

République Algérienne démocratique et populaire

Université Abdelhamid Ibn
Badis-Mostaganem
Faculté des Sciences de la
Nature et de la Vie



جامعة عبد الحميد بن باديس
مستغانم
كلية علوم الطبيعة و الحياة

DEPARTEMENT DES SCIENCES ALIMENTAIRES

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

M.lle MAMMAR Asmaa

M.m MAKBOUL Asmae

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN SCIENCES ALIMENTAIRES

Spécialité : Technologie agroalimentaire et contrôle de qualité

THEME

Essai d'incorporation des larves soldat mouche noire dans
l'alimentation des volailles

Soutenue publiquement le 07/07/2022

DEVANT LE JURY :

Président	M. GHELAMALLAH Amine	MCA	U. Mostaganem
Encadreur	M. BENABDELMOUMENE Djilali	MCA	U. Mostaganem
Examineur	M. CHAALEL Abdelmalek	MCA	U. Mostaganem
Co encadreur	M. MUSTAPHA Kamel Fodil	Doctorant	U. Mostaganem

Année universitaire : 2021-2022

Dédicace

A celle qui attend mon retour a chaque jour

*A celles qui m'a comblées d'affection, d'amour et de tendresse,
et qui a veillé a calte de mon berceau pour consoler mes cris de
douleurs,*

et qui n'a jamais cessé de le faire.

Ma mère

*A celui qui fait le plus brave des hommes,
m'ouvrant ses bras dans les sombres moments et m'aidant à aller de
l'avant vers le meilleur,
et qui ma tant soutenu moralement et matériellemen.t*

Mon père.

A mes frères et mes chères sœurs.

*A tous ceux qui de près ou de loin m'ont apporté leur encouragement
de leur soutien. A tous mes amis de la promotion.*

Asmaa

Dédicaces

À mes plus chers au monde, à ma mère

Que Dieu leur donne de la santé et les protège pour nous.

*À mes frères « **Djilali, Mohammed et Ahlem** ». Pour son appui et encouragement. Je ne te souhaite que du succès et du bonheur. Que Dieu te protège pour nous.*

*À Mr. **BENABDELMOUMENE Djilali** qui doit voir dans ce travail la fierté d'un savoir bien acquis.*

*À ma collègue et mon binôme « **Asmaa** » pour tout le moment de stress et de fatigue que j'ai partagée avec toi.*

À mes amis, merci pour votre aide. Je vous souhaite la réussite dans vos parcours académiques, professionnels et personnels.

Asmae

Remerciement

C'est avec un réel plaisir que nous réservons ces lignes en signe de gratitude et de profonde reconnaissance à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation et à l'aboutissement de ce travail et toutes les personnes qui sont présentes autour de nous en ce moment

*Nous tenons à exprimer d'abord tout nous sincère remerciement et notre grand respect à Mr **BENABDELMOUMENE.D** pour nous avoir encadré, orienté pour toute sa Patience et ses précieux conseils qu'il nous a donnés.*

*Nous exprimons notre sincère gratitude à Mr **GHELAMALLAH. Amine** et nous le remercions pour nous avoir fait l'honneur d'accepter de présider le jury et d'ouvrir les portes de laboratoire à notre service.*

*Nos remerciements vont également à Mr **CHAALEL. Malik** pour accepté d'examiner ce travail et bien voulue faire partie des membres du jury.*

*Nous adressons nos sincères remerciements à Mr **MUSTAPHA KAMEL. Fodil** et l'ensemble du personnel du laboratoire de physiologie animale **N o u r e d d i n e** et **Nabil** pour leurs aides, soutiens et les bons moments passés qui ne pourront que rester inoubliables pour nous.*

Enfin, on tient à remercier l'ensemble des enseignants du département des sciences alimentaires qui ont participés à notre formation.

Liste des abréviations

BSF : black soldier fly

MSN : mouche soldat noir

AFNOR : Association française de normalisation

TCA : Temps de Céphalonie activée

TBA : L'acide Thio barbiturique

TBARS : Thiobarbituric acide réactive substances

MDA : Malo aldéhyde

FGO : fate grand ordre

AEC : ARS Electronica

Centre

FAO : organisation des nations unies pour l'alimentation at l'agriculture

MTEC : millions de tonnes équivalent carcasse

OCDE : l'organisation de coopération et de développement économique

L'USDA : département de l'agriculture des États-Unis

L'UE : l'Union européenne

MS : matière sèche

L : larves

Hi : Hermetic illucens

EU : European Union

ITAVI : Institue technique de l'aviculture

L : litre

Kg : kilogramme

Mg : milligramme

Mm : Matière minéral

Liste des figures

Figure 1 : Cycle de vie de la BSF (Jeroen De Smet *et al.*, 2018).

Figure2 : Pontes de BSF observée à l'œil nu et à la loupe binoculaire (Gx30) © J.TETOHU, TECHNIVAL

Figure 3: Photo de larves de BSF dans du tourteau de coprah et photo d'une pré nymphe © J.TETOHU, TECHNIVAL

Figure 4 : pupes et adultes de *Hermetia illucens* (www.bugguide.net, consulté le 04 Avril 2018)

Figure 5 : Adulte de *Lucilia sericata* (ww.inpn.mnhn.fr, consulté le 19 juin 2018)

Figure 6: Adultes et stades immatures de *Tenebrio molitor* (www.shutterstock.com, consulté le 25 juillet 2018)

Figure 7 : Ordre hiérarchique des termites (www.aramel.free.fr, consulté le 18 Juin 2018)

Figure 8 : dosage des protéines en (larve, mouche et coquille)

Figure 9 : dosage des lipides en (larve, mouche et coquille)

Figure10 : dosage des lipides en poulets (A,B) (blanc et cuisse)

Figure11: résultant de l'oxydation des lipides en TBARS de poitrine et de cuisse des poulets (A et B)

Figure12 : Valeurs en protéines des poulets A et B

Liste des tableaux

Tableau 1: Compositions chimiques moyennes (% , base sèche), minimales et maximales (entre parenthèses) des larves d'*Hermetia illucens* répertoriées dans la littérature¹ .

Tableau 2 : Teneur moyenne minimales et maximales (entre parenthèses) en minéraux des larves de MSN (% , base sèche) ¹

Tableau 3: Composition minimales et maximales (entre parenthèses) en acide aminé des larves de MSN (% , base sèche)¹ .

Tableau 4 : Comparaison de quelques paramètres entre les expériences de bioconversion avec les larves de MSN (ND : non disponible).

Tableau 5: Principaux producteurs de viande de volaille (Perspectives FAO, d'après Deman, 2016

Tableau 6 : Evolution de la production de la viande blanche en Algérie (1980 – 200

Tableau 7: les principaux pays consommateurs de poulet dans le monde (Hand Kurtis, 2014)

Tableau 09 : les résultats de la matière sèche des larves, des mouches et des coquilles

Tableau 10 : les résultats de la matière minérale des larves, des mouches et des coquilles.

Tableau11 : les résultats de la matière organique des larves, des mouches et des coquilles

Tableau 12 : résultats des teneurs en eau en (larve, mouche et coquille)

Tableau 13 : teneur en matière sèche des poulets A et B

Tableau 14 : teneur en matière minérale des poulets A et B

Tableau 15 : teneur en matière organique des poulets A et B

Tableau 16 : teneur en Eau des poulets A et B

Table des matières :

Remerciements	
Liste des abréviations	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Résumé	
Introduction	1

Partie bibliographique

Chapitre I: Mouche soldat noire

1. Biologie de l'insecte	03
1.1 Cycle de vie de la mouche soldat noire	4
1.2 Traitement des déchets par la MSN	5
1.3 Alimentation du bétail	7
2. Techniques d'élevage et approches nutritionnelles	8
2.1. Techniques d'élevage	8
2.1.1 Ecloserie	8
2.1.3. Approches nutritionnelles et facteurs abiotiques	9
3. Valeur nutritionnelle des larves de mouche soldat noire	10

Chapitre II: Viandes de volaille

I. Généralités sur la viande	13
1. Définition de la viande	13
2. La production mondiale de viande	13
3. Commerce mondial de viande	13
II. Définition de la viande blanche	16
1. Situation de la filière viande blanche	16
1.1 Dans le monde	16
1.2 En algérie	16
2. Consommation individuelle de la viande blanche	17
3. Importation de la viande blanche en Algérie	18
4. Croissance et développement des poulets de chair	18
5. Transformation du muscle en viande	18
5.1 Structure et composition chimiques du muscle	18
5.2 Muscle définition	19
5.2.1 Muscle lisses	19
5.2.2 Muscle strié squelettiques	19
5.2.3 Muscle striés cardiaque	19

Chapitre III: Consommation des insectes

1. Consommation des insectes dans le monde	20
2. Insectes utilisés en alimentation animale	21
2.1 Diptères	21
2.1.1 Hermetia illucens.....	22
2.1.2 Musca domestica	23
2.1.3 Calliphoridae du genre Lucilla	23
2.2 Coléoptères.....	24
2.3 Termites.....	25
2.5 Sauterelles	26

Partie Expérimentale

Chapitre I : Méthodologie

1. Objectif.....	27
2. Lieu de l'expérimentation	27
3. Matériel	27
4. Prélèvement.....	28
5. Etapes d'élevage des mouches soldats noires	28
6. Méthodes d'analyse.....	29
Mesure de la matière sèche	29
Mesure de la matière minérale (AFNORE 1994).....	30
Dosage des lipides totaux (FOLCH et al, 1957)	32
Dosage des lipides totaux (Soxhlet).....	34

Chapitre II : Résultats et discussion

1. Analyse physico-chimique de la mouche soldat noire	36
1.1 Matière sèche.....	36
1.2 Matière minérale.....	36
1.3 Teneur en protéines	38
1.4 Dosages des lipides	39
2. Analyse physico-chimiques de la viande	40
2.1 Dosage des lipides	42
2.2 Oxydation des lipides	43
2.3 Dosage des protéines	45
Conclusion générale	47

Résumé

L'objectif de notre travail est l'évaluation de la composition physicochimique et nutritionnelle des larves, la mouche et la coquille du soldat mouche noire misent en alimentation pour le poulet.

Les larves sont les plus riches en protéine (39,513% vs 35,853%) par rapport à la mouche. La mouche révèle une teneur en matière organique significativement plus importante par rapport à celle trouvée dans les coquilles.

Les résultats montrent la richesse des poulets qui consomme la farine de la mouche soldat noire en protéines (27,95 % et 24,24%) par rapport au poulet témoin

Les résultats de ces travaux nous ont permis d'affirmer que l'ensemble des d'échantillons présentent une bonne propriété protéique pour le poulet.

Nous avons enregistré une bonne corrélation entre les composés protéiques de nos échantillons et le poulet, cela indique que cette dernière prouvée par les deux tests utilisés est assurée, probablement, par les mêmes molécules bioactives (les protéines).

Mots clés : Mouches Soldat noires, Protéines, Poulets, larve, coquille

ملخص

هي اليرقات. الدجاج طعام في والصدف والذبابة اليرقات عينات لبعض الزباني الكيمياء التركيب نؤيم هو عملنا من الهدف من بكثير أعلى محتوى عن تكشف الذبابة أن حين في. الذبابة ب مقارنة % 35,853 مقابل % 39,513 بالبروتين الغنى (mg EAG / g) الأصداف في الموجود بالمحتوى مقارنة العضوية المواد مقارنة (% 27,24 و % 27,957 ب نؤدر بؤيم بالبروتينات غني الأسود الجزدي ذبابة يستهلك الذي الدجاج ان النتائج ظهرت . (% 26,51 و % 26,886) ب نؤدر بؤيمة السنهالك ذيل الضابط بالدجاج

بين جيداً ارتباطاً سجلنا لقد. للدجاج جيدة بروتينية خاصة لها العينات جميع أن على التأكيد العمل هذا نتائج لنا أتاحت يتم المسخدمين المختبرين خال من إثباته تم الذي الأخير أن إلى يشير وهذا ، والدجاج عينتنا في البروتين مركبات (البروتينات) البيولوجي في الجزيات نفس خال من ، الأرجح على ، نؤيرهما الكلمات المفتاحية: الجزدي الأسود النباب، البروتينات، الدجاج، يرقات، ذبابة

Abstract

The objective of our work is the evaluation of the phytochemical composition of some infusions of the larvae, the fly and the shell bet in food for the chicken.

The larvae are the richest in protein (39,513% vs35,853%) compared to the fly. While the fly reveals a significantly higher organic matter content compared to that found in the shells (mg EAG/g)

The results show the richness of the chicken which consumes the fly in proteins of values estimated at (27,957% et 27,24%), compared to the control chicken (before consumption) of value estimated at (26,886% et 26,51).

The results of this work allowed us to affirm that all of the samples have a good protein property for chicken.

We recorded a good correlation between the protein compounds of our samples and chicken, this indicates that the latter proven by the two tests used are provided, probably, by the same bioactive molecules (proteins)

Keywords: Black Soldier Flies, Proteins, Chickens, Larva, Shell

Introduction

Introduction générale

La viande est un élément qui apporte de nombreux nutriments indispensables à une alimentation équilibrée. C'est une source de protéines d'excellentes qualités car ces protéines contiennent 40 % d'acides aminés essentiels. C'est aussi une bonne source des minéraux tels que le fer (Chougui, 2015)

Les viandes de volailles sont importantes en alimentation humaine puisqu'elles permettent un apport protéique intéressant pour une teneur faible en matières grasses. Mais selon l'espèce ou le muscle considéré, ces proportions diffèrent, comme pour les autres constituants tels que les vitamines, les acides gras ou les éléments minéraux, qui peuvent également varier selon les auteurs et les méthodes d'analyses employées. Ainsi, chaque viande a ses propres caractéristiques nutritionnelles, qui parfois se rapprochent plus ou moins entre espèces (Brunel et al, 2010). La viande de volaille apporte environ 18 % de protéines. Cette teneur ne varie pas selon le sexe et l'âge de l'animal contrairement aux lipides. En effet, on trouve plus de lipides chez la femelle (8 %) et les animaux âgés (14 %-20 %) (Chougui, 2015)

L'Office national des aliments du bétail et de l'élevage avicole (2021) a indiqué que la consommation moyenne algérienne de viande blanche est d'environ 50 000 tonnes par mois.

L'ONAB a souligné que les indicateurs de consommation de viande blanche en Algérie ne sont pas loin des indicateurs mondiaux qui atteignent 18 kg par personne, expliquant que la consommation moyenne de volaille en Algérie est de 15 kg par personne. (Ouramdane, 2021)

Les prix des produits avicoles (poulets et œufs de consommation) ne risquent pas de baisser. Au contraire, vu la hausse des prix des intrants alimentaires et biologiques, ils vont se maintenir encore à des niveaux élevés durant les prochains jours, selon l'observatoire des filières avicoles algériennes (OFAAL).(Imene, 2022)

Dans sa dernière note de conjoncture, l'OFAAL précise que les problèmes qu'a connus le secteur avicole ces derniers mois sur le plan sanitaire (maladies), la hausse des prix des intrants biologiques et alimentaires ont eu un impact direct sur la production et les prix des produits avicoles d'une manière générale

Le ministère de l'agriculture et de développement local a indiqué qu'il est arrivé à un accord avec les éleveurs de poussins. cet accord, qui a été signé aujourd'hui, le 06 octobre, stipule la réduction de prix de poussin. Chose qui devrait mettre un terme à la flambée de poulet en Algérie. (Amine ait 2021)

Introduction générale

En Algérie, La quantité de maïs importé et destiné à l'alimentation de la volaille et des bovins est estimée à 4 millions de tonnes par an, a indiqué, dimanche à Alger, le ministre de l'Agriculture et du Développement rural, Mohamed Abdelhafid Henni. **Rédaction AE** (2021)

L'importation de l'alimentation d'élevage impacte sur le prix du poulet, notamment après la pandémie qui a dument touché le marché. Mais si des entreprises investissent dans l'élevage de la mouche soldat noire, l'Algérie pourrait devenir autosuffisante ou pourrait du moins diminuer les importations.

Originaire du continent américain, la mouche soldat noire est depuis plusieurs années naturellement présente en Polynésie française. Elle a pour avantage de ne pas piquer, de ne pas être un vecteur de maladies et de ne pas être envahissante. Sa larve peut se nourrir d'une multitude de sources de déchets organiques : épluchures, restes de repas, tourteaux de coprah ou de soja, déchets d'animaux, coco râpé, fumiers et lisiers.

La biomasse larvaire est très riche en protéines (43% environ) et présente une source de protéines et donc d'alimentation alternative extrêmement intéressante pour l'alimentation animale, pouvant substituer tout ou partie des aliments importés. De plus, le résidu obtenu après bioconversion de la matière constitue un amendement organique naturel pouvant être mélangé à la terre pour fertiliser les cultures

(AGRICULTURE ET FORESTERIE, 2021)

L'objectif de notre recherche de fin d'étude c'est d'utiliser les larves de la mouche soldat noirs nourris à base de déchets ménagers dans l'élevage animal (poulet).

Chapitre I: Mouche soldat noire

1. Biologie de l'insecte

La mouche soldat noire ou black soldier Fly (BSF) appartient à l'ordre des Diptères, à la famille des Stratiomyidae, au genre *Hermetia* et à l'espèce *Hermetia illucens*.

Originnaire d'Amérique du sud, la BSF est aujourd'hui distribuée mondialement, notamment dans les régions tropicales, subtropicales et tempérées qui offrent des conditions environnementales favorables au développement et à la survie de la BSF (27-30°C ,60-90% d'humidité dans l'air, exposition à la lumière naturelle du soleil).

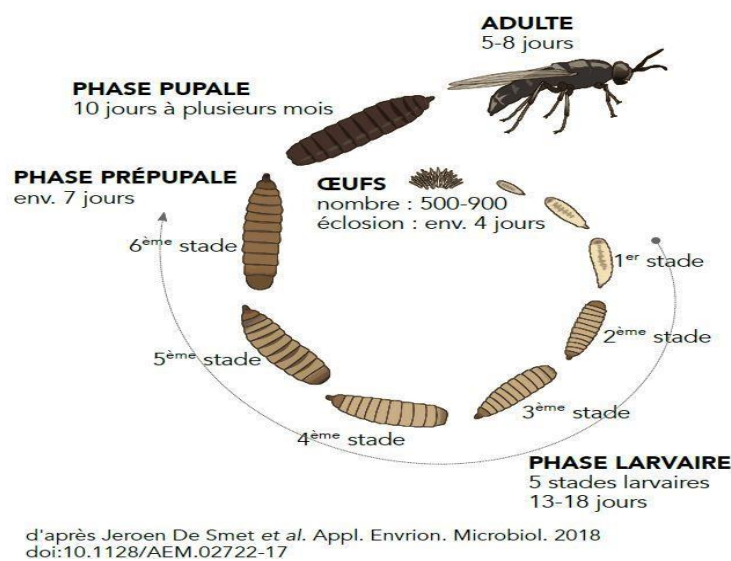


Figure 1 : Cycle de vie de la BSF (Jeroen De Smet *et al.*, 2018).

La figure 1 ci-dessus illustre le cycle de vie de la BSF. Dans la nature, les femelles BSF déposent leurs œufs dans de petits interstices ou cavités proches de matière organique en décomposition (Tomberlin *et al.*, 2002). De cette façon, les œufs sont protégés des prédateurs, du dessèchement et de l'humidité, et les larves sont à proximité de nourriture dès l'éclosion et commencent ainsi à s'alimenter immédiatement (Dortmans *et al.*, 2017). Les œufs de BSF sont de couleur crème et mesurent en moyenne 1mm, ils sont pondus par amas de plusieurs centaines d'œufs (Figure 2)



Figure2 : Pontes de BSF observée à l'œil nu et à la loupe binoculaire (Gx30) © J.TETOHU, TECHNIVAL

Les larves de BSF sont voraces et passent toute leur vie de larve à se nourrir. C'est pendant cette période que les réserves de graisse et de protéines sont stockées (Barragan-Fonseca et *al.*, 2017). Au moment de l'éclosion, la larve est blanche et mesure quelques millimètres, au cours de sa croissance, elle pourra mesurer jusqu'à 27mm et sa couleur va progressivement s'assombrir. Dans des conditions optimales d'alimentation, la croissance des larves dure deux semaines, néanmoins la larve de BSF est un organisme résilient qui a la capacité de prolongé son cycle de vie lorsque les conditions ne sont pas favorables (Dortmans et *al.*, 2017) .



Figure 3: Photo de larves de BSF dans du tourteau de coprah et photo d'une pré nymphe © J.TETOHU, TECHNIVAL

Le stade larvaire final est le stade de pré-nymphe. Lorsqu'elle se transforme en pré-nymphe la larve remplace sa partie buccale qui lui servait à s'alimenter par une structure en forme de crochet et prend une couleur brune. le crochet lui permet alors de se déplacer et de s'éloigner aisément de la source de nourriture vers un environnement propre et sec, pour entrer en nymphose (Barros et *al.*, 2019). Dans l'idéal, ce comportement peut être exploité pour mettre en place une {autorécolte} des larves.

Une fois arrivée dans un environnement adapté et l'abri des prédateurs, la pré-nymphe se transforme en nymphe. Son enveloppe noircit, la pré-nymphe cesse de bouger jusqu'à l'émergence de la mouche deux à trois semaines plus tard.

Une fois émergée, la mouche adulte, se reproduit pour assurer la pérennité de son espèce. La BSF adulte ne se nourrit quasiment pas mais son espérance de vie est meilleure si elle a accès à une source d'eau ou d'eau sucrée (Bertinetti et *al.*, 2019). Elle peut ainsi vivre une à deux semaines.

1.2. Traitement des déchets par la MSN

Le contexte mondial dans lequel s'installe l'entomoculture se confronte à deux problématiques humaines auxquelles elle tente de répondre : la gestion des déchets et la capacité de réponse aux besoins alimentaires de tous les habitants d'ici 2050. En effet, l'élevage de larves de mouche soldat noire (MSN) comme traitement des déchets organiques est une stratégie prometteuse qui se différencie des traitements conventionnels tels que la digestion anaérobie, l'incinération ou encore le compostage, par la création d'une source de protéines pour les élevages d'animaux comme ceux des poules ou encore des poissons (Salomone et *al.*, 2017 ;

Gold et al., 2018). Outre la valorisation des déchets sous forme de protéines alimentaires, la larve est aussi riche en graisse et en chitine extractibles, ce qui lui confie un intérêt supplémentaire pour d'autres utilisations. Au cours des dernières décennies, cette méthode émergente a reçu de plus en plus d'attention (Salomone *et al.*, 2016 ; Gold *et al.*, 2018 ; Cickova *et al.*, 2014 ; Sprangers *et al.*, 2017 ; Meneguz *et al.*, 2018 ; Mertenat *et al.*, 2019 ; Smetana *et al.*, 2019 ; Sarpong *et al.*, 2019). Un système industriel se décompose en plusieurs étapes (Dortmans *et al.*, 2017 ; Zurbrügg *et al.*, 2018) :

- Un traitement des déchets préalable : réduction de la taille de la matière organique, déshydratation, extraction des matières inorganiques.

- Le traitement des déchets par la larve de MSN : les larves (4 à 9 jours, 1 à 2 mg) et la matière à dégrader (fumier, fruits et légumes, alimentation pour volaille, etc.) trouvent place dans un récipient. Selon un ratio établi par Diener *et al.*, (2009), les larves sont nourries à raison de 100 à 125 mg par jour par larve. Celui-ci est élargi par Parra Paz *et al.*, (2015) à des rations comprises entre les déchets organiques peuvent être procurés en une ou plusieurs fois (Dortmans et al., 2017).

- La récolte des larves de MSN (Gold et al., 2018 ; Nguyen et al., 2013) : les larves sont récoltées après 15 à 52 jours (selon les conditions du système de température, d'humidité, de régime alimentaire et de densité), lorsqu'elles ont atteint le stade de pré pupes (55 à 299 mg selon la source pour 6 à 20 mm). Elles migrent seules de la source de nourriture vers un site plus sec. Pour cela, une rampe incluse dans le système permet une collecte naturelle, sans nécessité d'action humaine. Si le dispositif ne contient pas de rampe, le substrat peut être tamisé afin de récupérer les larves.

- Le produit final à valeur économique selon la demande (Zurbrügg et al. 2018) : les pré pupes peuvent être vendues vivantes ou transformées. Dans le cadre d'une transformation, les différents processus utilisés peuvent impliquer de les tuer, les laver et les stériliser par ébullition, les sécher et enfin les fractionner en séparant les protéines des lipides et de la chitine. Enfin, le résidu des larves est valorisable par (vermi-)compostage ou digestion anaérobie. 11 La littérature sur la MSN n'a commencé à réellement s'étendre qu'à partir de 2017, lorsque l'Union Européenne a autorisé l'intégration des insectes comme source alimentaire pour les poissons par la réglementation (EU) 893/2017, approuvant l'utilisation de protéine de sept espèces d'insectes, dont *Hermetia illucens* (Bosch *et al.*, 2019, (EU) 893/2017). Une première partie de la littérature s'est intéressée à la capacité de conversion des déchets

organiques par la larve de MSN en protéine. Le premier système de traitement des déchets par *Hermetia illucens* (HI) est recensé par Sheppard *et al.* en 1994. Le système traite du fumier de poules. Le taux de réduction de 50 % est engageant et entraîne une conversion du fumier en protéine de 42 % et en graisse de 35 %. Diener *et al.* (2010) pratique la même expérience en se focalisant sur différentes rations alimentaires (de 12,5 à 200 mg / jour / larve). Les résultats montrent les meilleurs résultats pour la ration de 100 mg, qui sera une référence pour de nombreux rapports. Le taux de réduction des déchets atteint les 43,3 % pour un taux de conversion en protéines de 38,1 %. La ration de 200 g obtient le moins bon taux de réduction des déchets avec seulement 26,2 %. En 2011, il réitère l'expérience avec différentes sources de déchets. Les boues fécales (167 mg/larve/jour) atteignent un taux de réduction de 54,7 % tandis les déchets organiques municipaux (507 mg/larve/jour) avoisinent les 68 %. En 2005, **Newton *et al.***,(2005) estiment la réduction du fumier porcin de 50 % et une conversion en protéine d'environ 40 % et en lipide d'environ 30 %. Kalova *et al.*, (2012) montrent une réduction de 66,53 % de la masse initiale de tissu végétal, de 46,04 % de reste de nourriture et seulement de 8,47 % de déchets de jardin. Plus récemment, Nguyen *et al.* (2015) analysent à petite échelle des taux de réduction de 67,9 % pour les déchets de cuisine, 74,2 % pour la farine de poisson et 98,9 % pour les fruits et légumes. L'étude relève des conversions en protéine plus basses qu'auparavant, qu'elle explique par le fait que les larves n'étaient nourries que lorsqu'elles avaient consommé les déchets auparavant donnés. En 2019, Bosch *et al.*,(2019) fait l'inventaire des études analysant la conversion des ressources organiques par HI. Il constate un plus haut taux de conversion chez les déchets contenant plus de protéines.

1.3. Alimentation du bétail

Le potentiel des larves de MSN en tant qu'ingrédient dans la diète a été testé lors d'essais alimentaires chez de nombreuses espèces animales et s'est avéré un produit performant pour la croissance des animaux. Les mouches pondent des œufs qui se développent rapidement en larves (le stade d'alimentation avec un gain pondéral important), puis en pré pupes (le stade le plus riche en protéines et en lipides) et enfin en pupes. Par ailleurs, ce sont surtout les stades larvaires et pré pupes qui semblent intéressants dans les études alimentaires. Par exemple, les larves et pré pupes de MSN sont une source de nutriments de qualité pour les volailles (Hale, 1973 ; SánchezMuros *et al.*, 2014), les porcs (Newton *et al.*, 1977; Laureati *et al.*, 2016) et les poissons (Bondari et Sheppard, 1987; Cummins *et al.*, 2017). Les pré pupes pourraient être un aliment alternatif approprié pour animaux pouvant substituer la farine de poisson, le son de blé

et le maïs que nous utilisons actuellement pour nourrir le bétail (Makkar et *al.*, 2014; Driemeyer, 2016).

2 . Techniques d'élevage et approches nutritionnelles

2.1. Techniques d'élevage

2.1.1 Écloserie

Des études réalisées par Sheppard et al. (2002) sur l'élevage de la mouche soldat noire révèlent que l'accouplement peut être réalisé de manière fiable dans une cage de 2 m x 2 m x 4 m, dans une serre de 7 m x 9 m x 5 m fournissant de la lumière du soleil et un espace adéquat pour l'accouplement aérien. Les adultes doivent être abreuvés, mais aucune nourriture n'est nécessaire. Il existe la technique d'élevage des MSN au laboratoire qui consiste à mettre 40 g de pré pupes dans des volières (28,5 cm x 28,5 cm) exposées à une lumière artificielle (Technologie ADSOL Led, 450 à 700 nm ; Montréal, Canada) qui au bout de deux semaines émergeront pour donner des mouches adultes. L'éclosion des œufs se produit en incubateur (Growth cabinet, MLR-350, Sanyo, Osaka, Japon) à photopériode constante (12L : 12N) à 27°C avec une humidité de 80%.

Pieterse et Pretorius (2014) ont signalé que la MSN tolère une large gamme de température et d'humidité avec des adultes qui s'accouplent généralement et pondent à des températures de 24°C à 36°C. Sur le lieu d'élevage, une humidité relative de 70 à 80% soutient l'accouplement et l'oviposition (Park, 2016). Les œufs et les larves sont généralement maintenus à 27°C, mais ils semblent également tolérer une gamme de conditions (température et humidité) (Park, 2016). Également, une baisse ou une hausse d'humidité aura un effet négatif sur l'éclosion des œufs et l'émergence des adultes (Holmes, 2012).

2.1.2 Production en masse

Le premier système a trait à la production continue, qui consiste à transférer des larves de mouches tous les jours dans des auges construites avec des murs inclinés dans lesquels les larves sont nourries avec un flux constant de déchets à faible volume (Dossey et *al.*, 2016).

Le deuxième système le plus expérimenté au cours des 15 dernières années consiste à installer des lots de larves dans des conteneurs ou dans des bacs, qui permettent d'alimenter et surveiller quotidiennement les larves et d'assurer qu'au moins 40% d'entre elles atteindront le stade pré-pupe (Sheppard et *al.*, 2002).

2.1.3 Approches nutritionnelles et facteurs abiotiques

Des études ont montré que les macronutriments, les protéines, les glucides, les fibres et les lipides contenus dans les diètes fournies aux larves ont une grande influence sur les performances de croissance et la qualité nutritionnelle des larves (Nguyen et *al.*, 2013; Ooninx et *al.*, 2015; Tinder et *al.*, 2017). Les larves nourries avec des fruits et légumes parviennent à une taille et une masse finale inférieure ainsi qu'un temps de développement jusqu'à maturité supérieure par rapport aux larves nourries avec des résidus de cuisine et du foie (Nguyen et *al.*, 2013). La faible teneur en matières grasses et en protéines des fruits et légumes serait probablement en cause (Nguyen et *al.*, 2013; Jucker et *al.*, 2017). L'excès de protéines, pour sa part, entraîne une excrétion d'ammoniaque (nauséabonde) tandis que la carence en protéines prolonge le temps de développement larvaire (Carvalho et Mirth, 2017; Gold et *al.*, 2018).

Les fibres indigestes (comme la lignine), lorsque données en grandes quantités, peuvent retarder les performances de bioconversion en réduisant la densité globale des éléments nutritifs nécessaires au développement larvaire (BarraganFonseca et *al.*, 2017; Gold et *al.*, 2018). Selon Ooninx et *al.*, (2015), le développement larvaire n'est probablement pas ralenti par les lipides, sauf s'ils sont fournis en excès. Dans les régimes faibles en lipides et en protéines, mais riches en glucides, ces derniers sont convertis en lipides par les larves et stockés dans les tissus adipeux en corps gras (Handke et *al.*, 2013; Pimentel et *al.*, 2017).

La quantité d'aliments servie aux larves a un impact sur le processus de bioconversion. Une forte quantité d'aliments fournie submerge les larves et rend l'accès difficile aux nutriments, tandis qu'une quantité insuffisante occasionne la compétition entre les larves (Banks et *al.*, 2014; Rivers et Dahlem, 2014; Dortmans et *al.*, 2017). Selon Banks et *al.*, (2014), nourrir les larves de MSN en continu tout au long de la croissance (par exemple tous les deux jours) accélère la mue des larves en pré pupes et les affaiblit comparativement aux larves nourries en batch, une fois au début de l'expérience. Diener et *al.*, (2009) ont proposé des taux d'alimentation de 100 à 125 mg par larves et par jour à 60% d'humidité. La teneur en humidité et le pH des régimes alimentaires ont des incidences sur les performances des larves pendant la bioconversion. Selon Dortmans et *al.*, (2017) la teneur en humidité des régimes alimentaires doit généralement être comprise entre 70 et 80%. Le pH s'est avéré mortel pour les larves lorsque la valeur était inférieure à 2 alors que des valeurs comprises entre 6 et 8 favoriseraient

la croissance et la bioconversion des larves (Ma et al., 2018). La température du milieu a également d'importantes répercussions sur les larves. Newby (1997) a constaté une forte mortalité des larves à une température de 47°C. À l'opposé, une faible prise alimentaire est observée à de basses températures (< 15°C) (Newby, 1997; Myers et al., 2014). Il a ainsi suggéré 35°C comme température d'alimentation optimale pour les larves (Newby, 1997; Cheng et al., 2017).

3. Valeur nutritionnelle des larves de mouche soldat noire

Les larves de MSN constituent une source alimentaire de grande valeur nutritive, très riche en protéines et en lipides. Cependant, la teneur en lipides et en protéines est variable et dépend du type de régime alimentaire. La teneur en cendre est relativement élevée, mais variable de 6 à 18%, base sèche. Les larves de MSN contiennent différents acides aminés, et celle la plus importante proportion est la lysine avec 6 à 8%. Son profil nutritionnel riche et varié fait d'*Hermetia illucens* (MSN) un insecte prometteur pour l'alimentation animale (BarraganFonseca et al., 2018b; Gold et al., 2018).

Tableau 1: Compositions chimiques moyennes (% , base sèche), minimales et maximales (entre parenthèses) des larves d'*Hermetia illucens* répertoriées dans la littérature¹.

Protéine brute n=5	Fibres brutes n=1	Lipides brutes n=5	Cendres n=5	Energies brutes (MJ/kg MS)
42,1±1,0 (32,1-58,6)	8,0±4,0 (7,1-14,3)	26,0±8,3 (15,0-39,8)	10,6±6,0 (6,4-18,4)	22,1±3,1 (20,1-30,4)

¹Sources : St-Hilaire et al., 2007; Makkar et al., 2014; Cheng et al., 2017; Barragan Fonseca et al., 2017 - 2018b; Gold et al., 2018.

Tableau 2 : Teneur moyenne minimales et maximales (entre parenthèses) en minéraux des larves de MSN (% , base sèche) ¹.

Ca (g/kg) n = 4	P n = 4	K n = 1	Na n = 1	Mg n = 1	Fe n = 1	Mn n = 1	Zn n = 1	Cu n = 1
g/kg						mg/kg		
75,6 ± 17,1 (50,0 - 86,3)	9,0 ± 4,0 (6,4 - 15,0)	6,90	1,30	3,90	1,37	246,0	108,0	6,0

Sources : Arango Gutierrez et al., 2004; Makkar et al., 2014; Cheng et al., 2017

Tableau 3: Composition minimales et maximales (entre parenthèses) en acide aminé des larves de MSN (% , base sèche) .

Acide aminé essentiel	g/100g d'azote
Alanine (n=4)	7,7 ± 0,8 (6,9 – 8,8)
Arginine (n=4) Acide	5,6 ± 0,3 (5,3 – 6,1)
Aspartique (n=4)	11,0 ± 1,8 (8,5 – 12,5)
Cystine (n=1)	0,1
Histidine (n=4)	3,0 ± 1,0 (2,3 – 4,5)
Isoleucine (n=4)	5,1 ± 0,5 (4,7 – 5,6)
Leucine (n=4)	7,9 ± 0,6 (7,1 – 8,4)
Lysine (n=4)	6,6 ± 0,9 (6,0 – 8,0)
Méthionine	2,1 ± 0,3 (1,7 – 2,4)
Phénylalanine (n=4)	5,2 ± 0,4 (4,6 – 5,6)
Thréonine (n=4)	3,7 ± 1,7 (1,3 – 4,8)
Tryptophane (n=1)	0,5
Acide glutamique (n=4)	10,9 ± 2,4 (8,7 – 13,5)
Valine (n=4)	8,2 ± 1,4 (6,4 – 9,1)
Proline (n=4)	6,6 (5,5 – 7,7)
Serine (n=4)	3,1 ± 1,9 (0,3 – 4,2)
Tyrosine (n=4)	6,9 ± 0,7 (6,0 – 7,7)

1Sources : St-Hilaire et *al.*, 2007; Sealey et *al.*, 2011; Makkar et *al.*, 2014; Cheng et *al.*, 2017.

Tableau 4: Comparaison de quelques paramètres entre les expériences de bioconversion avec les larves de MSN (ND : non disponible).

Références	Régime alimentaire	Humidité des régimes (%)	Température ambiante (C°)	Humidité ambiante (%)	Taux de survie (%)	temps de développement larvaire (jour)	Poids moyen des larves sur base humide (mg)	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Taux de conversion alimentaire	Bioconversion (%) sur base sèche
Ma et al., 2018	Mélange de son et farine de maïs	76	27	60-70	88-99	20-29	160-210	ND	ND	ND	ND
Ur Rehman et al., (2017)	Fumier de bovins laitiers et résidus de soja	78-82	27	60-70	91-99	19-23	63-123	ND	ND	4,2-6,2	6,3-15,2
Costanza Jucker et al.,-2017	Fruits et légumes	86-92	25	60	89-96	37-52	154-184	14,8-16,0	ND	ND	ND
Cheng et al., 2017	Déchets alimentaires pré et post-consommation	70-80	35	ND	95-99	12_19	119-161	ND	ND	ND	ND
Tinder et al., -2017	Mélange de son et farine de maïs	70	28	70	59-75	25-39	92-157	15,2-18,0	ND	ND	ND
Manurung et al., (2016)	La paille de riz	60	28	65-75	51-98	38-54	ND	ND	ND	ND	ND
Oonincx et al., -2015	Sous-produits alimentaires	ND	28	70	72-86	21-37	ND	ND	ND	1,4-2,6	ND

Chapitre II: Viandes de volaille

I-Généralités sur la viande**1-Définition de la viande**

L'origine du mot viande vient du latin « vivenda qui sert à la vie ». Selon le *Codex Alimentarius* (2003), « C'est la partie comestible de tout mammifère ». En 2005 le même *Codex Alimentarius* en donne une autre définition : « la viande est toutes les parties d'un animal qui sont destinées à la consommation humaine ou ont été jugées saines et propres à cette fin ».

2-La production mondiale de viande : (FAO 2021)

La production mondiale de viande devrait croître de 4,2 pour cent en 2021 par rapport à 2020 et avoisiner les 353 millions de tonnes, grâce principalement à un fort rebond prévu de la production en Asie et de gains notables dans toutes les principales régions productrices, à l'exception de l'Océanie. L'essentiel de l'augmentation prévue en Asie devrait survenir en Chine, où la production de viande devrait croître de 16 pour cent par rapport à l'année dernière et atteindre 90 millions de tonnes, dépassant ainsi le niveau de 2018, soutenue par un déstockage accru du cheptel porcin, suscité par les baisses de prix et les récentes éclosions de foyers de peste porcine africaine dans certaines provinces. La production devrait également fortement croître en Inde, au Pakistan et au Viet Nam sous l'effet d'une augmentation des cheptels et d'une demande accrue. Des gains modérés de production sont prévus en Amérique latine et dans les Caraïbes, principalement au Brésil et au Mexique, favorisés par la vigueur de la demande d'importation. En Amérique du Nord, la production devrait croître modérément, sous l'effet d'une hausse des abattages suscitée par le recul des marges des producteurs et la détérioration des pâturages dans certaines régions. En Europe, la production ne devrait enregistrer qu'une légère croissance, en raison de la disponibilité limitée de bovins et de l'apparition de foyers d'influenza aviaire, tandis qu'en Afrique les perspectives de production sont globalement favorables. En revanche, la demande accrue pour la reconstitution des stocks et la diminution du cheptel bovin devraient aboutir à une contraction de la production en Océanie.

3- Commerce mondial de viande : (FAO 2021)

En 2021 devrait dépasser les 42 millions de tonnes (équivalent poids carcasse), ce qui représenterait une hausse de 1,1 pour cent par rapport à 2020, mais constituerait également le rythme de croissance annuelle le plus lent de ces six dernières années. Cette décélération résulte principalement d'une contraction prévue des importations de la Chine et de certains grands pays

importateurs de viande en Europe et au Moyen-Orient, en raison de disponibilités accrues sur les marchés intérieurs, d'un rétablissement incomplet des services de restauration et de goulots d'étranglement logistiques. Toutefois, plusieurs pays, en particulier les Philippines, le Mexique, le Chili et le Viet Nam, sont susceptibles d'acheter davantage de viande pour rendre les prix de la viande plus abordables et répondre aux besoins accrus des services de restauration. Les perspectives concernant les exportations de viande sont favorables au Brésil, aux États-Unis d'Amérique, en Inde, au Paraguay et au Canada, tandis que l'Union européenne, le Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord, l'Australie et l'Argentine pourraient voir leurs expéditions se contracter. L'Indice FAO des prix de la viande a augmenté durant 10 mois consécutifs, entre octobre 2020 et juillet 2021, en raison principalement de la vigueur de la demande mondiale d'importation qui a souvent dépassé l'offre disponible dans les principaux pays exportateurs. Toutefois, le ralentissement des importations de la Chine a entraîné une baisse des prix mondiaux de la viande depuis août.

II-Définition de la viande blanche

La viande blanche est une protéine animale présentant autant de qualités nutritives que la viande rouge (Ovine, Bovine, etc.) (BOUKHALFA, 2006). Il s'agit des viandes d'animaux de basse-cour (dinde, oie, faisan, poule, etc.) ainsi que la viande du porc .

1-Situation de la filière viande blanche

1-1. Dans le monde

De tout temps, parmi les aliments les plus consommés, la viande occupe une place importante et symbolique sans équivalents dans presque toutes les sociétés du monde. La production mondiale de viande de volaille est celle qui a connu l'évolution la plus favorable. Elle est la deuxième viande produite dans le monde.

Actuellement produite dans la plupart des pays du monde, son essor a été lié au fort développement de la consommation mondiale, et surtout à une forte demande en protéines à bas prix sur le marché mondial (Kheffache, 2006). Sa production est en constante progression (+ de 2% par an) (Berri, 2015).

Selon la FAO, la production de volaille en 2013 (107 Millions de Tonnes équivalent Carcasse-MTEC) se situe au second rang mondial juste derrière la viande de porc (114 MTEC) et loin devant la viande bovine (68 MTEC). Le poulet représente à lui seul 90% de la production de volaille mondiale (96 MTEC). En 2015, la production mondiale de volaille a atteint, selon les

estimations de la FAO, 114,8 MT. Le premier continent producteur de volaille en 2015 reste l'Asie avec 35% de la production mondiale (Chine, Inde, Thaïlande, Indonésie). 20% de la production mondiale de volaille est assurée par l'Amérique du Nord (aux États-Unis principalement). En 3^e position vient l'Amérique du Sud qui contribue à hauteur de 19% de la production mondiale grâce à la production brésilienne. Le tableau (1) illustre les principaux producteurs de viandes de volaille dans le monde.

Tableau 5: principaux producteurs de viande de volaille (Perspectives FAO, d'après Deman, 2016).

	Production 2015 en MT	Évolution par rapport 2014	Prévisions de production 2016 en MT
États-Unis	21,2	+2,9%	21,8
Chine	19,0	+2,8%	18,0
Union européenne	13,8	+3,8%	14,0
Brésil	13,8	+3,6%	14,2
Russie	4,1	+11,4%	4,2
Monde	114,8	+3,4%	115,2

La FAO apporte une hausse de la production mondiale de la volaille en 2016 de 0,9% par rapport à 2015 soit 115,8 MT produits dans le monde. Aux États-Unis, les prévisions de l'USDA tablent sur une hausse de 2,5% en 2016 où la production américaine de poulets et dinde atteindrait 21,2 Mt. La production de poulet est en hausse de 1,7% en 2016 par rapport à 2015 soit 18,5 Mt environ. Les exportations qui ont fortement chuté en 2015

(-16,7% par rapport à 2014) en raison de la fermeture de nombreux marchés export aux produits avicoles venant des États-Unis, devraient retrouver le chemin de la croissance en 2016 via la reconquête de certains pays importateurs (Deman, 2016).

La Chine, second producteur de viande de volaille derrière les États-Unis et leader mondial pour la production d'œufs de consommation, elle a fortement développé son aviculture sur les trente dernières années grâce à une demande intérieure soutenue et à l'industrialisation de la filière (Magdelaine, 2017). En 2015, la Chine a décrété un embargo sur les États-Unis puis à la fin de l'année sur la France en raison des épidémies d'influenza aviaire. Cette situation a

conduit à un problème d'approvisionnement en génétique sur le territoire chinois ce qui devrait impacter lourdement la production chinoise en 2016 et 2017.

La FAO prévoit un recul de la production de l'ordre de 5% soit une production estimée à 18 Mt en 2016. Sa production future dépendra fortement des choix du gouvernement chinois sur une éventuelle levée des embargos (**Deman, 2016**).

La production européenne de volaille en 2015 selon la Commission européenne aurait progressé de 3,7% pour atteindre 13,8 MT, hausse favorisée par des prix bas de l'aliment. Les abattages de l'année 2015 confirment la première place et le dynamisme de la Pologne dont les abattages de poulets ont atteint 1,64 MT. soit une augmentation de 10,7% par rapport à 2014. Les abattages de poulets progressent dans tous les principaux pays producteurs de l'UE sauf en Espagne où le volume de poulet abattu recule de 2,0% par rapport à 2014 à 573 390 T et en Allemagne où les abattages baissent de 0,8% en 2015 à 964 000 T. ainsi, le Royaume-Uni se place deuxième en termes d'abattages de poulets (+3,0% par rapport à 2014, avec 1,48 MT abattu), l'Espagne troisième malgré des volumes en recul, la France quatrième avec des abattages en hausse de 5,1% et qui atteignent 1,05 MT Et les Pays-Bas cinquième avec une hausse des abattages de 2,8% soit 982 480 T en 2015 (ITAVI, 2016). La croissance de la production brésilienne tirera parti de l'abondance des ressources naturelles, des aliments du bétail et des pâturages, ainsi que des gains de productivité et de la dévaluation du réal (OCDE/FAO, 2016). La stratégie du Brésil consistant à répondre à une demande mondiale fonctionne bien, d'autant plus que la production parvient à conquérir de nouveaux marchés à l'export (Pakistan, Malaisie, Myanmar, ...) ou à substituer à d'autres Unis afin d'exporter vers la Chine ou la Russie (**Deman, 2016**).

I.2. en Algérie

Le président-directeur général de l'Office national des aliments du bétail et de l'élevage avicole, Mohamed Betrouni, a indiqué, ce mercredi 27 janvier 2021, lors de son passage à la Radio chaîne 1, que la consommation moyenne algérienne de viande blanche est d'environ 50 000 tonnes par mois.

M. *Betraoui* a souligné que les indicateurs de consommation de viande blanche en Algérie ne sont pas loin des indicateurs mondiaux qui atteignent 18 kg par personne, expliquant que la consommation moyenne de volaille en Algérie est de 15 kg par personne. (**Ouramdane Mehenni, 2021**)

Tableau 6 : Évolution de la production de la viande blanche en Algérie (1980 – 2004).

Années	Quantité de viande blanche (tonnes)
1980	95000
1989	157000
2000	169182
2003	152473
2004	163625
Croissance (80 -89)	+171%
Croissance (89 -00)	+34%
Croissance (03 -04)	+7%

Cette diminution pourrait s'expliquer par les nombreuses contraintes de l'aviculture en Algérie : la quasi-dépendance du marché extérieur concernant l'approvisionnement en matières premières alimentaire, les faibles performances zootechniques, certains intrants biologiques et technologiques avicoles, la non-maitrise des paramètres d'ambiance et le non-respect des programmes de prophylaxie (**Bouyahiaoui**, 2003). En Algérie, la production du poulet de chair connaît de sérieuses difficultés, qui contrarient son amélioration quantitative et qualitative. Le fonctionnement du secteur avicole reste en dessous des normes internationales (**Kaci et Cheriet**, 2013). Ceci est induit par le non-suivi des pratiques d'élevages performantes et l'investissement dans des bâtiments et équipements qui ne répondent pas aux normes d'élevages (**Mouhous et al.**, 2015).

2. Consommation individuelle de la viande blanche

Si la production mondiale de la volaille augmente alors sa consommation mondiale augmentera systématiquement. Donc la viande blanche est devenue la 2e viande la plus consommée au monde avec 91,6 millions de tonnes en 2009 et 101 millions de tonnes en 2011 (**Hand Kurtis**, 2014)

Tableau 7: les principaux pays consommateurs de poulet dans le monde (Hand Kurtis, 2014)

Rang	Pays	Consommation kg/hab/an
1	États-Unis	50.6
2	Arabie Saoudite	40.7
3	Australie	39.8
4	Canada	37.5
5	Brésil	31.7

3. Importance de la viande blanche en Algérie

Importance économique

La viande blanche a pris une place importante dans le développement économique nationale. La production nationale en viande blanche a connu, en effet, une évolution considérable en 2017, atteignant 5,3 millions de quintaux (Mqt), contre 2,092 Mqt en 2009, soit une augmentation de 153% (MADR, 2018). En termes de valeur, la production avicole a connu une hausse substantielle de 184 % atteignant 155,5 milliards de dinars, contre 54,8 milliards de dinars en 2009 (MADR, 2018).

4. Croissance et développement des poulets de chair

Alors que de nombreuses recherches ont été menées pour définir les principaux mécanismes biochimiques qui sous-tendent la transition du muscle du bréchet et de la cuisse à la viande de poitrine, ce qui est devenu particulièrement problématique est l'augmentation significative de l'incidence des myopathies du muscle du bréchet avant la récolte. Les éleveurs de volailles commerciales ont mis l'accent sur l'augmentation du poids corporel et du rendement en muscle du bréchet, en particulier au cours des 20 dernières années (Lilburn et al., 2019)

5. Transformation du muscle en viande : (agathe mercury al., 2020)

5-1. Structure et composition chimiques du muscle

Les 4 types de tissus

Tissus musculaires

Tissus nerveux

Les tissus Épithélium dont les cellules sont jointives (= péritoine, tissus de la glande mammaire). Ils sont très petits.

Les tissus conjonctifs (il constituent 80% du corps humain).

5-2. Muscle définition

Ils représentent 40 à 50% du poids vif d'un bovin.

Le muscle est constitué de 3 tissus :

Le tissu musculaire

Le tissu conjonctif type adipeux

Le tissu conjonctif de type collagèneux

Il existe 3 types de muscles :

5.2.1 Muscles lisses : ils constituent la paroi des organes creux comme dans l'œsophage, l'estomac, les intestins, etc... Ils sont connectés au système nerveux autonome (qui est indépendant de la volonté). Ils ont des contractions lentes.

5.2.2 Muscles striés squelettiques : (possèdent des cellules musculaires qui ornent des stries qui sont des fibres musculaires). Ils sont accrochés à notre squelette par des tendons. Ils sont sous le contrôle du système nerveux somatique (ils ne sont pas indépendants de la volonté). Ils permettent le déplacement. Sur une carcasse de bovin ou de porc, on va compter une centaine de muscles différents.

5.2.3 Muscle strié cardiaque : Il ne peut avoir des contractions que de courte durée.

Chapitre III: Consommation des insectes

1- 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 animalier* : « 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 Lévitique (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 qu'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 (Yhoun-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 de calebasse remplie de fumier

humide et d'autres matières organiques sont enterrées au sol. Quelques jours plus tard, les Calebasses 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 cultures 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 (environ 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.

2- 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 ; Ssepuuya *et al.*, 2017). Ici nous ne mentionnons que quelques-uns. :

2.1 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.

2.1.1 *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 ménagers, 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 8 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).

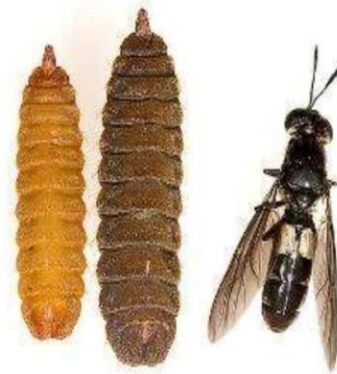


Figure 5 : pupes et adultes de *Hermetia illucens* (www.bugguide.net, consulté le 04 Avril 2018)

2.1.2 *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 ; Pomalégny *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 micronutriments 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.

2.1.3 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 parti 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 6 : Adulte de *Lucilia sericata* (ww.inpn.mnhn.fr, consulté le 19 juin 2018)

2.2 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 *Curculionidae* sont 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 ± 0.3 % et 32.4 ± 0.2 %, respectivement.

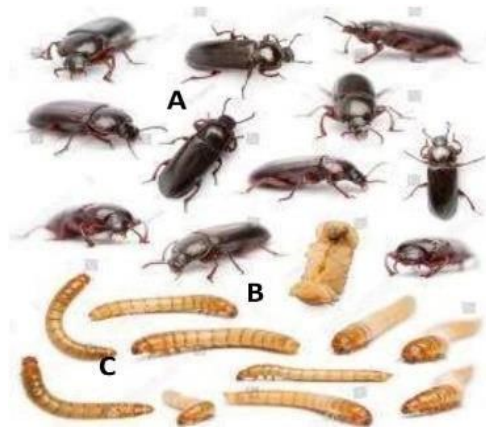


Figure 7: Adultes et stades immatures de Tenebrio molitor (www.shutterstock.com, consulté le 25 juillet 2018)

A= Adulte de *T. molitor* ; B= Nymphe 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.

2.3 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 naturelle 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.

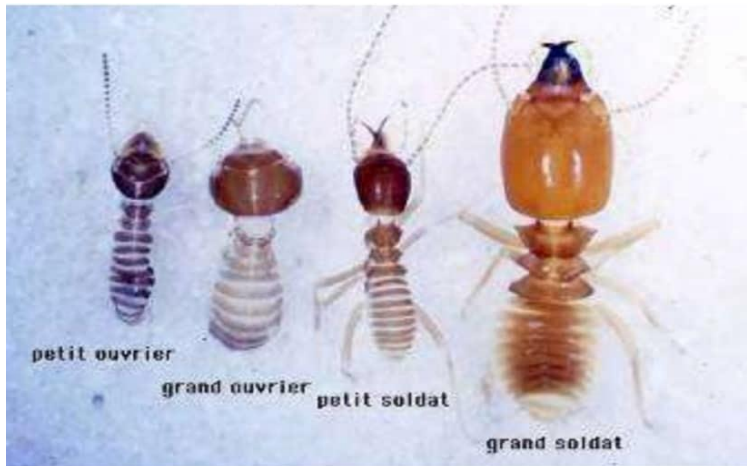


Figure 8 : Ordre hiérarchique des termites (www.aramel.free.fr, consulté le 18 Juin 2018)

2.4 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* différents (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).

Partie Expérimentale

Matériels et méthodes

1-Objectif du travail

L'objectif de notre recherche de fin d'études était de proposer une solution au problème de déchet organique en Algérie.

Le deuxième objectif de notre recherche de fin d'études c'est d'utiliser les larves BSF dans l'élevage animal tel que les volailles (poulet). La larve de BSF est riche en nutriments (protéines et lipides) et représente une source d'alimentation alternative extrêmement intéressante pour différentes filières d'élevage (poulet, poissons, crevettes, cochons).

2. Lieu de l'expérimentation

Les analyses physicochimiques sont effectuées au niveau de laboratoire physiologie animale appliquée de l'université de INÈS MOSTAGANEM. à partir d'œufs fécondés produits au sein de l'élevage de mouches soldats noires du laboratoire

3. Matériel

Les mouches soldat noires dans cette étude proviennent d'Oued Rhiou.

L'élevage de poulet de chair à été effectuer chez un aviculteur à Ami moussa.

L'élevage était réalisé pendant une durée de 56 jours, les MSN sont intégrés dans l'alimentation à partir du début de la phase finition (42e jour), les larves sont intégrées à différents pourcentages.

4. Prélèvement

1-prélèvement des larves au stade prénymphe pour effectuer le broyage à une fin utile à l'alimentation de poulet de chair

- Mettre les prénymphe dans l'eau chaude à 84° pendant 8 à 10 min
- Mettre dans étuve à 120° pendant 2 h 30.
- Le broyage avec un mortier.

2- prélèvement de cuisse et blanc à été effectuer après l'abattage dans un abattoir traditionnel.

5. Étapes d'élevage des mouches soldat noires

Etape1

Vérifier la présence d'œufs de BSF sur les pondoirs reste installés en permanence de façon à entretenir un approvisionnement constant en œufs de BSF et ainsi à maintenir le cycle de production de larves de BSF.

Au début les récoltes vont se montrer un peu maigres : quelques amas d'œufs éparpillés.

Rapidement la quantité d'œufs de BSF va augmenter : l'odeur dégagée par les biodéchets va attirer les femelles BSF sauvages

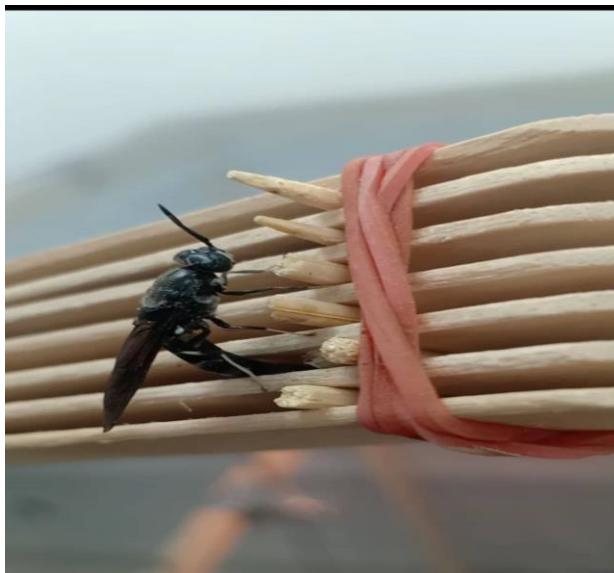


Figure 9 : Pondoirs (photo originale)

Etape2

Les larves de BSF ont tendance à fuir la lumière, il faut donc remuer leur nourriture pour les voir, avant qu'elles ne s'enfoncent à nouveau dans le substrat. À l'éclosion elles ne mesurent que quelques millimètres. Il faudra attendre 4 jours supplémentaires pour qu'elles soient facilement observables à l'œil nu.

Étape 3

Observer l'autorécolte des larves

Au bout de 2 à 3 semaines d'élevage, les larves qui se seront suffisamment alimentées vont grimper le long des parois en plastique pour sortir du bac de croissance.

Ces larves sont caractérisées par une couleur brune. Elles vont alors sortir du bac et tomber au fond du fût qui fait office de collecteur.



Figure 10 : l'autorécolte des larves (photo originale)

Etape4

Suivre la dégradation de la nourriture donnée aux larves

La larve de BSF peut manger une grande variété de déchets organiques. Avec son appétit féroce, elle peut transformer entre 100 et 500mg de déchets par jour. Lorsque la nourriture vient à manquer, il suffit d'en rajouter dans le bac de croissance.

6. Méthodes d'analyse

Mesure de la matière sèche : (AFNOR, 1994)

- on prend 5 g d'échantillon les placer dans une capsule métallique d'un poids bien déterminé.
- L'introduire dans l'étuve réglée a une température de 105 °C pendant 24 heures.
- Placer la capsule dans un dessiccateur.
- La pesée est introduite de nouveau dans l'étuve jusqu'à l'obtention d'un poids constant.

$$\% \text{ MS} = \frac{M_1 - M_0}{M_1} \times 100.$$

$$\% \text{ H}_2\text{O} = 100 - \% \text{ MS}.$$

$$M_2 = M_1 - M_0.$$

M0 : masse de la capsule vide (g).

M1 : masse de la capsule contenant la prise d'essais (g).

M2 : masse de la capsule après évaporation (g).

Mesure de la matière minérale : (AFNOR 1994)

On pèse l'échantillon, on le sèche puis on le pèse de nouveau si la teneur en cendres doit être déclarée sur une base sèche. On incinère l'échantillon à haute température 550 °C pendant 2 heures dans un four à moufle, puis on pèse le résidu (cendre de couleur grise, claire ou blanchâtre). Le pourcentage des cendres totales est calculé le plus souvent sur une base sèche pour plus de reproductibilité dans les résultats.

1. % M0 : matières organiques.
2. M1 : masse des capsules + prise d'essai.
3. M2 : masse des capsules + cendres.
4. P : masse de la prise d'essai.

La teneur en cendres (cd) est calculée comme suite :

$$\text{Cd} = 100 - \text{MO\% Cendres totales (\%)} = \frac{M(\text{cendres}) \times 100}{M(\text{base sèche}) \times M(\text{éch. Sec})}$$

Dosage des protéines brutes:(Méthode de Lowry ; 1951)

- **Principe**

Les protéines réagissent avec le réactif Folin-Ciocalteu pour donner des complexes colorés. La couleur ainsi formée est due à la réaction du phosphomolybdate par la tyrosine et tryptophane.

L'intensité de la coloration dépend donc de la quantité d'acides aminés aromatiques présents et varie selon les protéines. Les densités optiques sont mesurées à 600nm avec le spectrophotomètre contre un blanc qui contient tous les réactifs à l'exception des protéines.

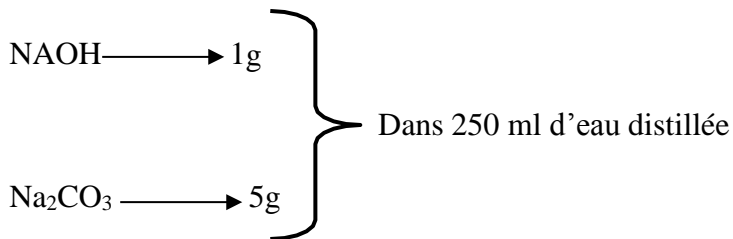
- **Mode opératoire**

1) Gamme étalon

La gamme étalon a été faite avec la solution albumine bovine préparée à 25 mg par 100 ml d'eau distillée. On utilise la même solution que pour doser les échantillons.

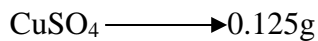
2) Réactif de Lowry (A+B)

Solution (A)

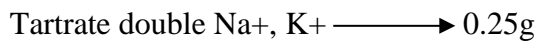


Solution A est constitué d'1g de la soude (NaOH) mélange à 5 g de carbonate de sodium (Na₂CO₃) dans 250 ml d'eau distillée.

Solution (B)



Dans 25ml d'eau distillée



Solution B est un mélange de 0.125g sulfate de cuivre (CuSO₄) et de 0.25g de tartrate double Sodium Potassium dans 25ml de l'eau distillée.

Le réactif de Lowry est composé de

Solution C (50ml de solution A + ml de solution B) à mélanger au moment de la manipulation.

Tableau 8 : Solution d'ovalbumine Bovine

	Solution albumine bovine	Eau physiologique	Solution de dosage	Réactif de Folin
1	0	1	5ml	0,5ml
2	0,2	0,8	5ml	0,5ml
3	0,4	0,6	5ml	0,5ml
4	0,6	0,4	5ml	0,5ml
5	0,8	0,2	5ml	0,5ml
6	1	0	5ml	0,5ml

Dosage des lipides totaux (FOLCH et al, 1957)

1.Principe

- À partir de masse connue de prise d'essai, on extrait les lipides totaux à l'aide d'un mélange deux solvants (chloroforme + méthanol). - Après ajout d'une phase aqueuse, cette extraction s'effectue par séparation de 2 phases : - Phase inférieure (chloroforme + Lipides) et supérieure (méthanol+ eau). - Le filtrat obtenu est évaporé et la quantité des lipides mis à sec est pesée. 2 – Mode opératoire : 1. 10 g environ de l'échantillon sont mis en présence de 60 ml de réactif de folch (méthanol-chloroforme), sont broyé pendant 3 min dans un mortier-pylore. Noter avec précision le poids réellement pesé. Le mélange obtenu est filtré sur verre fritté porosité. 2. Le filtrat est versé dans une ampoule à décanter. La séparation des phases s'effectue à l'aide de solution de chlorure de sodium (NaCl) à 0,73% à raison de 1 volume de NaCl pour 4 volumes de filtrat 3. On obtient une saturation de deux mélanges : méthanol-eau et chloroforme-lipides. La présence d'une émulsion peut être possible. Dans ce cas on ajoute quelques gouttes d'éthanol. 4. Agiter et laisser décanter environ deux heures. Après décantation, les phases apparaissent incolores, limpide séparée par ménisque. 5. La phase inférieure (organique : chloroforme –lipides) est filtrée sur des sulfates de sodium qui a la propriété d'absorber l'eau qui éventuellement, aurait pu passer dans la phase inférieure. 6. La phase supérieure est rincée avec 50 ml d'un mélange à 20 % de NaCl (0,58%) et 80% éthanol + chloroforme de façon à

obtenir le reste de lipides entraîne dans cette phase au cours de l'agitation. 7. On filtre comme précédemment la phase inférieure. 8. On évapore le chloroforme par le rotavapor. 9. La quantité des lipides mise à sec est pesée. 10. En détermination le pourcentage de lipides totaux en utilisant la formule suivante :

$$\% \text{ MG} = \frac{m_2 - m_1}{PE} \times 100$$

M2 : poids de ballon contenant la matière grasse.

M1 : poids de ballon vide.

PE : prise d'essai.

Dosage des lipides totaux (Soxhlet)

Principe

Un ensemble Soxhlet est constitué d'un ballon monocol, d'un condenseur et d'un extracteur. Ce dernier présente un système de tubes permettant la vidange du corps en verre. À l'intérieur de la cartouche de cellulose, on y insère le solide dont on veut extraire les lipides. Le produit dont on souhaite extraire les matières grasses est placé dans la cartouche de cellulose, puis dans le réservoir Soxhlet. Dans le ballon, on introduit quelques billes à ébullition, afin d'empêcher le solvant de monter dans le corps du Soxhlet. Il est nécessaire de peser le ballon avec les billes pour avoir la masse initiale. Ensuite, le ballon est rempli de 100 ml d'hexane. À l'aide d'une chauffe ballon, le solvant est porté à ébullition (Meunier, 2011). Le but de cette méthode est d'atteindre la température d'ébullition du solvant c'est-à-dire celle de l'hexane qui est de 68°C afin que les vapeurs montent dans le tube de retour de distillation et se condensent. L'hexane retombe alors dans le réservoir contenant la cartouche de cellulose et solubilise la substance à extraire. Le réservoir se remplit, et que le niveau du solvant est à la hauteur du haut du siphon, (numéro 6 sur le schéma ci-dessus) le réservoir se vidange automatiquement (c'est un cycle). Le solvant et les lipides sont entraînés dans le ballon. Pour réaliser une extraction correcte, il faut régler le chauffe-ballon de manière à obtenir 20 cycles par heure pendant 5 heures. À la fin de l'extraction, l'hexane est évaporé à l'aide d'un évaporateur rotatif. On pèse alors le ballon et la différence avec la masse initiale donne la masse de lipides (Meunier, 2011).

1/ Billes à ébullition. 2/ Ballon en pyrex de 250 ml rempli de 100 ml de solvant. 3/ Retour de distillation. 4/ Corps en verre. 5/ Cartouche de cellulose. 6/ Haut du siphon. 7/ Sortie du siphon. 8/ Adaptateur d'expansion (inutile ici, car toute la verrerie est en 24/40). 9/ Condenseur. 10/ Entrée de l'eau de refroidissement. 11/ Sortie de l'eau de refroidissement.

Mode opératoire

Peser 5g de l'échantillon broyé et les introduire dans fiole conique de 250ml (JORA, 2006).

Placer, dans l'appareil à extraction la cartouche contenant la prise d'essai broyée verser dans le ballon la quantité nécessaire (200 ml) de solvant (Hexane, éther de pétrole ou chloroforme).

Adapter le ballon à l'appareil à extraction sur le bain à chauffage électrique.

Après une extraction d'une durée de 8 h, 6h ou 4h, éteindre l'appareil et laisser refroidir.

Éliminer le solvant par évaporation dans un rota vapeur (Hamsi, 2013).

Estimation du degré d'oxydation des lipides

Principe de la méthode :

L'indice TBA ou TBARS est une méthode spectrophotométrie qui dose le Malon aldéhyde (MDA), ce dernier étant le produit secondaire de l'oxydation des acides gras polyinsaturés, l'acide thiobarbiturique (TBA) réagit avec le Malon aldéhyde (MDA) pour former un complexe de couleur rose et/ou jaune possédant un maximum d'absorption à une longueur d'onde de 530 nm (Pegg, 1993).

Mode opératoire

Pour mesurer l'indice « TBA » nous avons utilisé la méthode adaptée par (Genot, 1996). Un échantillon de 2 gr est placé dans un tube de 25 ml contenant 16 ml d'acide trichloracétique à 5% (p/v) et éventuellement 100 µl de vitamine C. Le mélange est homogénéisé 3 fois pendant 15 secondes à l'aide d'un homogénéisateur (Ultra-Turrax) à une vitesse d'environ 20 000 tpm. Le broyat est passé à travers un papier filtre afin d'obtenir un filtrat. Puis de ce filtrat 2 ml d'acide thiobarbiturique. Les tubes fermés vont être plongés dans au bain-marie à 70°C pendant 30 minutes et placés dans un bain d'eau froide. La dernière étape consiste à lire à l'aide d'un Spectrophotomètre.

L'absorbance du mélange réactionnel à 530 nm et les résultats sont exprimés en mg 9équivalent MDA (Malon aldéhyde) / Kg. c) Expression des résultats les résultats dégagés au cours de ces expériences sont obtenus par la formule suivante :

Mg équivalent MDA /Kg = $(0,72/ 1,56) \times (A_{532} \text{ cor} \times V \text{ solvant} \times V_f) / PE$ avec :

A530 cor : l'absorbance.

V solvant : volume de solution de dilution TCA en ml.

PE : prise d'essai en gramme.

Vf : volume du filtrat prélevé.

0,72/1,56 : correspond à la prise en compte du coefficient d'extinction moléculaire du complexe TBA-MDA à la valeur de : $1,56 \times 10^5 \text{ M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ (Buedge *et al.*, 1978) et au poids moléculaire du MDA d'une valeur de $72 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Analyses statistiques des résultats

Les résultats ont subi une comparaison de moyenne suivie d'une étude statistique par le logiciel Statbox 6.04.

Résultats et discussion

Analyse physico-chimique de la mouche soldat noire

Matière sèche

Les teneurs en matières sèches des larves, mouches et coquilles sont illustrées dans le tableau 09

Tableau 09 : les résultats de la matière sèche des larves, des mouches et des coquilles.

	Larve	Mouche	Coquille
Matière sèche (g)	42 ± 1 ^b	93,46 ± 2,25 ^a	93,2 ± 1 ^a

La valeur en matière sèche présente dans l'échantillon de larve est de 42%, cette valeur est significativement moins importante par rapport aux valeurs en matière sèche des mouches et de la coquille (93,467% et 93,2%) respectivement

Les résultats obtenus par **Mahamoudou Kone** (2020) A J10 et à J13, les larves alimentées avec le régime de référence (R à 70% HR) avaient des pourcentages de matière sèche brute (MS brute) supérieurs à celle des notre étude.

Matière minérale

Les teneurs en matières minérales des larves, mouches et coquilles sont illustrées dans le tableau 10

Tableau 10 : les résultats de la matière minérale des larves, des mouches et des coquilles.

	Larve	Mouche	Coquille
Matière minérale (g)	5,06 ± 0,11 ^b	5,24 ± 0,13 ^b	30,93 ± 1,3 ^a

La valeur en matière minérale présente dans l'échantillon de coquille est de 30,933%, cette valeur est significativement plus importante par rapport aux valeurs en matière minérale des larves et des mouches (5,067% et 5,247%) respectivement

Mahamoudou Kone (2020) a obtenu dans son étude que la teneur en cendre est estimée de (7,1 à 10,7% de la matière sèche). Nos Résultats concordent avec les résultats (7,8-10,3% base sèche) de Liu *et al.*, (2017).

Les teneurs en matières organiques des larves, mouches et coquilles sont illustrées dans le tableau 11

Tableau11 : les résultats de la matière organique des larves, des mouches et des coquilles

	Larve	Mouche	Coquille
Matière organique (g)	36,93± 0,11 ^c	90,86 ± 2,08 ^a	62,06 ± 1,60 ^b

Les valeurs en matières organiques présentes dans les échantillons des larves, des mouches et des coquilles sont de (36,933%, 90,867%, 62,067%) respectivement. La matière organique contenue dans les mouches est significativement plus importante par rapport a celle des coquilles et des mouches.

Les teneurs en eau des larves, mouches et coquilles sont illustrées dans le tableau 12

Tableau 12 : résultats des teneurs en eau en (larve, mouche et coquille)

	Larve	Mouche	Coquille
Eau (g)	58 ± 1 ^b	6,53 ± 0,53 ^c	6,8 ± 1 ^c

L'humidité nous permet de rapporter les résultats des constituants biochimiques de la matière sèche, une teneur faible en eau explique une teneur élevée en matières sèches.

La teneur en eau présente dans l'échantillon de larve est de 58%, cette teneur est significativement plus importante par rapport aux teneurs en eau des larves et de la coquille (6.8% et 6.53%) respectivement.

Teneurs en protéines

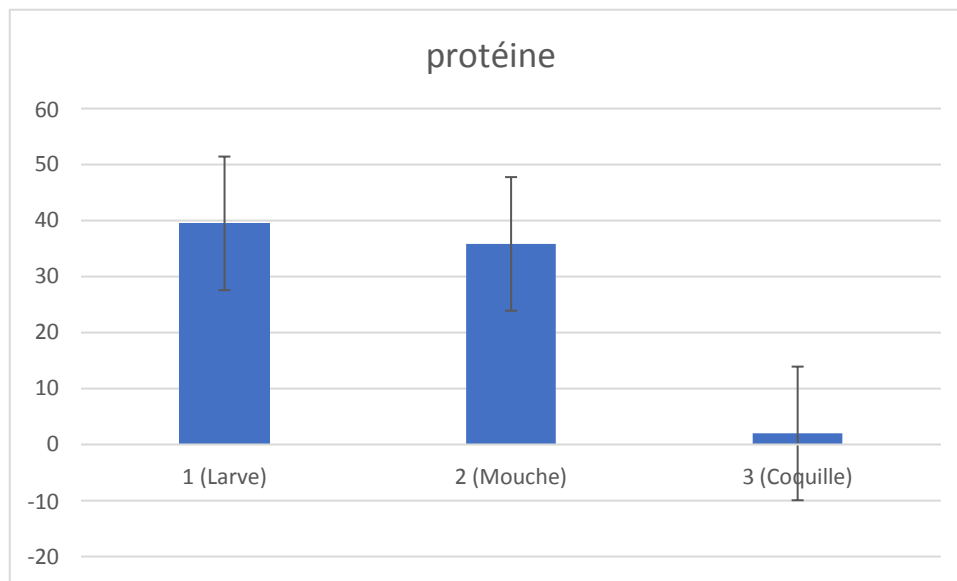


Figure10 : dosage des protéines en (larve, mouche et coquille)

La teneur en protéine présente dans les échantillons des larves est des mouches sont 39,513% et 35,853) respectivement, ces teneurs sont significativement plus importants par rapport a teneur en protéine de coquilles (2%).

Ces résultats sont similaires à a ceux obtenus par (Liland *et al.* , 2017 ; Spranghers *et al.*, 2017 ; Meneguz *et al.*, 2018).

« La teneur en protéines brutes des larves dans ses études variait entre 30 et 46%. Ces valeurs se situent dans la fourchette des valeurs de protéines brutes pour les larves de BSF rapportées dans la littérature (Liland *et .*, 2017 ; Spranghers *et coll.*, 2017 ; Meneguz *et al.*, 2018). Lorsque les larves ont été élevées sur du SB complété par de la levure de bière ou de la levure de bière plus de la mélasse, les valeurs de protéines brutes résultantes étaient plus élevées que celles obtenues pour notre résultat étudié ».

Dosages des lipides

Les teneurs en lipides sont illustrées dans la figure 11

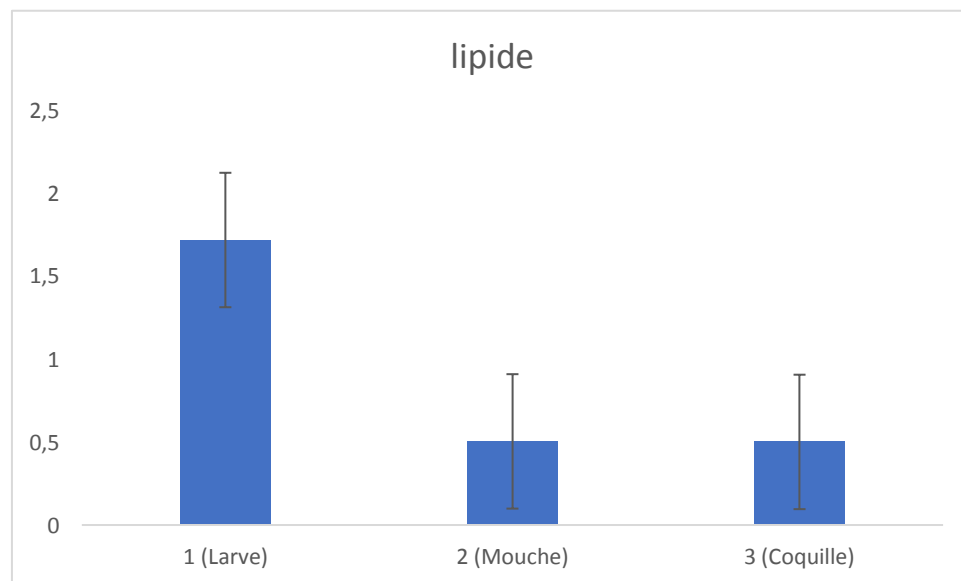


Figure11: dosage des lipides en (larve, mouche et coquille)

La teneur en lipide présente dans l'échantillon de larve est de 1,715%, cette teneur est significativement plus importante par rapport aux teneurs en lipides des mouches et des coquilles (0,503% et 0,5%) respectivement.

Les teneurs en lipides de la présente étude ($9,2 \pm 0,5$ à $27,0 \pm 0,1\%$) sont similaires à celles de (Liu et *al.*, 2017) au stade larvaire avec des larves nourries sur l'aliment volaille et de celles d'Arango Gutiérrez et *al.*, (2004) alimentée avec du fumier de poulet. En revanche d'autres études antérieures présentent différentes teneurs de lipides en fonction du type de régime, 28% avec les larves nourries avec du fumier de porc (Newton et *al.*, 2005b), 35% pour le fumier de bovins (Newton et *al.*, 1977), 42 à 49% pour les déchets alimentaires riches en huile (Barry, 2004) et 57,9% avec des larves alimentées avec des déchets de noix de coco (Mohd-Noor et *al.*, 2017).

Analyse physico-chimique de la viande

Les teneurs en matières sèches des poulets A et B sont illustrées dans le tableau 13

Tableau 13 : teneur en matière sèche des poulets A et B

	Poulet A		Poulet B	
	Blanc	Cuisse	Blanc	Cuisse
Matière sèche (g)	24,94 ± 0,26	24,46 ± 2,50	24,68± 0,67	24,72± 0,50

D'après nos résultats nous avons noté que la teneur en matière sèche de blanc de poulet A est respectivement plus élevée que dans le blanc de poulet B (**24,94 vs 24,68g**).

On remarque aussi que le pourcentage de la matière sèche de cuisse de poulet B est supérieur à celle de cuisse A., mais cette différence n'est pas significative entre les deux poulets.

Les résultats obtenus par Benyamina H (2017) sont relativement supérieurs à nos résultats (27,58± 1,43% et 27,15 ± 0,9% VS 27,52 ± 1,02 et 26,50 ± 1,26).

Matière minérale

Les teneurs en matières minérales des poulets A et B sont illustrées dans le tableau 14

Tableau 14 : teneur en matière minérale des poulets A et B

	Poulet A		Poulet B	
	Blanc	Cuisse	Blanc	Cuisse
Matière minérale (g)	2,3± 0,88 ^b	2,02 ± 1,78 ^b	2,3 ± 1,72 ^b	6,53± 2,32 ^a

D'après nos résultats nous avons observé que la teneur en matière minérale de poulet B est supérieure par rapport au poulet A.

Les teneurs en matières minérales du blanc des poulets (A,B) sont significatives.

Ces minéraux servent comme activateurs ou inhibiteurs de réactions enzymatiques importantes dans la contraction musculaire. (**El rammouz,2005**)

Les résultats de notre étude sont supérieurs par rapport aux résultats de (Schiavone *et al.*,2019)

Nos résultats sont supérieurs à celle de Benyamina H (2017) qui a obtenu les résultats suivants : (1,33 vs 0,88).

Les teneurs en matières organiques des poulets A et B sont illustrées dans le tableau 15

Tableau 15 : teneur en matière organique des poulets A et B

	Poulet A		Poulet B	
	Poitrine	Cuisse	Poitrine	Cuisse
Matière organique	22,64 ± 0,844	22,44 ± 2,843	22,38± 0,82	22,7± 0,245

D'après nos résultats nous avons noté que les valeurs en matière organique de poulet B sont inférieures par rapport au poulet A.

La teneur en matière organique des blancs des poulets (A, B) est non significative. La teneur en matière organique des cuisses des poulets (A, B) est significative.

Les teneurs en Eau des poulets A et B sont illustrées dans le tableau 16

Tableau 16 : teneur en Eau des poulets A et B

	Poulet A		POULET B	
	Blanc	Cuisse	Blanc	Cuisse
Eau (g)	75,1± 0,228	75,58 ± 2,508	75,4 ± 0,576	75,28 ± 0,576

D'après nos résultats nous avons noté que les teneurs en eau présente dans le poulet(A) et poulet (B) sont non significatives (75,1 et 75,58 VS 75,4 et 75,28).

Notre étude et celles de Craplet (1966) et Laurent (1974) montrent que le muscle comprend 60 à 80% d'eau, si bien que le tissu musculaire constitue la principale réserve d'eau de la carcasse. Les trois quarts du poids d'un muscle sont représentés par l'eau (Frayssé et Darre, 1989).

Dosage des lipides

Les teneurs en lipides sont illustrées dans la figure 12

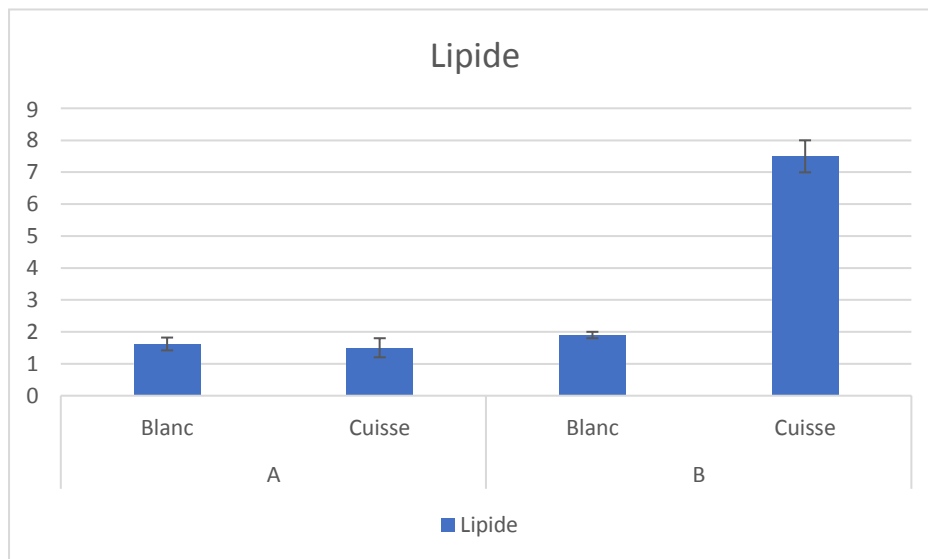


Figure12 : dosage des lipides en poulets (A,B) (blanc et cuisse)

D'après nos résultats nous avons observé que les valeurs en lipide des blancs des poulets (A, B) sont significatives. La poitrine de poulet A a une valeur de lipide estimée à 1,789%, et la poitrine de poulet B a une valeur estimée à 1,601%.

La cuisse de poulet (A) a une valeur de lipide estimée à 4,804%, et la cuisse de poulet B à une valeur de lipide estimée a 4,616 %. Sont des résultats significativement très importants.

Le taux de lipides totaux dans le muscle de la cuisse est significativement diminué chez les animaux des groupes consommant les régimes contenant le FGO. Cette différence apparait dès la fin de 4^e semaine ($p < 0,05$) et devient plus marquée à la fin de la 6^e et de la 8^e semaine ($p < 0,0$).

Ces résultats indiquent que le FGO joue probablement un rôle dans la régulation des dépôts lipidique dans ce muscle.

La teneur des lipides totaux du muscle de blanc à la fin de la 4^e semaine est significativement augmentée chez les 3 groupes FGO par rapport aux témoins ($p < 0,01$). A la fin de la 8^e semaine, les valeurs observées diminuent significativement pour les groupes 5 et 10% ;

($p < 0,05$). En revanche, les valeurs observées. Mr EL-Hachemi Ahmed (2008)

Selon Brunel V et al(2010), Si on considère l'ensemble des lipides des muscles de poulet, c'est la cuisse qui est la plus grasse avec 3,9 g/100 g, le filet ne contenant que 1,33 g. La dinde est la volaille la moins grasse des trois espèces présentées, avec un taux de lipides moyen proche des 2 g/100 g de viande, contre près de 3 g/100 g pour le poulet. Les différences observées entre auteurs 0,00 0,50 1,00 1,50 2,00 2,50 3,00 3,50 ESCALOPE, PILON poulet 1,40 3,03 Dinde 1,27 2,87 en % lipides totaux Figure 8 : les pourcentages de lipides totaux dans l'escalope et le pilon dans le poulet et la dinde (n=3). 43 Chapitres 04 résultats et discussions sont assez faibles, et peuvent provenir de divers facteurs, comme la souche génétique ou l'âge d'abattage qui varie selon les pays. Globalement, les volailles de chair fournissent les viandes les moins grasses et les moins énergétiques de notre alimentation (Paquin, 1988).

Oxydation du lipide

La peroxydation des lipides est une opération complexe, et elle est influencée par plusieurs facteurs : degré de saturation, température, l'oxygène, l'eau les composants non lipidiques. Malheureusement, à cause de la complexité de la peroxydation des lipides, il n'y a pas une méthode unique permettant de déterminer ou prévoir la peroxydation des lipides (Kim et LaBella 1987). La peroxydation lipidique est un phénomène général qui se produit dès la présence de l'oxygène. Tous les lipides contenant des acides gras insaturés, quelle que soit leur origine (huiles végétales, huiles de poisson, graisses animales, membranes cellulaires, lipoprotéines) sont concernés (Cillard, Cillard, 2006).

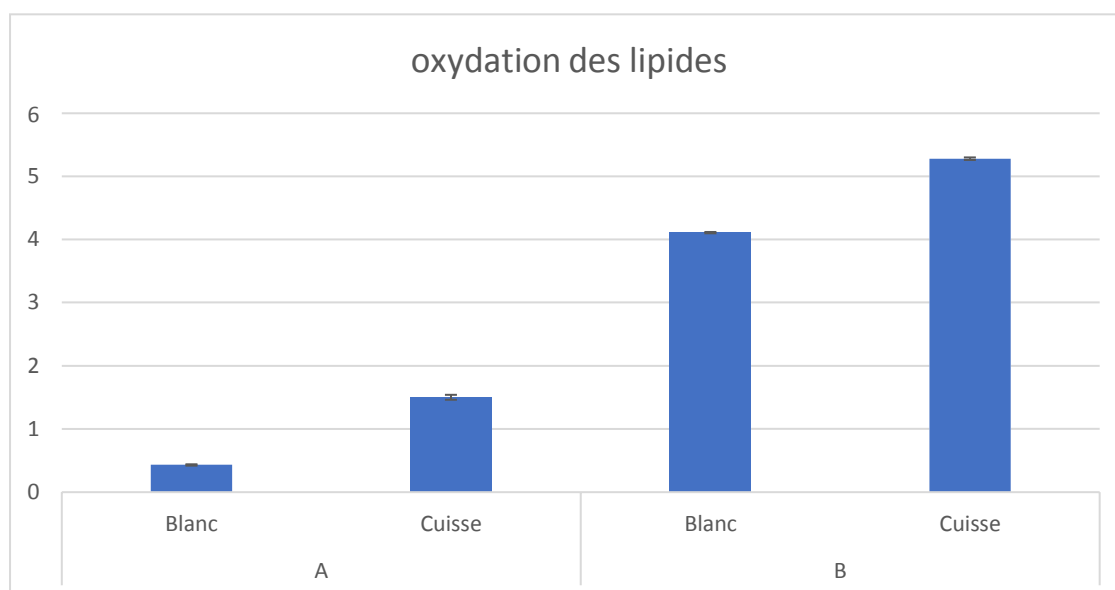


Figure13: résultant de l'oxydation des lipides en TBARS de poitrine et de cuisse des poulets (A et B)

D'après nos résultats nous avons remarqué que les valeurs en TBARS des blancs des poulets (A,B) sont significative très importants (0,431 VS 4,118)

Les valeurs en TBARS des cuisses des poulets A et B sont significatives.

La méthodologie utilisée dans cette analyse est décrite en détail par Holman et coll. [32]. Dans brève, une portion d'environ 5 g de poitrine obtenue à partir de 80 poulets de chair (2 poulets de chair

par cage, 16 poulets de chair par traitement) a été emballée sous vide et stocké à -80°C pour éviter oxydation. Des substances réactives à l'acide thiobarbiturique (TBARS) ont été utilisées pour déterminer l'oxydation lipidique des poitrines de poulet de chair. Environ 100 mg d'échantillon congelé ont été ajoutés à 500,0 μL de tampon de dosage radio-immunoprécipitation (RIPA) (Item No. 10010263, Cayman Chemical Company Ltd., Ann Arbor, MO, USA) and homogenized using microtube pastels [30]. The supernatant was isolated, and TBARS contents were determined as per the TBARS (TCA Method) Assay Kit colorimetric protocol (Item No. 700870, Cayman Chemical Company Ltd., Ann Arbor, MO, USA). A benchtop spectrometer (model FLUOstar OPTIMA™, BMG Labtechnologies, Melbourne, VIC, Australia) was set to measure absorbance at 540 nm. Technical duplicates were averaged, and data were expressed as mg malondialdehyde (MDA) per kg of wet sample.

Dosage des protéines

Les teneurs en protéines des viandes sont illustrées dans la figure 14

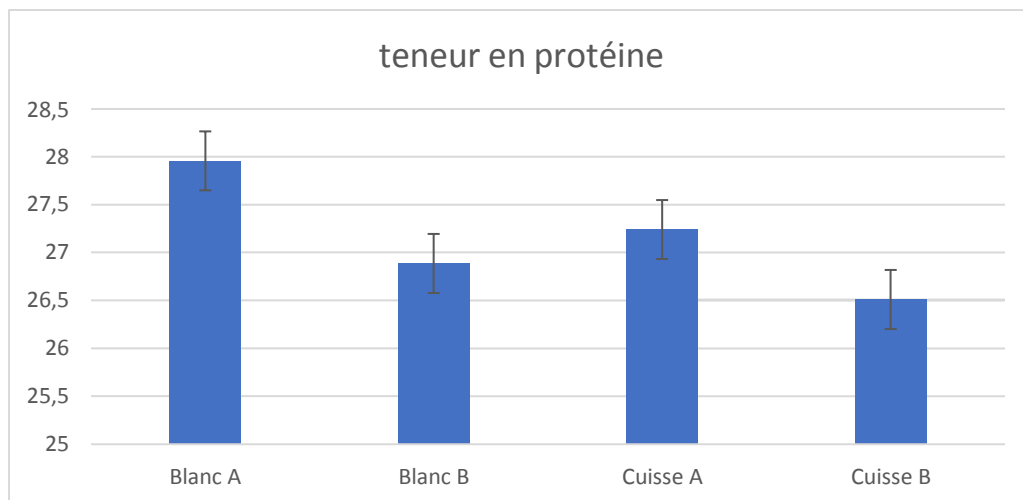


Figure14 : Valeurs en protéines des poulets A et B

D'après nos résultats nous avons remarqué que :

Les valeurs en protéines des blancs des poulets (A, B) sont significatives. Le blanc de poulet A a une valeur de protéines estimée à 26,886%, et le blanc de poulet B a une valeur estimée à 27,957%.

Les valeurs en protéines des cuisses des poulets (A, B) sont non significatives. La cuisse de poulet A a une valeur de protéines estimée à 27,234%, et la cuisse de poulet B a une valeur estimée à 26,51%.

Les teneurs en protéines sont significativement supérieures à la 4^e semaine ($P < 0,05$) à celui de témoin.

L'effet des régimes expérimentaux (FGO) sur les protéines totaux est très marquée à la phase de finition et en particulier fin de la 8^e semaine d'élevage ($P < 0,05$).

Le pourcentage protéique varie avec l'âge et l'engraissement de l'animal, mais aussi très fortement avec la position anatomique du morceau sur l'animal (Virling, 2003). Les valeurs extrêmes de teneurs protéiques des viandes de volaille, quels que soient l'âge et l'espèce (Dinde ou Poulet), se situent entre 20 et 24 % pour l'escalope et 16 et 20 % pour le pilon (CDIEF, 2003). Ces protéines se répartissent en trois catégories en fonction de leur solubilité, à savoir, les protéines sarcoplasmique (albumine, globuline, hémoglobine et myoglobine), les protéines

myofibrillaires (actine, myosine, tropomyosine et actine) et les protéines du cytosquelette et les collagènes ou protéines du stroma (Lawrie, 1998). Les protéines de la viande sont riches en acides aminés indispensables, en particulier en acides aminés soufrés surtout en lysine. (Laurent, 1974)

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion

Au terme de cette étude, nous avons abouti à certaines conclusions sur les caractéristiques biochimiques de larve sur le poulet, provenant de la région d'Ami moussa.

L'analyse détaillée de la composition biochimique de larve, poulet et la coquille, nous a permis d'établir des différences très nettes entre les trois lots.

Les teneurs en matière sèche et en matière minérale sont plus élevées dans la coquille par rapport au lot expérimental (larve, mouche). Ces observations ont été déjà rapportées par d'autres auteurs.

Toute fois, la coquille se caractérise par sa faible teneur en lipide, et ce, quelque soit la présentation. En effet, les lipides totaux apparaissent dans des proportions relativement plus élevées dans le poulet par rapport à celles de la coquille.

Les teneurs en protéines observées sont plus dans les larves, en revanche ces quantités vont être augmentées après de rajouter dans le poulet, et qui apparait d'une façon remarquable dans le lot expérimentale.

Les résultats de ces tests d'appétence sont encourageants, mais ils mériteraient d'être confortés par des répétitions dans les mêmes conditions voire par des tests menés différemment. Le projet prévoyait de mener les mêmes tests d'appétence au sein de l'exploitation de l'aviculteur.

Liste des références

- 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.
- 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.
- 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.
- Arango Gutiérrez, G. P., Vergara Ruiz, R. A., & Mejía Vélez, H. (2004). Compositional, microbiological and protein digestibility analysis of the larva meal of *Hermetia illucens* L. (Diptera: Stratiomyidae) at Angelópolis-Antioquia, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 57(2), 2491–2500.
- 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.
- Barragan-Fonseca, K. B., Dicke, M., & van Loon, J. J. A. (2017). Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed—a review. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1–16.
- Barragan-Fonseca, K., Pineda-Mejia, J., Dicke, M., & van Loon, J. J. (2018a). Performance of the Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) on Vegetable Residue-Based Diets Formulated Based on Protein and Carbohydrate Contents. *Journal of economic entomology*.
- 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.
- 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.
- bertinetti, C., Samayoa, A. C., & Hwang, S. Y. (2019). Effects of feeding adults of *hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) on longevity, oviposition, and egg hatchability: Insights into optimizing egg production. *Journal of Insect Science*, 19(1), 1–7. <https://doi.org/10.1093/jisesa/iez001>
- 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.
- 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). *Aquaculture Research*, 24(3), 103–109.
- Cheng, J. Y., Chiu, S. L., & Lo, I. M. (2017). Effects of moisture content of food waste on residue separation, larval growth and larval survival in black soldier fly bioconversion. *Waste Management*, 67, 315–323.

- Cheng, J. Y., Chiu, S. L., & Lo, I. M. (2017). Effects of moisture content of food waste on residue separation, larval growth and larval survival in black soldier fly bioconversion. *Waste Management*, 67, 315-323.
- 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 Carvalho, M. J. A., & Mirth, C. K. (2017). Food intake and food choice are altered by the developmental transition at critical weight in *Drosophila melanogaster*. *Animal Behaviour*, 126, 195–208.
- 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.
- 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., Zurbrügg, C., & Tockner, K. (2009). Conversion of organic material by black soldier fly larvae: establishing optimal feeding rates. *Waste Management & Research*, 27(6), 603– 610.
- Dortmans, B., Diener, S., Bart, V., & Zurbrügg, C. (2017). *Black Soldier Fly Biowaste Processing: A Step-by-step Guide*. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology.
- Dossey, A. T., Morales-Ramos, J. A., & Rojas, M. G. (2016). *Insects as sustainable food ingredients: production, processing and food applications*. Academic Press
- El Boushy, A.R. (1991). House-fly pupae as poultry manure converters for animal feed: a review. *Bioresour. Technol.* 38, 45–49.
- 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.
- Gold, M., Tomberlin, J. K., Diener, S., Zurbrügg, C., & Mathys, A. (2018). Decomposition of biowaste macronutrients, microbes, and chemicals in black soldier fly larval treatment: A review. *Waste Management*, 82, 302–318
- Hale, O. M. (1973). Dried *Hermetia illucens* larvae (Diptera: Stratiomyidae) as a feed additive for poultry. *Ga Entomol Soc J.* <http://agris.fao.org/agrissearch/search.do?recordID=US201303264936>
- Handke, B., Poernbacher, I., Goetze, S., Ahrens, C. H., Omasits, U., Marty, F., Simigdala, N., Meyer, I., Wollscheid, B., & Brunner, E. (2013). The hemolymph proteome of fed and starved *Drosophila* larvae. *PloS one*, 8(6), e67208.

- 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.
- Holmes, L. A., Vanlaerhoven, S. L., & Tomberlin, J. K. (2012). Relative humidity effects on the life history of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *Environmental entomology*, 41(4), 971–978.
- 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.
- 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.
- Jucker, Costanza, Erba, D., Leonardi, M. G., Lupi, D., & Savoldelli, S. (2017). Assessment of Vegetable and Fruit Substrates as Potential Rearing Media for *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) Larvae. *Environmental entomology*, 46(6), 1415–1423.
- 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.
- 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, 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.
- Ma, J., Lei, Y., Rehman, K. ur, Yu, Z., Zhang, J., Li, W., Li, Q., Tomberlin, J. K., & Zheng, L. (2018). Dynamic Effects of Initial pH of Substrate on Biological Growth and Metamorphosis of Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae). *Environmental entomology*, 47(1), 159–165.
- Makkar, H. P., Tran, G., Heuzé, V., & Ankers, P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*, 197, 1–33.
- Makkar, H. P., Tran, G., Heuzé, V., & Ankers, P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*, 197, 1–33.
- Manurung, R., Supriatna, A., Esyanti, R. R., & Putra, R. E. (2016). Bioconversion of rice straw waste by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.): optimal feed rate for biomass production. *Journal Entomol Zool Stud*, 4(4), 1036–1041.
- Mihályi, F. (1965). Rearing flies from faeces and meat, infected under natural condition. *Acta Zool. Hung.* 11.

- Myers, H. M., Tomberlin, J. K., Lambert, B. D., & Kattes, D. (2014). Development of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae fed dairy manure. *Environmental entomology*, 37(1), 11–15.
- 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.
- Newby, R. (1997). Use of soldier fly larvae in organic waste management. Proceedings of the « Compost 97 » conference, 14–15
- Newton, G. L., Booram, C. V., Barker, R. W., & Hale, O. M. (1977). Dried larvae meal as a supplement for swine. *Journal of Animal Science*, 44(3), 395–400.
- 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.
- Nguyen, T. T., Toberlin, J. K., & Vanlaerhoven, S. (2013). Influence of Resources on *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) Larval Development. *Journal of Medical Entomology.*, 50(4), p.898-906.
- Oonincx, D. G., Van Broekhoven, S., Van Huis, A., & van Loon, J. J. (2015a). Feed conversion, survival and development, and composition of four insect species on diets composed of food by-products. *PLoS One*, 10(12), e0144601.
- 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.
- Park, H. H. (2016). Black Soldier Fly Larvae Manual. Student Showcase 14. http://scholarworks.umass.edu/sustainableumass_studentshowcase/14/?utm_source=scholarworks.umass.edu%2Fsustainableumass_studentshowcase%2F14&utm_medium=PDF&utm_campaign=PDFCoverPages.
- 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., 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
- 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.

- Pimentel, A. C., Montali, A., Bruno, D., & Tettamanti, G. (2017). Metabolic adjustment of the larval fat body in *Hermetia illucens* to dietary conditions. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 20(4), 1307–1313.
- 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.
- Rivers, D. B., & Dahlem, G. A. (2014). *The science of forensic entomology*. John Wiley & Sons
- 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.
- 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
- Sealey, W. M., Gaylord, T. G., Barrows, F. T., Tomberlin, J. K., McGuire, M. A., Ross, C., & StHilaire, S. (2011). Sensory analysis of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, fed enriched black soldier fly prepupae, *Hermetia illucens*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 42(1), 34–45.
- Sheppard, D. C., Newton, G. L., Thompson, S. A., & Savage, S. (2002). A value added manure management system using the black soldier fly. *Bioresource technology*, 50(3), 275–279.
- Simard Tremblay, I. (2015). Comment réduire le gaspillage alimentaire dans l'industrie agroalimentaire au Québec? [Université de Sherbrooke]. <http://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/6929>.
- 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.
- Ssepuuya, 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 subSaharan Africa – a systematic review. *J. Insects Food Feed* 3, 289–302.
- St-Hilaire, S., Sheppard, C., Tomberlin, J. K., Irving, S., Newton, L., McGuire, M. A., Mosley, E. E., Hardy, R. W., & Sealey, W. (2007). Fly prepupae as a feedstuff for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 38(1), 59–67.
- Tinder, A. C., Puckett, R. T., Turner, N. D., Cammack, J. A., & Tomberlin, J. K. (2017). Bioconversion of sorghum and cowpea by black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.)) larvae for alternative protein production. *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(2), 121–130.
- Tinder, A. C., Puckett, R. T., Turner, N. D., Cammack, J. A., & Tomberlin, J. K. (2017). Bioconversion of sorghum and cowpea by black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.)) larvae for alternative protein production. *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(2), 121–130.
- Tomberlin, Jeffery K., Sheppard, D. C., & Joyce, J. A. (2002). Selected life-history traits of black soldier flies (Diptera: Stratiomyidae) reared on three artificial diets. *Annals of the Entomological Society of America*, 95(3), 379–386

- ur Rehman, K., Rehman, A., Cai, M., Zheng, L., Xiao, X., Somroo, A. A., Wang, H., Li, W., Yu, Z., & Zhang, J. (2017a). Conversion of mixtures of dairy manure and soybean curd residue by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.). *Journal of cleaner production*, 154, 366–373.
- Van Huis, A. (2003). Insects as food in sub-Saharan Africa. *Int. J. Trop. Insect Sci.* 23, 163–185
- van Huis, A. (2013). Potential of Insects as Food and Feed in Assuring Food Security. *Annu. Rev. Entomol.* 58, 563–583.
- van Huis, A. (2013). Potential of Insects as Food and Feed in Assuring Food Security. *Annu. Rev. Entomol.* 58, 563–583.
- 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.
- 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.
- 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.