 2015a; Pomalégni *et al.*, 2017). En effet Pomalégni *et al.*, (2017) avaient dans leurs travaux montré que 5,7 % de éleveurs de volailles incorporaient déjà les larves de mouches dans le régime alimentaire des poulets locaux et qu'une franche partie de la population enquêtée manifestait la volonté d'en inclure dans leur élevage. Nos travaux montrent que l'incorporation des insectes dans le régime alimentaire des animaux devient une pratique qui intéresse les acteurs du secteur (74% des éleveurs enquêtés utilisent déjà les larves de mouches ordinaires). Les méthodes de captures ou de production telles que décrites dans notre travail montrent le degré de connaissances dont disposent les populations locales. En effet la récolte par exemple des termites telle que décrite par les populations questionnées lors de notre étude est similaire à celle mentionnée par Vorsters, Aminou & Demey, (1994) au Bénin. Dans la sous-région ouest africaine, ces mêmes méthodes de collecte/production ont été enregistrées au Burkina Faso Ghana, au Mali et au Togo (Kelemu *et al.*, 2015).

La production d'insectes, principalement les asticots est maîtrisée par certains éleveurs qui ont développé des techniques de récolte semi-autonome, capables de générer d'importantes quantités d'insectes ou de larves de mouches capables de couvrir les besoins en protéines de leur élevage. C'est le cas notamment des producteurs de poulets pondeuses qui utilisent la fiente des poulets pour produire des larves de mouches qui servent de sources de protéines dans le nourrissage en aquaculture continentale et lors de notre étude nous avons pu observer la production d'asticots pour nourrir environ 10.000 poissons élevés dans des étangs piscicoles. Ce qui fait de la production d'asticots dans ce cas précis, une économie circulaire. Cela confirme que la production de larves de mouches est une activité écologique qui utilise les sous-produits d'une activité comme matière première, ce que El Boushy, (1991); Ooninx *et al.*, (2015) avaient déjà mentionné dans leur travaux.

Le ramassage d'insectes dans la nature est également une pratique commune à plusieurs peuples. Les insectes identifiés comme ramassés dans la nature tels que les larves de coléoptères et les termites l'ont également été par des travaux similaires (DeFoliart *et al.*, 1982; Ayieko *et al.*, 2010; Mutungi *et al.*, 2017). D'autres éleveurs ont développé des techniques de production de termites autour de leur habitation, ce qui constituent des compléments de nutriments pour les animaux élevés. Dans la plupart des cas, ces insectes sont collectés en début de saisons de pluies, période qui correspond au début des travaux champêtres, Les termites et les larves de coléoptères sont ramassés pendant que les paysans labourent leur champ. Ainsi la saison pluvieuse favorise l'apparition des insectes tels que les termites de la famille des Formicidae ou même ceux des termitidae telles que mentionnées dans la littérature (Huis, 2013; Kelemu *et al.*, 2015a; Niassy *et al.*, 2016; Lehtovaara *et al.*, 2017). Nous avons pu remarquer ces faits lors de la phase d'enquête car durant la saison sèche il nous a été difficile d'avoir des échantillons. Mais avec les premières pluies on a obtenu certains grands groupes comme ceux mentionnés précédemment, ce que Ebenebe *et al.*, (2017) ont trouvé dans leur travaux sur les insectes consommés au Nigéria.

Les larves des coléoptères dont les charançons des palmiers et les larves de scarabeidaes sont quant à elles, disponibles en pleine saison des pluies et sont récoltées dans le tronc des palmiers morts sur pieds ou en décomposition. En effet, ces larves sont des ravageurs de ces cultures qui causent des dégâts considérables mais appréciées des populations qui, à défaut de les consommer, collectes ces larves pour nourrir leurs animaux.

Plus loin encore, les raisons qui motivent le recours aux insectes prouvent que les populations locales savent davantage sur les apports nutritionnels des insectes à leur élevage. La croissance rapide et le gain de poids des animaux nourris à base de d'insectes sont les raisons pour lesquelles les insectes sont incorporés aux régimes alimentaires de la volaille et du poisson. En effet les animaux nourris avec une alimentation composée entre autres d'insectes ou de leur stade de développement croissent rapidement en comparaison à ceux nourris aux céréales ou résidus agricoles. Cette rapidité de la croissance tire son explication du fait des macro et micro nutriments contenus dans les insectes, ce qui leur apportent les éléments nutritionnels nécessaire à leur croissance et à une bonne santé, les rendant résistants contre certaines maladies. En effets Cao *et al.*, (2012; van Huis, (2013) et Schiavone *et al.*, (2017) ont dans leur travaux montré que les insectes sont en mesure d'apporter les éléments ci-dessus cités et plus encore des vitamines nécessaire à la croissance des animaux. Le gain de poids est aussi une suite logique de la croissance des animaux. Par exemple, une volaille nourrie aux insectes se vend mieux au marché local qu'une autre nourries aux céréales ou aux résidus d'agricoles.

Certains répondants ont également confirmé que nourrir les animaux aux insectes, réduit l'ajout de farine de poissons ou de soja et mieux encore, cette pratique permet de raccourcir le temps de production. Par exemple, des pisciculteurs ont noté que nourrir leurs poissons à base de larves de mouches permet d'avoir des individus ayant un poids vif permettant de les vendre au bout de 4-5 mois au lieu de 6 pour les poissons chats africain (*Clarias sp*).

Plusieurs substrats sont utilisés pour la production d'insectes. Ce sont les larves de mouche qui bénéficient d'une large gamme de substrats. Pour les substrats mentionnés précédemment, le son de maïs, la fiente d'animaux dont la volaille et le porc sont fréquemment utilisés mais leur disponibilité et accessibilité conditionnent leur usage. Très souvent, le coût des substrats conditionne leur utilisation car selon les saisons culturales, les éleveurs choisissent les substrats disponibles. Le son de maïs et de soja sont choisis selon la disponibilité de ces cultures. Ainsi en pleine saison pluvieuse où les cultures vivrières sont disponibles, le son de maïs et de soja sont préférés, mais en période de soudure, ce sont les déchets de fruits ou les fientes d'animaux qui sont préférés.

Une autre contrainte liée à la production d'insectes est la disponibilité de ces derniers. Les insectes collectés sont fonction du climat et il arrive que certains ne soient pas disponibles.

C'est le cas notamment des termites de la famille des Formicidae, Termitidae dont la population diminue ou n'existe plus en saison sèche. Chez les mouches, le climat conditionne également leur population. Selon les enquêtés, la production de larves de mouches diminue considérablement avec la température. Entre décembre et février où une partie de l'Afrique de l'Ouest reçoit l'harmattan, un vent froid et sec qui traverse certains pays d'Afrique de l'ouest, réduit la population de mouche, ce qui impact le rendement des larves de mouches récoltées. Plusieurs auteurs sont ainsi unanimes sur l'impact du climat sur la production et le ramassage d'insectes (Kelemu *et al.*, 2015b; Niassy *et al.*, 2016; Ssepuuya *et al.*, 2017).

4.2 Elevage en masse de *Lucilia sericata*

L'élevage de *L. sericata* sur du foie et du foie enrichi à l'huile de colza montre que cette mouche est capable de se reproduire sur les deux diètes. Les résultats obtenus montrent que la production de la mouche est meilleure sur du foie non enrichi car donnant une quantité plus élevée de biomasse corporelle. Ces résultats concordent avec ceux de (Zheng *et al.*, 2017). Mais dans notre cas, notre substrat est enrichi artificiellement. Le foie enrichi à l'huile de colza réduit la qualité nutritionnelle du foie, ce qui explique les faibles quantités de larves et pupes obtenues sur ce substrat. Le poids moyen d'une pupa nourrie uniquement sur du foie dans notre étude est légèrement supérieur à celle obtenue par (Tarone & Foran, 2008). Cela pourrait s'expliquer par le fait que nous avons utilisé du foie de porc et que ces auteurs aient utilisé du foie de bœuf. Ce qui confirme que la qualité du substrat impact la croissance des larves de la mouche verte. Le faible taux de survie (57%) des larves de *L. sericata* sur du foie enrichi peut être dû au fait que l'huile asphyxie le substrat en réduisant le taux d'oxygène dans le foie provoquant la mort d'un nombre important de larves, d'où la faible quantité de biomasse obtenue sur ce substrat. Cet ajout d'huile ralentirait donc la mobilité des larves les contraignant à réduire la durée du cycle larvaire. Nous n'avons pas pu trouver de la documentation pour supporter nos résultats sur cette expérience, ce qui supposerait que l'enrichissement de la diète des larves de mouches à l'huile directement serait une première. Dans la littérature, ce sont les sources d'oméga 3 telle que les graines ou feuilles de plantes qui sont utilisées (Antruejo *et al.*, 2011), ou parfois les restes de poissons (St-Hilaire *et al.*, 2007; Barroso *et al.*, 2017). Une caractérisation des lipides contenus dans les stades de développement pourrait donner de meilleurs résultats.

4.3 Teneur en macroéléments des échantillons d'insectes

4.3.1 Taux de protéines

Les différents insectes collectés au Bénin présentent en générale une teneur en protéines élevée. Les larves des mouches présentent les forts taux de protéines (58%), alors que le plus faible taux est observé chez *R. phoenicis* (31%). *Oryctes monoceros* est le coléoptère qui présente le plus fort taux de protéines, soit 56% de protéines. La teneur en protéines chez les termites est élevée chez les Formicidae (53,01%). Ces différents résultats prouvent que le taux issus de nos travaux sont similaires à ceux de (Oyarzun *et al.*, 1996; Zuidhof *et al.*, 2003; Aniebo & Owen, 2010; Mutungi *et al.*, 2017).

Dans un second plan, les analyses ont été effectuées sur les larves ce qui démontre que les stades larvaires sont plus utilisés par les populations et les analyses nutritionnelles sur les différents échantillons montrent que les stades larves sont plus riches protéines que les adultes. Ces observations sont conformes à celles de Barroso *et al.*, (2014) qui ont observé des teneurs similaires à nos valeurs, le cas notamment des larves du genre *Chrysomya* (60% contre 58,85% dans notre cas), *R. phynchophorus* (34% contre 31% dans notre cas). Certaines teneurs sont similaires à celles de la farine de soja, une des sources de protéines entrant dans la production d'aliment pour animaux. ce qui prouve que les insectes pourraient substituer la farine de soja (Maurer *et al.*, 2016; Schiavone *et al.*, 2017b).

Ces fortes teneurs trouvent leur explication dans le substrat nourricier de ces larves et les éléments qui la composent. En effet, les éléments nutritifs contenus dans les substrats nourriciers des larves conditionnent les substances nutritionnelles qui les composent. Parmi les diètes sur lesquelles nous avons récolté les larves de mouches, c'est celle composée de fiente de volaille qui a donné la plus forte teneur en protéines et cela peut se comprendre en ce sens que la farine de poisson ou de soja fait partie des ingrédients entrant le régime alimentaire des volailles, or ces deux ingrédients sont connus pour être les composantes de base des aliments pour les animaux (Cashion *et al.*, 2017). Il en est de même pour les larves élevées sur la drèche + les feuilles de Moringa (53% de protéines). Cette plante est connue pour sa teneur élevée en protéines (Djermoune, Henoune & Zaidi, 2015). Une analyse des acides aminés nous renseignerait davantage sur les acides aminés que contiennent les différents échantillons.

Les taux de protéines observés sur les larves et pupes de *L. sericata* sur les deux substrats montrent que cette mouche est en mesure de se développer aussi bien sur les deux substrats.

De plus les forts taux de protéines issus de nos résultats sont proches de ceux obtenus par d'autres auteurs ayant investigué sur la teneur en acides aminés de cette mouche (Tachibana & Numata, 2001; Barroso *et al.*, 2014; Henry *et al.*, 2015). La forte teneur de protéines observée au niveau du substrat nourricier composé uniquement de foie de porc s'explique par le fait que la décomposition de cet organe constitue un milieu favorable au développement des larves qui y en tirent le maximum d'éléments nutritifs (Firoozfar *et al.*, 2011), mieux encore, le foie étant un organe animale il est donc une excellente source de protéines animale pour cette mouche qui affectionne les tissus nécrosés ou les carcasses d'animaux. D'ailleurs le foie est un substrat témoin pour des essais d'élevage de la mouche verte. Cela expliquerait alors les fortes teneurs en protéines observées.

L'autre constat est que les larves sont plus riches en protéines que les pupes au niveau des deux substrats; ce que plusieurs travaux antérieurs avaient déjà conclu car les larves étant toujours mobiles, elles ont la capacité de se nourrir, ce qui n'est pas le cas des pupes qui sont des stades de développement où l'insecte ne vit dans le cocon que sur ces réserves en attendant l'émergence (Huis, 2013; Schiavone *et al.*, 2017a; Gligorescu *et al.*, 2018).

Au niveau du foie enrichi à l'huile, l'ajout de l'huile aurait tendance à altérer la qualité du substrat et rendrait la diète peu favorable pour la nutrition, ce qui provoque la migration des larves hors du substrat nourricier. Cela explique la durée du stade larvaire plus courte et les poids individuels faibles des pupes chez les individus nous avec de la diète contenant de l'huile de colza.

4.3.2 Taux de lipides

Le taux de lipides des échantillons récoltés lors de la phase d'enquête varie entre 11.03% (les larves de termites de la famille des termitidae) et 31.08% (*R. phynchophorus*). Les termites de la famille des termitidae contiennent également une forte proportion de lipides (30%). Nos résultats sont similaires aux travaux de plusieurs autres auteurs ayant travaillé sur les mêmes insectes (XiaoMing *et al.*, 2010; van Huis, 2013; Barroso *et al.*, 2014). Les larves de coléoptères récoltées sont toutes issues des troncs de palmiers à l'huile, plante principale de production d'huile végétale en milieu tropical. Cela expliquerait donc les forts taux de lipides contenus dans cet ordre d'insectes (Thiex *et al.*, 2002). Les larves de Calliphoridae du genre *Chrysomya* présentent aussi une teneur non négligeable en lipides (20.52%). La fiente de volaille (substrat de production de ces larves) contiendrait des ingrédients riches en lipides qui sont issus de l'alimentation des poules pondeuses ; les larves se nourrissant sur cette fiente

assimilent les phospholipides présents dans la fiente, cela justifierait alors la teneur en lipides contenue dans ces larves. (El Boushy, 1991 ; Newton *et al.*, 2005). La caractérisation des acides présents dans chaque échantillon nous donnera d'avantage informations sur les phospholipides qu'ils contiennent.

L'extraction des lipides présents dans les échantillons de *L. sericata* montre clairement que l'ajout de l'huile n'augmente pas la teneur en lipides des échantillons c'est plutôt le stade de développement qui impact la teneur en lipides des échantillons. En effet, les larves élevées sur du foie pur ou celui enrichi ne montrent aucune différence en matière de quantité de matière grasse extraite. La différence est plus observée au niveau des stades de développement ce qui confirme que les larves étant mobiles, elles assimilent mieux cette matière grasse contenus dans les substrats, ce qui n'est pas le cas des pupes. Ces informations confirment les observations précédentes sur les protéines et justifient le faible taux observé sur les pupes. Ces remarques ont été rapportées par Aniebo & Owen, (2010); Pieterse & Pretorius, (2014) qui ont noté de pareilles différences entre les larves et les pupes d'autres diptères telle que la mouche domestique.

Conclusion

L'évaluation des connaissances traditionnelles sur les insectes utilisés en alimentation de la volaille et du poisson au sud du Bénin a permis de mettre en évidence les principaux insectes utilisés comme source de macroéléments dans le régime alimentaire des animaux élevés ainsi que le niveau de connaissance dont disposent les populations locales sur le sujet. En effet la biodiversité entomologique localement disponible, permet aux éleveurs locaux de volaille et de poisson de réduire leur dépendance vis-à-vis des ingrédients conventionnels que sont la farine de poisson et de soja dont les prix sont de plus en plus élevés. L'analyse nutritionnelle des échantillons a révélé que les insectes sont en mesure de remplacer partiellement ou totalement la farine de poisson ou de soja ce qui rendrait plus rentable l'élevage avicole et piscicole.

Lucilia sericata, présente un véritable potentiel quant à sa production et l'incorporation de ces larves dans la production d'aliment pour animaux. Cette mouche présente de fortes teneurs en protéines et en lipides et vu son cycle biologique relativement court, elle paraît une espèce candidate dans la production à l'échelle industrielle de ces larves comme alternatives sources de nutriments conventionnelles. Ainsi, on réduira notre la pression sur la biodiversité marine et l'impact de la production de soja sur les écosystèmes terrestres. Mais avant cette étape de production industrielle, il faudra poursuivre les études pour caractériser les acides gras et acides aminés contenus dans les échantillons et développer des combinaisons de substrats qui permettent d'enrichir davantage macroéléments contenus dans ces larves.

Enfin, l'incorporation des larves de mouches de mouches dans l'alimentation animale permettra de réduire les déchets organiques générés par nos activités quotidiennes car certains se développant sur une variété de substrats allant des déchets organiques ménagers aux résidus issus de la production agroalimentaire, ce qui favorise le recyclage de ces résidus. D'un autre point de vue, les fortes quantités d'antibiotiques ingérées par les animaux ce qui conduit à des résistances aussi bien chez les hommes que chez les animaux et à l'apparition de nouvelles maladies humaines dues à la consommation de viandes riches en antibiotiques. L'incorporation des insectes permet aux éleveurs ne plus dépendre des produits pharmaceutiques.

Perspectives

A travers la présente étude, nous avons procédé à une ébauche de l'incorporation des insectes dans l'alimentation des animaux au Bénin et les apports nutritionnels des insectes impliqués. Afin de rendre plus effective, la substitution des sources traditionnelles de protéines et de lipides par les insectes, il faudra investiguer sur certains aspects dont nous donnons quelques points ci-dessous :

- A cette étape, nos travaux ont été entrepris uniquement au sud du Bénin, investiguer les potentiels insectes utilisés dans le reste du pays, fournira des détails plus précis sur l'entomofaune utile dans l'alimentation des animaux d'élevage au Bénin.
- Lors de nos travaux, nous n'avons pas pu catégoriser les acides gras et acides aminés contenus dans les différents échantillons. Quantifier ces éléments dans chaque échantillon permettra de mieux comprendre leurs apports dans la diète des animaux nourris.
- Les insectes ont été collectés sur différents substrats nourriciers ce qui a impacté les teneurs en macroéléments obtenus. Il faudra tester la croissance des insectes prometteurs sur des combinaisons de substrats pouvant augmenter leur teneur en ces éléments.
- Certaines larves d'insectes ont la capacité de réduire le taux de microorganismes et pathogènes présent dans les organes des animaux qui une fois consommés provoquent des maladies chez l'homme. Tester le pouvoir de réduction de ces pathogènes par les insectes permettrait de réduire considérablement ces microbes chez les animaux et par conséquent dans les aliments dérivés. Mieux encore, il faudra évaluer la toxicité de certains insectes.
- Afin de mieux comprendre les performances des animaux nourris à base d'insectes, il faudra tester l'incorporation des échantillons les plus prometteurs dans le régime alimentaire de la volaille et du poisson à différentes doses.
- Les précédentes perspectives permettront de vulgariser l'utilisation de telle ou telle espèce d'insectes ou même procéder à la production à l'échelle industrielle.

Références bibliographiques citées

- Achiano, K. & Giliomee, J. (2006). Rearing the house fly predator *Carcinops pumilio* (Erichson) (Coleoptera: Histeridae) on an artificial diet. *Afr. J. Biotechnol.* **5**, 1161–1166.
- Adomou, A. (2005). *Vegetation patterns and environmental gradients in Benin*.
- Aguilar-Miranda, E.D., López, M.G., Escamilla-Santana, C. & Barba de la Rosa, A.P. (2002). Characteristics of Maize Flour Tortilla Supplemented with Ground *Tenebrio molitor* Larvae. *J. Agric. Food Chem.* **50**, 192–195.
- Alais, C., Dumas, B.R. & Saint-Lebe, L. (1961). Etude de la réaction des protéines du lait avec le " noir amido", application au dosage rapide des matières azotées du lait. *Le Lait* **41**, 241–273.
- Allegretti, G., Schmidt, V. & Talamini, E. (2017). Insects as feed: species selection and their potential use in Brazilian poultry production. *Worlds Poult. Sci. J.* **73**, 928–937.
- Alves, R.R. & Rosa, I.L. (2005). Why study the use of animal products in traditional medicines? *J. Ethnobiol. Ethnomedicine* **1**, 5.
- Amar, R. (2010). Impact de l'anthropisation sur la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes marins: Exemple de la Manche-mer du nord. *VertigO Rev. Électronique En Sci. L'environnement*.
- 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*.
- Anand, H., Ganguly, A. & Haldar, P. (2008). Potential value of acridids as high protein supplement for poultry feed. *Int. J. Poult. Sci.* **7**, 722–725.
- Aniebo, A. & Owen, O. (2010). Effects of age and method of drying on the proximate composition of housefly larvae (*Musca domestica* Linnaeus) meal. *Pak. J. Nutr.* **9**, 485–487.
- Aniebo, A., Wekhe, S., Erondy, E., Owen, O., Ngodigha, E. & NO, I. (2008a). Sustainable commercial maggot production (maggotry) for animal & aquafeeds in rivers state, South South Nigeria. *Int. J. Biotechnol. Biochem.* **4**, 197–205.
- Aniebo, A.O., Erondy, E.S. & Owen, O.J. (2008). Proximate composition of housefly larvae (*Musca domestica*) meal generated from mixture of cattle blood and wheat bran. *Livest. Res. Rural Dev.* **20**, 205.
- Antruejo, A., Azcona, J.O., Garcia, P.T., Gallinger, C., Rosmini, M., Ayerza, R., Coates, W. & Perez, C.D. (2011). Omega-3 enriched egg production: the effect of α -linolenic ω -3 fatty acid sources on laying hen performance and yolk lipid content and fatty acid composition. *Br. Poult. Sci.* **52**, 750–760.
- Arong, G., Imandeh, G., Utsu, A. & Sha, K. (2011). The influence of food type on larval growth in *Musca domestica* and *Lucilia sericata* (Diptera:) In Calabar, Nigeria. *World J. Sci. Technol.* **1**, 73–77.

- Ayieko, M., Oriaro, V. & Nyambuga, I.A. (2010). Processed products of termites and lake flies: improving entomophagy for food security within the Lake Victoria region. *Afr. J. Food Agric. Nutr. Dev.* **10**.
- Bai, L., Li, X., Zhang, L., Wang, Y. & Gu, Y. (2007). Research on regulation of nutritional material and energy transformation of pig manure treated by *Musca domestica* larvae. *Anim. Prod.* **43**, 59–62.
- Barroso, F.G., de Haro, C., Sánchez-Muros, M.-J., Venegas, E., Martínez-Sánchez, A. & Pérez-Bañón, C. (2014). The potential of various insect species for use as food for fish. *Aquaculture* **422–423**, 193–201.
- Barroso, F.G., Sánchez-Muros, M.-J., Segura, M., Morote, E., Torres, A., Ramos, R. & Guil, J.-L. (2017). Insects as food: Enrichment of larvae of *Hermetia illucens* with omega 3 fatty acids by means of dietary modifications. *J. Food Compos. Anal.* **62**, 8–13.
- 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: Insects in a food perspective.... *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* **12**, 296–313.
- Bloukounon-Goubalan, A.Y., Saidou, A., Clottey, V., Chrysostome, C.A.A.M., Kenis, M. & Mensah, G.A. (2018). Typology of organic residues attracting flies and their utilization in the agricultural sector in southern Benin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* **11**, 2560.
- Bondari, K. & Sheppard, D.C. (1987). Soldier fly, *Hermetia illucens* L., larvae as feed for channel catfish, *Ictalurus punctatus* (Rafinesque), and blue tilapia, *Oreochromis aureus* (Steindachner). *Aquac. Res.* **18**, 209–220.
- Bouafou, K., Doukour, B., Konan, B., Amonkan, K. & Katy-Coulibally, S. (2011). Substitution de la farine de poisson par la farine d'asticots sèches dans le régime du rat en croissance: conséquences histologiques et histopathologiques. *J. Appl. Biosci.* **48**, 3279–3283.
- Bourre, J.-M. (2003). Relations entre acides gras oméga-3, oméga-9, structures et fonctions du cerveau. Le point sur les dernières données. Le coût financier alimentaire des oméga-3 «Je chercherai à connaître les différences qui existent entre les huiles de faine, de colza, d'olive, de noix». Honoré de Balzac.«Histoire de César Birotteau». *Ol. Corps Gras Lipides* **10**, 165–174.
- Brah, N., Issa, S. & Houndonougbo, F.M. (2017). Effect of grasshopper meal on laying hens' performance and eggs quality characteristics. *Indian J. Anim. Sci.* **87**, 1005–1010.
- Bukkens, S.G. & Paoletti, M.G. (2005). Insects in the human diet: nutritional aspects. *Ecol. Implic. Minilivestock* 545–577.
- Cao, J., Yan, J., Huang, Y., Wang, G., Zhang, R., Chen, X., Wen, Y. & Zhou, T. (2012). Effects of replacement of fish meal with housefly maggot meal on growth performance, antioxidant and non-specific immune indexes of juvenile *Litopenaeus vannamei*. *J. Fish. China* **36**, 529–537.
- Caparros Megido, R., Alabi, T., Nieuw, C., Blecker, C., Danthine, S., Bogaert, J., Haubruge, É. & Francis, F. (2016). Optimisation of a cheap and residential small-scale production of edible crickets with local by-products as an alternative protein-rich human food source in Ratanakiri

- Province, Cambodia: Local production of edible crickets in Cambodia. *J. Sci. Food Agric.* **96**, 627–632.
- 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**, 12.
- Cashion, T., Le Manach, F., Zeller, D. & Pauly, D. (2017). Most fish destined for fishmeal production are food-grade fish. *Fish Fish.* **18**, 837–844.
- Chapagain, A.K. & Hoekstra, A.Y. (2003). *Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products*. UNESCO-IHE Delft, The Netherlands.
- Chrysostome, C. (1997). Utilisation des Termites pour le Demarrage des Pintadeaux: Essai d'Alimentation en Milieu Rural. *Rev. Atelier Assem. Générale Réseau Afr. Pour Dév. Avic. En Millieu Rurale MBour Sénégal* 117–124.
- Čičková, H., Newton, G.L., Lacy, R.C. & Kozánek, M. (2015). The use of fly larvae for organic waste treatment. *Waste Manag.* **35**, 68–80.
- DANIELS, S., Simkiss, K. & Smith, R.H. (1991). A simple larval diet for population studies on the blowfly *Lucilia sericata* (Diptera: Calliphoridae). *Med. Vet. Entomol.* **5**, 283–292.
- De Marco, M., Martínez, S., Hernandez, F., Madrid, J., Gai, F., Rotolo, L., Belforti, M., Bergero, D., Katz, H., Dabbou, S., Kovitvadhi, A., Zoccarato, I., Gasco, L. & Schiavone, A. (2015a). Nutritional value of two insect larval meals (*Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens*) for broiler chickens: Apparent nutrient digestibility, apparent ileal amino acid digestibility and apparent metabolizable energy. *Anim. Feed Sci. Technol.* **209**, 211–218.
- De Marco, M., Martínez, S., Hernandez, F., Madrid, J., Gai, F., Rotolo, L., Belforti, M., Bergero, D., Katz, H., Dabbou, S., Kovitvadhi, A., Zoccarato, I., Gasco, L. & Schiavone, A. (2015b). Nutritional value of two insect larval meals (*Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens*) for broiler chickens: Apparent nutrient digestibility, apparent ileal amino acid digestibility and apparent metabolizable energy. *Anim. Feed Sci. Technol.* **209**, 211–218.
- DeFoliart, G.R. (1989). The human use of insects as food and as animal feed. *Am. Entomol.* **35**, 22–36.
- DeFoliart, G.R., Finke, M.D. & Sunde, M.L. (1982). Potential value of the Mormon cricket (Orthoptera: Tettigoniidae) harvested as a high-protein feed for poultry. *J. Econ. Entomol.* **75**, 848–852.
- Delvare, G. & Aberlenc, H.-P. (1989). *Les insectes d'Afrique et d'Amérique tropicale: clés pour la reconnaissance des familles*. Editions Quae.
- Desabie, J. (1963). Méthodes empiriques d'échantillonnage. *Rev. Stat. Appliquée* **11**, 5–24.
- Devic, E., Leschen, W., Murray, F. & Little, D.C. (2018). Growth performance, feed utilization and body composition of advanced nursing Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed diets containing Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) larvae meal. *Aquac. Nutr.* **24**, 416–423.
- Diener, S., Solano, N.M.S., Gutiérrez, F.R., Zurbrügg, C. & Tockner, K. (2011). Biological treatment of municipal organic waste using black soldier fly larvae. *Waste Biomass Valorization* **2**, 357–363.

- Diener, S., Zurbrügg, C. & Tockner, K. (2009). Conversion of organic material by black soldier fly larvae: establishing optimal feeding rates. *Waste Manag. Res.* **27**, 603–610.
- Djermoune, S., Henoune, N. & Zaidi, F.E. (2015). Composition chimique et teneur en composés phénoliques des graines de *Moringa oleifera*.
- Dumas, J.B.A. (1831). Procédes de l'analyse organique. *Ann Chim Phys* **47**, 198–205.
- Ebenebe, C.I., Amobi, M.I., Udegbala, C., Ufele, A.N. & Nweze, B.O. (2017). Survey of edible insect consumption in south-eastern Nigeria. *J. Insects Food Feed* 1–12.
- El Boushy, A.R. (1991). House-fly pupae as poultry manure converters for animal feed: a review. *Bioresour. Technol.* **38**, 45–49.
- Fandohan, A.B., Gouwakinnou, G.N., Tovissode, C.F., Bonou, A., Djonlonkou, S.F.B., Houndelo, L.F., Sinsin, C.L.B. & Assogbadjo, A.E. (2017). Usages traditionnels et valeur économique de *Synsepalum dulcificum* au Sud-Bénin. *BOIS FORETS Trop.* **332**, 17–30.
- FAO (Ed.). (2013). *Food systems for better nutrition.* , The state of food and agriculture. Rome.
- FAO (Ed.). (2016). *Contributing to food security and nutrition for all.* , The state of world fisheries and aquaculture. Rome.
- Firoozfar, F., Moosa-Kazemi, H., Baniardalani, M., Abolhassani, M., Khoobdel, M. & Rafinejd, J. (2011). Mass rearing of *Lucilia sericata* Meigen (Diptera: Calliphoridae). *Asian Pac. J. Trop. Biomed.* **1**, 54–56.
- Folch, J., Lees, M. & Sloane Stanley, G.H. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J Biol Chem* **226**, 497–509.
- Gallagher, M.B., Sandhu, S. & Kimsey, R. (2010). Variation in developmental time for geographically distinct populations of the common green bottle fly, *Lucilia sericata* (Meigen). *J. Forensic Sci.* **55**, 438–442.
- Gasco, L., Henry, M., Piccolo, G., Marono, S., Gai, F., Renna, M., Lussiana, C., Antonopoulou, E., Mola, P. & Chatzifotis, S. (2016). *Tenebrio molitor* meal in diets for European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) juveniles: Growth performance, whole body composition and in vivo apparent digestibility. *Anim. Feed Sci. Technol.* **220**, 34–45.
- Gligorescu, A., Toft, S., Hauggaard-Nielsen, H., Axelsen, J.A. & Nielsen, S.A. (2018). Development, metabolism and nutrient composition of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* ; Diptera: Stratiomyidae) in relation to temperature and diet. *J. Insects Food Feed* 1–12.
- González-Martín, I., Álvarez-García, N. & Hernández-Andaluz, J.L. (2006). Instantaneous determination of crude proteins, fat and fibre in animal feeds using near infrared reflectance spectroscopy technology and a remote reflectance fibre-optic probe. *Anim. Feed Sci. Technol.* **128**, 165–171.
- Guillou, H., Pélissier, J.P. & Grappin, R. (1986). Méthodes de dosage des protéines du lait de vache. *Le Lait* **66**, 143–175.
- Henry, M., Gasco, L., Piccolo, G. & Fountoulaki, E. (2015). Review on the use of insects in the diet of farmed fish: past and future. *Anim. Feed Sci. Technol.* **203**, 1–22.

- Henry, M.A., Gasco, L., Chatzifotis, S. & Piccolo, G. (2018). Does dietary insect meal affect the fish immune system? The case of mealworm, *Tenebrio molitor* on European sea bass, *Dicentrarchus labrax*. *Dev. Comp. Immunol.* **81**, 204–209.
- Hossain, M.A., Nahar, N. & Kamal, M. (1997). Nutrient digestibility coefficients of some plant and animal proteins for rohu (*Labeo rohita*). *Aquaculture* **151**, 37–45.
- Huis, A. van. (2013). *Edible insects: future prospects for food and feed security.* , FAO forestry paper. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- van Huis, A. (2013). Potential of Insects as Food and Feed in Assuring Food Security. *Annu. Rev. Entomol.* **58**, 563–583.
- Huntington, H.P. (2000). Using traditional ecological knowledge in science: methods and applications. *Ecol. Appl.* **10**, 1270–1274.
- Kelemu, S., Niassy, S., Torto, B., Fiaboe, K., Affognon, H., Tonnang, H., Maniania, N.K. & Ekesi, S. (2015a). African edible insects for food and feed: inventory, diversity, commonalities and contribution to food security. *J. Insects Food Feed* **1**, 103–119.
- Kelemu, S., Niassy, S., Torto, B., Fiaboe, K., Affognon, H., Tonnang, H., Maniania, N.K. & Ekesi, S. (2015b). African edible insects for food and feed: inventory, diversity, commonalities and contribution to food security. *J. Insects Food Feed* **1**, 103–119.
- Kenis, M., Koné, N., Chrysostome, C.A.A.M., Devic, E., Koko, G.K.D., Clottey, V.A., Nacambo, S. & Mensah, G.A. (2014). Insects used for animal feed in West Africa. *Entomologia* **2**.
- Kinyuru, J.N., Kenji, G.M., Muhoho, S.N. & Ayieko, M. (2011). Nutritional potential of longhorn grasshopper (*Ruspolia differens*) consumed in Siaya District, Kenya. *J. Agric. Sci. Technol.* **12**.
- Kpoviessi, D.S.S., Accrombessi, G.C., Kossouoh, C., Soumanou, M.M. & Moudachirou, M. (2004). Propriétés physico-chimiques et composition de l'huile non conventionnelle de pourghère (*Jatropha curcas*) de différentes régions du Bénin. *Comptes Rendus Chim.* **7**, 1007–1012.
- Lee, J.-Y., Yoo, C., Jun, S.-Y., Ahn, C.-Y. & Oh, H.-M. (2010). Comparison of several methods for effective lipid extraction from microalgae. *Bioresour. Technol.* **101**, S75–S77.
- Lehtovaara, V.J., Valtonen, A., Sorjonen, J., Hiltunen, M., Rutaro, K., Malinga, G.M., Nyeko, P. & Roininen, H. (2017). The fatty acid contents of the edible grasshopper *Ruspolia differens* can be manipulated using artificial diets. *J. Insects Food Feed* **3**, 253–262.
- Liu, Q., Tomberlin, J.K., Brady, J.A., Sanford, M.R. & Yu, Z. (2008). Black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae reduce *Escherichia coli* in dairy manure. *Environ. Entomol.* **37**, 1525–1530.
- Liu, W., Longnecker, M., Tarone, A.M. & Tomberlin, J.K. (2016). Responses of *Lucilia sericata* (Diptera: Calliphoridae) to compounds from microbial decomposition of larval resources. *Anim. Behav.* **115**, 217–225.
- Makkar, H.P., Tran, G., Heuzé, V. & Ankers, P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Anim. Feed Sci. Technol.* **197**, 1–33.

- Maurer, V., Holinger, M., Amsler, Z., Früh, B., Wohlfahrt, J., Stamer, A. & Leiber, F. (2016). Replacement of soybean cake by *Hermetia illucens* meal in diets for layers. *J. Insects Food Feed* **2**, 83–90.
- Mensah, G.A., Pomalegni, S.C.B., Koudjou, A.L., Cakpovi, J.C.G., Adjahoutonon, K. & Agoundo, A. (2007). Farine d'asticots de mouche, une source de protéines bien valorisée dans l'alimentation des canards de barbarie. In *Poster presented at 1er Colloque de l'UAC des Sciences et Cultures à Abomey-Calavi (Bénin)*: 24–29.
- Mihályi, F. (1965). Rearing flies from faeces and meat, infected under natural condition. *Acta Zool. Hung.* **11**.
- Mushambanyi, T.M.B. & Balezi, N. (2002). Utilisation des blattes et des termites comme substituts potentiels de la farine de viande dans l'alimentation des poulets de chair au Sud-Kivu, République Démocratique du Congo. *Tropicultura* **20**, 10–16.
- Mutungu, C., Irungu, F.G., Nduko, J., Mutua, F., Affognon, H., Nakimbugwe, D., Ekesi, S. & Fiaboe, K.K.M. (2017). Postharvest processes of edible insects in Africa: a review of processing methods, and the implications for nutrition, safety and new products development. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 1–23.
- Nakamura, S., Ichiki, R.T., Shimoda, M. & Morioka, S. (2016). Small-scale rearing of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae), in the laboratory: low-cost and year-round rearing. *Appl. Entomol. Zool.* **51**, 161–166.
- Ncobela, C.N. & Chimonyo, M. (2015). Potential of using non-conventional animal protein sources for sustainable intensification of scavenging village chickens: A review. *Anim. Feed Sci. Technol.* **208**, 1–11.
- Newton, L., Sheppard, C., Watson, D.W., Burtle, G. & Dove, R. (2005). Using the black soldier fly, *Hermetia illucens*, as a value-added tool for the management of swine manure. *Anim. Poult. Waste Manag. Cent. N. C. State Univ. Raleigh NC* **17**.
- Ng, W.-K., Liew, F.-L., Ang, L.-P. & Wong, K.-W. (2001). Potential of mealworm (*Tenebrio molitor*) as an alternative protein source in practical diets for African catfish, *Clarias gariepinus*. *Aquac. Res.* **32**, 273–280.
- Nguyen, T.N., Davis, D.A. & Saoud, I.P. (2009). Evaluation of alternative protein sources to replace fish meal in practical diets for juvenile tilapia, *Oreochromis* spp. *J. World Aquac. Soc.* **40**, 113–121.
- 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. *J. Insects Food Feed* **2**, 139–144.
- Nyakeri, E.M., Ogola, H.J.O., Ayieko, M.A. & Amimo, F.A. (2017). Valorisation of organic waste material: growth performance of wild black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) reared on different organic wastes. *J. Insects Food Feed* **3**, 193–202.
- Oonincx, 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**, e14445.

- Oonincx, D.G.A.B., van Huis, A. & van Loon, J.J.A. (2015). Nutrient utilisation by black soldier flies fed with chicken, pig, or cow manure. *J. Insects Food Feed* **1**, 131–139.
- Oyarzun, S.E., Crawshaw, G.J. & Valdes, E.V. (1996). Nutrition of the Tamandua: I. Nutrient composition of termites (*Nasutitermes* spp.) and stomach contents from wild tamanduas (*Tamandua tetradactyla*). *Zoo Biol.* **15**, 509–524.
- Paul, A., Frederich, M., Megido, R.C., Alabi, T., Malik, P., Uyttenbroeck, R., Francis, F., Blecker, C., Haubruge, E., Lognay, G. & Danthine, S. (2017). Insect fatty acids: A comparison of lipids from three Orthopterans and *Tenebrio molitor* L. larvae. *J. Asia-Pac. Entomol.* **20**, 337–340.
- Paul, A., Frederich, M., Uyttenbroeck, R., Filocco, S., Hatt, S., Malik, P., Monty, A., Francis, F., Blecker, C. & Danthine, S. (2015). Proximate analysis of seeds from some field border flowering strips. *Sci. Bull. Ser. F Biotechnol.* **19**.
- Pieterse, E. & Pretorius, Q. (2014). Nutritional evaluation of dried larvae and pupae meal of the housefly (*Musca domestica*) using chemical- and broiler-based biological assays. *Anim. Prod. Sci.* **54**, 347.
- Pomalégni, S.C.B., Gbemavo, D.S.J.C., Kpadé, C.P., Kenis, M. & Mensah, G.A. (2017). Traditional use of fly larvae by small poultry farmers in Benin. *J. Insects Food Feed* **3**, 187–192.
- Price, M.L. (2007). Le Moringa. *Note Tech.-ECHO Rev. En 2000 En 2002 En 2007*.
- Ramos-Elorduy, J. (2002). Edible insects of chiapas, Mexico. *Ecol. Food Nutr.* **41**, 271–299.
- Ramos-Elorduy, J., Moreno, J.M.P., Prado, E.E., Perez, M.A., Otero, J.L. & De Guevara, O.L. (1997). Nutritional value of edible insects from the state of Oaxaca, Mexico. *J. Food Compos. Anal.* **10**, 142–157.
- Rumpold, B. & Schlüter, O. (2014). Nutrient composition of insects and their potential application in food and feed in Europe. *Food Chain* **4**, 129–139.
- Sánchez-Muros, M.-J., Barroso, F.G. & Manzano-Agugliaro, F. (2014). Insect meal as renewable source of food for animal feeding: a review. *J. Clean. Prod.* **65**, 16–27.
- Schiavone, A., Cullere, M., De Marco, M., Meneguz, M., Biasato, I., Bergagna, S., Dezzutto, D., Gai, F., Dabbou, S., Gasco, L. & Dalle Zotte, A. (2017a). Partial or total replacement of soybean oil by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) fat in broiler diets: effect on growth performances, feed-choice, blood traits, carcass characteristics and meat quality. *Ital. J. Anim. Sci.* **16**, 93–100.
- Schiavone, A., Cullere, M., De Marco, M., Meneguz, M., Biasato, I., Bergagna, S., Dezzutto, D., Gai, F., Dabbou, S., Gasco, L. & Dalle Zotte, A. (2017b). Partial or total replacement of soybean oil by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) fat in broiler diets: effect on growth performances, feed-choice, blood traits, carcass characteristics and meat quality. *Ital. J. Anim. Sci.* **16**, 93–100.
- Sherman, R.A. & TRAN, J.M.-T. (1995). A simple, sterile food source for rearing the larvae of *Lucilia sericata* (Diptera: Calliphoridae). *Med. Vet. Entomol.* **9**, 393–398.

- Sogbesan, A.O. & Ugwumba, A.A.A. (2008). Nutritional Values of Some Non-Conventional Animal Protein Feedstuffs Used as Fishmeal Supplement in Aquaculture Practices in Nigeria 6.
- Ssepuyya, G., Namulawa, V., Mbabazi, D., Mugerwa, S., Fuuna, P., Nampijja, Z., Ekesi, S., Fiaboe, K.K.M. & Nakimbugwe, D. (2017). Use of insects for fish and poultry compound feed in sub-Saharan Africa – a systematic review. *J. Insects Food Feed* **3**, 289–302.
- St-Hilaire, S., Cranfill, K., McGuire, M.A., Mosley, E.E., Tomberlin, J.K., Newton, L., Sealey, W., Sheppard, C. & Irving, S. (2007). Fish offal recycling by the black soldier fly produces a foodstuff high in omega-3 fatty acids. *J. World Aquac. Soc.* **38**, 309–313.
- Surendra, K.C., Olivier, R., Tomberlin, J.K., Jha, R. & Khanal, S.K. (2016). Bioconversion of organic wastes into biodiesel and animal feed via insect farming. *Renew. Energy* **98**, 197–202.
- Tachibana, S.-I. & Numata, H. (2001). An artificial diet for blow fly larvae, *Lucilia sericata* (Meigen)(Diptera: Calliphoridae). *Appl. Entomol. Zool.* **36**, 521–523.
- Tarone, A.M. & Foran, D.R. (2008). Generalized additive models and *Lucilia sericata* growth: assessing confidence intervals and error rates in forensic entomology. *J. Forensic Sci.* **53**, 942–948.
- Tchibozo, S., Huis, A. van & Paoletti, M.G. (2005). Notes on edible insects of South Benin: A source of protein. In *Ecological Implications of Minilivestock. Role of Rodents, Frogs, Snails and Insects for Sustainable Development*: 246–250. Enfield: Science Publishers.
- Théodet, C. & Gandemer, G. (1991). Comparaison de cinq méthodes pour extraire les lipides du lactosérum et de ses dérivés. *Le Lait* **71**, 41–54.
- Thiex, N.J., Manson, H., Anderson, S. & Persson, J.-\AAke. (2002). Determination of crude protein in animal feed, forage, grain, and oilseeds by using block digestion with a copper catalyst and steam distillation into boric acid: collaborative study. *J. AOAC Int.* **85**, 309–317.
- Tomberlin, J.K., van Huis, A., Benbow, M.E., Jordan, H., Astuti, D.A., Azzollini, D., Banks, I., Bava, V., Borgemeister, C., Cammack, J.A., Chapkin, R.S., Čičková, H., Crippen, T.L., Day, A., Dicke, M., Drew, D.J.W., Emhart, C., Epstein, M., Finke, M., Fischer, C.H., Gatlin, D., Grabowski, N.T., He, C., Heckman, L., Hubert, A., Jacobs, J., Josephs, J., Khanal, S.K., Kleinfinger, J.-F., Klein, G., Leach, C., Liu, Y., Newton, G.L., Olivier, R., Pechal, J.L., Picard, C.J., Rojo, S., Roncarati, A., Sheppard, C., Tarone, A.M., Verstappen, B., Vickerson, A., Yang, H., Yen, A.L., Yu, Z., Zhang, J. & Zheng, L. (2015). Protecting the environment through insect farming as a means to produce protein for use as livestock, poultry, and aquaculture feed. *J. Insects Food Feed* **1**, 307–309.
- Van Huis, A. (2003). Insects as food in sub-Saharan Africa. *Int. J. Trop. Insect Sci.* **23**, 163–185.
- Veldkamp, T. & Bosch, G. (2015). Insects: a protein-rich feed ingredient in pig and poultry diets. *Anim. Front.* **5**, 45–50.
- Verbeke, W., Spranghers, T., De Clercq, P., De Smet, S., Sas, B. & Eeckhout, M. (2015). Insects in animal feed: Acceptance and its determinants among farmers, agriculture sector stakeholders and citizens. *Anim. Feed Sci. Technol.* **204**, 72–87.
- Vorstere, A., Aminou, T. & Demey, F. (1994). Récolte de termites pour l'aviculture à Songhaï (Bénin). *Cah. Agric.* **3**, 265–266.

- Wang, D., Zhai, S.-W., Zhang, C.-X., Zhang, Q. & Chen, H. (2007). Nutrition value of the Chinese grasshopper *Acrida cinerea* (Thunberg) for broilers. *Anim. Feed Sci. Technol.* **135**, 66–74.
- XiaoMing, C., Ying, F., Hong, Z. & ZhiYong, C. (2010). Review of the nutritive value of edible insects. *For. Insects Food Hum. Bite Back Proc. Workshop Asia-Pac. Resour. Their Potential Dev. Chiang Mai Thail. 19-21 Febr. 2008* 85–92.
- Zhang, B., Numata, H., Mitsui, H. & Goto, S.G. (2009). A simple, heat-sterilizable artificial diet excluding animal-derived ingredients for adult blowfly, *Lucilia sericata*. *Med. Vet. Entomol.* **23**, 443–447.
- Zheng, L., Crippen, T.L., Dabney, A., Gordy, A. & Tomberlin, J.K. (2017). Evaluation of Sterilized Artificial Diets for Mass Rearing the *Lucilia sericata* (Diptera: Calliphoridae). *J. Med. Entomol.* **54**, 1122–1128.
- Zuidhof, M.J., Molnar, C.L., Morley, F.M., Wray, T.L., Robinson, F.E., Khan, B.A., Al-Ani, L. & Goonewardene, L.A. (2003). Nutritive value of house fly (*Musca domestica*) larvae as a feed supplement for turkey poults. *Anim. Feed Sci. Technol.* **105**, 225–230.

<https://www.idrc.ca/en/project/integrating-insects-poultry-and-fish-feeds-kenya-and-uganda>

<http://www.icipe.org/research/plant-health/insect-food-and-feed/projects/insfeed-insect-feed-poultry-and-fish-production>

<https://www.shutterstock.com/fr/image-Figure/lifecycle-mealworm-composition-tenebrio-molitor-front-93620323?src=ftuLEuJXALmvmD-1xC3Gsw-1-0>

ANNEXES

Annexe 1 : fiche d'enquête détaillée

Fiche d'enquête : Evaluation des connaissances endogènes sur l'utilisation des insectes comme complément en alimentation de la volaille et du poisson au Bénin.

Date de l'enquête (J/M/A) :/...../..... Département :

.....

Nom de l'enquêteur :Commune :

.....

Arrondissement : Village:

N° Tel de l'enquêté :

Coordonnées géographiques :

Lat.....Long.....

1. Caractéristiques socioprofessionnelles de l'enquêté				
1.1. Nom et prénom :		Sexe: /__/ 0=MF=1	Age: /___/	
1.2. Ethnie: /_____/Profession de base /				
1.3. Religion : /___/ 1= Christianisme 2=Animisme 3=Musulmane 4=Autres à préciser				
1.4. Niveau d'instruction: /___/ 1=Analphabète2=Primaire 3=Secondaire 1 ^{er} cycle 4=Secondaire 2 ^{ème} cycle 5=Universitaire 6=Alphabétisé 7=Autres (à préciser)				
1.5. Situation matrimoniale : /___/ 1=Marié ou en couple 2=Veuf/Veuve 3=Divorcé 4=Célibataire				
1.6. Activité principale : /___/ 1=Agriculture 2=Elevage 3=pêches 4=transformation agro alimentaire 5= autre (préciser)				
1.7. Activité secondaire : /___/ 1=Agriculture 2=Transformation de produit agricole 3= élevage 4=Commerce5=Autres (à préciser)				
1.8. Taille et composition du ménage : /___/ Femmes : /___/ Hommes /___/ enfants /___/				
1.9. Structure du ménage : (habitants sous un même toit)				
			Nombres d'enfants	
Ages(ans)	Nombres d'hommes	Nombre de femmes		Sous-totaux

Moins de 5 ans.				
5-10				
10-15				
15-20				
20-30				
30-60				
Plus de 60				
Total				

2. Habitat

2.1. Type de maison

Murs		Toit		Sol	
Terre cuite ou Torchis		Paille		Terre	
Paille		Tôles		Bois	
Bois		Tuiles		Béton	
Maçonnerie		Dale		Carrelages	
Autre					

2.2. Superficie de la maison

Superficie de la ferme ou de la maison :m² ; Année de construction :

3. Utilisation des insectes

3.1. Quelles sont les raisons qui motivent le recours aux insectes (par ordre d'importance)

.....

.....

3.2. Quel(s) animaux nourrissez-vous à base d'insectes. (Préciser chaque animale, par ex pour la volaille, mentionner toutes les espèces de volaille)

.....

.....

3.3. Quelle(es) espèce(es) d'insectes utilisées :français ou locale des insectes les plus utilisées au moins utilisés, Prélever 5 échantillons par espèces) ?

Nom local	Nom français	Substrat d'élevage de l'insectes (dans le cas il procède à un élevage)

3.4. Quelle(s) partie(s) de l'insecte utilisez-vous (stades de développement) ?

Insectes	Parties utilisées(Stades de développement)	Raisons d'utilisation de cette forme

3.5. Comment vous procurez-vous ces insectes ? (Écrire le nom du fournisseur, le rencontrer)

Insectes	Elevage (visiter le lieu d'élevage utiliser le filet fauchoir et prendre des Figures	Ramassage (visiter le site de ramassage et poser un piège)	Achat (si achat préciser le prix/quantité)	
			Quantité	Prix

3.6. Si Ramassage, à quelle période ramassez-vous ces insectes ?

Insectes	Période (Mois / période de la journée (matin ou soir)

--	--

3.7. Sous quelle forme utilisez-vous les insectes pour nourrir les animaux ?

Nature és Bouillis és Farine

3.8. Pouvez-vous décrire l'élevage des insectes ?

.....

.....

3.9. Comment vous procurez-vous ce(s) substrat(s) pour les insectes ?

Achat production ramassage Don

3.10. Si vous les produisez vous-même, ? Si oui, comment procédez vous

Insectes produits	Aliment pour insectes	Description de la production de l'aliment

3.11. Si achat de substrat, combien coûte l'achat de ce substrat et quelle quantité achetez-vous ?

.....

.....

4. Performance des animaux élevés.

4.1. L'utilisation des insectes comme aliment pour les animaux vous semble-t-elle rentable ? Oui ou Non, Donnez les raisons

.....

.....

4.2. A quelle condition selon vous cela pourrait être rentable ?

.....
4.3. Quelles sont les problèmes/difficultés liés à l'utilisation des insectes dans votre élevage ?

.....
.....

5. Vaccination vétérinaire

5.1. Vaccinez-vous les animaux ? Oui Non

5.2. Si Oui, quels produits utilisez-vous ?

Animaux vaccinés	Types de vaccin

5.3. Depuis que vous utilisez les insectes, avez-vous plus recours aux produits vétérinaire ou non ?

Raisons (par ordre d'importance)

.....
.....

Circuit de commercialisation des animaux élevés

6. Commercialisation

Comment commercialisez-vous les animaux ?

- Vente individuelle au marché local
- Vente à un collecteur local
- Vente sur un marché extérieur
- Groupement de producteurs
- Autres(préciser)

Observations de l'enquêteur

.....
.....

Signature de l'enquêteur

Annexes 2 : tableau de contingence des raisons qui motivent le recours aux insectes selon les groupes ethniques

Ethnies/ Raisons	ADJ A	Autre Ethnie	COTAF ON	FO N	GOU N	HOUE DA	SAHO UE	TO RI	WEM E	Tot al
Aliment complémentaire	0	0	1	0	1	0	1	2	2	7
Aliment naturel	0	0	0	0	0	0	4	1	1	6
Aliment_peu_coute ux	0	0	0	0	3	0	0	2	1	6
Croissance rapide	10	2	1	4	0	0	2	3	2	24
Prise_de_poids	3	1	0	0	0	2	0	0	1	7
Resistance_maladie s	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Riche_en_nutrimen ts	2	1	3	0	4	0	6	3	2	21
Total	15	4	6	4	8	2	13	11	9	72

Annexe 3 : Tableau de contingence des insectes utilisés selon les ethnies

	ADJ	AIZ	Autre_Eth	COTAF	FO	GOU	HOUE	SAHO	TO	WE	Tot
	A	O	nies	ON	N	N	DA	UE	RI	ME	al
Larves_de_mou ches	9	2	4	4	4	8	2	4	10	8	55
Larves_des_pal miers	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Termites_ouvri ers	4	0	0	2	0	0	0	9	1	1	17
Total	15	2	4	6	4	8	2	13	11	9	74

Annexe 5 : tableau d'analyse de variance a deux facteurs des teneurs en protéines de *L. sericata*

	Df	Sum sq	Mean sq	F values	Pr(>F)
Sub	1	93.5	93.5	429.4	6.64e-09 ***
Stad	1	431.0	431.0	1978.6	7.33e-12 ***
Sub: Stad	1	51.3	51.3	235.4	9.27e-08 ***
Residual	9	2.0	0.2		

Annexe 6 : tableau d'analyse de variance à deux facteurs des teneurs en lipides de *L. sericata*

	Df	Sum sq	Mean sq	F values	Pr(>F)
Sub	1	0.05	0.05	0.009	0.926
Stad	1	315.9	315.97	64.382	4.27e-05 ***
Sub: Stad	1	0.21	0.21	0.043	0.840
Residual	8	39.26	4.91		