



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE



LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA - BOUMERDES



FACULTE DES SCIENCES

Département : BIOLOGIE

**Mémoire de fin d'Etudes**

En vue de l'obtention du diplôme de Master 2

Spécialité : Biochimie Appliquée

## THEME

**Analyse biochimique de quelques farines  
animales en vue de leur valorisation en  
alimentation animale**

Réalisé Par :

Mme ABERKANE SARA

Mme TIACHADINE SONIA

Devant le jury composé de :

Présidente : Belaid Messaouda	Professeur	UMBB
Examinatrice : Youyou Soraya	MCB	UMBB
Promotrice : Acheuk Fatma	Professeur	UMBB
Co-promoteur : Tabet Oussama	Doctorant	UMBB

Année universitaire 2021-2023

# Remerciements

Tout d'abords, nous tenons à remercier Allah, le tout puissant et le miséricordieux, de nous avoir donné la santé, la volonté et la patience pour mener à terme ce modeste travail.

On exprime nos vifs remerciements à Pr Acheuk F., qui nous a fait l'honneur d'être notre promotrice et son aide précieuse et sa disponibilité.

Nous tenons également à remercier profondément notre Co-promoteur M. Tabet O, pour ses encouragements et aussi d'être toujours là, pour nous écouter, nous aider et nous guider à retrouver le bon chemin par ces précieux conseils.

Nous tenons d'autre part à remercier les membres du jury, Mme Belaid M. et Mme Youyou S. pour bien vouloir nous accorder de leur temps précieux, pour commenter, discuter et juger notre travail.

En fin, nous pouvons achever ce mémoire sans exprimer notre gratitude à tous les enseignants de la spécialité biotechnologie microbienne, pour tout le savoir qu'ils nous ont donné.





# Dédicace

*Que ce travail témoigne de mes respects :*

*A mes parents :*

*Grace à leurs tendres encouragements et leurs grands sacrifices, ils ont pu créer le climat affectueux et propice à la poursuite de mes études.*

*Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et mes profonds sentiments envers eux.*

*Je prie le bon dieu de les bénir, de veiller sur eux en espérant qu'ils seront toujours fiers de moi.*

*A mon cher frère : Mohamed Akram.*

*A mes sœurs : Loubna, Amina et Ikram.*

*A mon mari : KHALED*

*Merci pour leur amour, leur aide et leur soutien*

*A mes grands parents, toutes mes tantes, tous mes oncles et tous mes cousins et cousines*

*A mon binôme : Sonia et mes amies Abir et Samiha.*

*A tous mes professeurs :*

*Leur générosité et leur soutien m'oblige de leurs témoigner mon profond respect et ma loyale considération.*

*A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à ma formation.*

*A toute la promotion biochimie appliquée.*

**SARA**







# Dédicace

*Que ce travail témoigne de mes respects :*

*A mes parents :*

*Grace à leurs tendres encouragements et leurs grands sacrifices, ils ont pu créer le climat affectueux et propice à la poursuite de mes études.*

*Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et mes profonds sentiments envers eux.*

*Je prie le bon dieu de les bénir, de veiller sur eux en espérant qu'ils seront toujours fiers de moi.*

*A mes frères : Fouad et Achour.*

*A ma sœur : Aida.*

*A Mon mari KARIM*

*Merci pour leur amour, leur aide et leur soutien*

*A mes grands parents, toutes mes tantes, tous mes oncles et tous mes cousins et cousines*

*A Mon binôme : Sara et mes amies Abir et samiha.*

*A tous mes professeurs :*

*Leur générosité et leur soutien m'oblige de leurs témoigner mon profond respect et ma loyale considération.*

*A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à ma formation*

*A toute la promotion biochimie appliquée*

SONIA



## Liste des figures

## Liste des tableaux

## Liste des abréviations

# Table des matières

<b>Introduction</b> .....	1
<b>Chapitre I : Synthèse Bibliographique</b>	
I.1. Généralités sur les insectes.....	4
I.1.1. Définition et origine.....	4
I.1.2. Biodiversité.....	5
I.1.3 Morphologie.....	5
I.1.4 Bioécologie.....	6
I.1.4.1 Reproduction .....	6
I.1.4.1 Régime alimentaire.....	7
I.1.5 Rôles des insectes .....	7
I.2. Utilisation des insectes dans l'alimentation animale.....	8
I.2.1 Production mondiale d'aliments pour animaux (poisson et volailles).....	8
I. 2.2- Insectes comme complément alimentaire des animaux élevés.....	10
I. 2.3 Animaux nourris à base d'insectes.....	11
I.2.3.1 Volailles.....	11
I. 2.3.2 Poissons.....	12
I.2.4 Insectes utilisés en alimentation animale.....	12
I. 2.4.1 Mouche soldat noire <i>Hermetia illucens</i> .....	13
I.2.4.2 Criquets.....	14
I.2.4.2.1 Criquet pèlerin <i>Schistocerca gregaria</i> .....	15
I.2.4.2.2 Criquet migrateur <i>Locusta migrator</i> .....	16

I.2.5 Elevage des insectes.....	17
I.3 Valeurs nutritionnelles des insectes pour l'alimentation animale .....	18
I. 3.1 Protéines .....	19
I.3.2 Acides aminés.....	19
I. 3.3 Teneur en matière grasse.....	20
I.3.4 Glucides .....	21
I.3.5 Teneur en fibre.....	22
I.3.6 Les micronutriments.....	22

## **Chapitre II : Matériel et méthodes**

II.1. Matériel biologie.....	24
II.2. Matériel non biologique.....	24
II.3.Méthodes.....	24
II.3.1. Elevage des criquets.....	24
II.3.2. Elevage de la mouche soldat noire.....	25
II.3.3. Traitement des échantillons (la farine de <i>Locusta migratoria</i> , <i>Schistocerca gregaria</i> et <i>Hermetia illucens</i> ).....	28
II.3.3.1. Séchage des insectes .....	28
II.3.3.2. Broyage des insectes .....	29
II.3.4 Analyse physicochimique et microbiologique de la farine de <i>Locusta migratoria</i> , <i>Schistocerca gregaria</i> et <i>Hermetia illucens</i> .....	29
II.3.4.1. Analyse physico-chimique.....	29
II.3.4.1.1 Mesure du pH (pH-mètre) .....	30
II.3.4.1.2 Détermination de la teneur en eau (Humidité) .....	30
II.3.4.1.3. Détermination de la teneur en protéins (Kjeldahl) .....	30
II.3.4.1.4. Détermination de la teneur en lipides ISO 88-3).....	31
II.3.4.1.5. Détermination des sucres totaux (Dubois 1956).....	32
II.3.4.1.6. Détermination de la teneur en fibre (Henneberg et Stohmann,1860).....	33
II.3.4.1.7. Détermination de la teneur en cendre (Raoul, 1965) .....	34

II.3.4.1.8 Dosage des éléments minéraux: Ca, Mg, K, ... (spectrophotométrie d'absorption atomique).....	35
II.3.4.2 Analyses microbiologiques Analyse microbiologique .....	36
II.3.4.2.1. Préparation de la solution mère et des dilutions décimales.....	36
II.3.4.2.2. Recherche et dénombrement de la flore mésophile aérobie totale (NA 1207).....	36
II.3.4.2.3. Recherche et dénombrement des levures et moisissures(NA1210).....	37
II.3.4.2.4. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux (ISO 4832,NF1040).....	37
II.3.4.2.5. Recherche et dénombrement des <i>Staphylococcus aureus</i> (NA15164)...	38
II.3.4.2.6. Recherche et dénombrement de Clostridium sulfito-réducteur (NF V 08 - 019).....	39
II.3.4.2.7 Recherche des salmonelles (NA 1203).....	39
II.3.4.2.8. Recherche de <i>Listeria monocytogene</i> (NA15159).....	40
II.3.3.2.9. Recherche et dénombrement de <i>Pseudomonas aeruginosa</i> (ISO 22717)	41

### **Chapitre III : Résultat et discussion**

III : Résultats et Discussion .....	42
III.1. Analyses Physicochimiques de la farine des criquets .....	43
III.2. Analyses Physico-chimiques de la farine d' <i>Hermetia illucens</i> .	43
III.3. L'analyse microbiologique de la farine de <i>Locusta migratoria</i> , <i>Schistocerca gregaria</i> et <i>Hermetia illucens</i> .....	44
III.4. Discussion .....	46
Conclusion.....	50

### **Références bibliographiques**

### **Annexes**

### **Résumés**

## Liste des figures

<b>Fig.1</b> : Evolution des prix des huiles et farines de poissons au plan mondiale entre 1983 et 2008.....	9
<b>Fig. 2</b> : Evolution mondiale de la quantité d'aliments produits pour les principaux animaux d'élevage dont le porc, le bétail, la volaille et l'aquaculture.....	10
<b>Fig.3</b> :Pupes et adultes de <i>Hermetia illucens</i> .....	14
<b>Fig.4</b> : Criquet pèlerin <i>Schistocerca gregaria</i> .....	15
<b>Fig. 5</b> : Criquet migrateur <i>Locusta migratoria</i> .....	17
<b>Fig. 6</b> : Elevage des criquets.....	25
<b>Fig. 7</b> : Cycle de vie des mouches soldats noires.....	25
<b>Fig. 8</b> : Pondoires de la mouche soldat noire.....	26
<b>Fig. 9</b> : Bac de croissance des larves de BSF (Original).....	27
<b>Fig. 10</b> : Nourritures des larves de BSF.....	27
<b>Fig. 11</b> : Elevage des adultes de la mouche soldat noire .....	27
<b>Fig. 12</b> : Séchage des criquets .....	28
<b>Fig. 13</b> : Séchage des larves de la mouche soldat noire.....	28
<b>Fig. 14</b> : Broyage des insectes .....	29
<b>Fig. 15</b> : Farine d'insecte.....	29

## Liste des tableaux

<b>Tableau n° 1:</b> Teneurs en protéines brutes des différents ordres d'insectes .....	20
<b>Tableau n° 2:</b> Teneurs moyennes en acides gras par ordre d'insectes .....	21
<b>Tableau n° 3 :</b> Teneur en fibres contenues dans la matière sèche de quelques insectes comestibles.....	22
<b>Tableau n° 4:</b> Résultats des analyses physico-chimiques de la farine de <i>Schistocerc gregaria</i> et <i>locusta migratoria</i> .....	42
<b>Tableau n° 5:</b> Résultats des analyses physico-chimiques de la farine de <i>Hermetia illucens</i> ..	43
<b>Tableau n° 6:</b> Résultats des analyses microbiologiques des farines issues de séchage des criquets et de la mouche soldat noire.....	44

## Liste des abréviations

**ADA** : Aliment à destination animale

**ADH** : Aliment à destination humaine

**MSN** : Mouche soldat noire.

**BSF** : Mouche soldat noire en anglais.

**FAO** : Organisation des Nations unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé

**ISO**: International Organization for standardization

**AGMI** : Acide Gras Monoinsaturés

**AGPI** : Acide Gras Polyinsaturés

**AGS** : Acide Gras Saturés

**UFC**: Unité Formant une Colonie

**Kcal** : Kilocalories

**Kj**: Kilojoule

**L** : litre

**mL** : millilitre

**Kg** : kilogramme

**g** : Gramme

**mg** : milligramme

**µg** : microgramme

**cm** : centimètre

**mm** : millimètre

**nm** : nanomètre

**h** : heure

**min** : minute

**M** : masse molaire

**N**: Normalité

**C°** : degré Celsius

**MS** : matière sèche

**MG** : matière grasse

**H** : Humidité

**PH**: Potentiel hydrogène

**CO<sub>2</sub>**:Dioxyde de carbone

**Hcl** : Chlorure d'hydrogène

**H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>** : Acide sulfurique

**H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>** : Eau oxygénée

**NaOH** : Hydroxyde de sodium

**KOH** : Hydroxyde de potassium

**FMAT**: La Flore Mésophile Aérobie Totale

**GAM** : Germe aérobie mésophile

**VRBL**:Gélose lactosée biliée au vert brillant et au rouge de phénol

**OGA**:Gélosé à l'Oxytetracycline

**V F** : Gélose viande foie

**PCA** : Plate count agar

**SFB**:Bouillon lactosée mannitol tamponné

**EPT** : Eau Peptonée tamponnée

# **Introduction générale**

Les insectes sont les animaux les plus diversifiés de notre planète. Ils sont à la base du fonctionnement des écosystèmes. Autant le déclin massif de leur biodiversité que le déclin de leur biomasse inquiètent la communauté scientifique. C'est que les insectes jouent un rôle essentiel dans la pollinisation, la lutte contre les envahisseurs agricoles, le recyclage des matières organiques en milieu naturel, l'alimentation des poissons, oiseaux et chauve-souris, et bien plus encore. Plus on apprend à les connaître, plus on les admire pour leurs adaptations, leurs couleurs, leurs formes et les menus-travaux qu'ils accomplissent inlassablement dans la nature. Ces mêmes bestioles qui forment le pilier des services éco-systémiques pourraient-elles venir à notre rescousse pour minimiser l'empreinte environnementale de l'humanité **(Hénault-Ethier *et al*, 2017)**.

Les insectes font partie de la solution à plusieurs enjeux sociaux et environnementaux. Il serait possible d'améliorer par une approche éthique plusieurs problématiques d'ordre mondial en agissant sur la réduction du gaspillage alimentaire, la mise en valeur de nos matières organiques résiduelles, la diminution de l'empreinte environnementale de la production de protéines animales ainsi que la réduction des émissions de gaz à effet de serre **(Hénault-Ethier, 2016)**. Comme des barres protéinées **(Dussault, 2017)**, les insectes ont fait leur entrée dans l'alimentation animale **(Enterra FeedCorp, 2017)**. Dans un contexte de raréfaction des ressources et des terres, et de forte dépendance aux protéines pour l'alimentation animale et humaine, de nouvelles méthodes de production et de nouveaux aliments doivent être élaborés tout en préservant la qualité des aliments, l'habitat naturel et la biodiversité des espèces animales et végétales consommées. A ce titre, les insectes apparaissent de plus en plus comme une solution d'avenir **(Ramos-Elorduy, 1997)**.

Actuellement, plusieurs espèces d'insectes sont consommées dans le monde **(Hénault-Ethier, 2017)**. Les insectes les plus couramment consommés sont les larves ou adultes d'Orthoptères (grillons, criquets et sauterelles) et d'Hyménoptères (abeilles, guêpes et fourmis), les larves de Coléoptères (charançons et longicornes), les chenilles et chrysalides de Lépidoptères (papillons) mais également certains adultes d'Isoptères (termites) ou d'Hémiptères aquatiques (punaises d'eau) **(Raubenheimer et Rothman, 2013)**.

En effet, d'un point de vue nutritionnel, les insectes ne sont pas inférieurs à d'autres sources de protéines comme le poisson, le poulet ou le bœuf **(vanHuis, 2003)**. D'autres arguments sont avancés en faveur des insectes comme le fait qu'ils possèdent une fécondité importante

ainsi que la possibilité de se reproduire tout au long de l'année dans des conditions contrôlées, un haut taux de conversion des aliments fournis en biomasse par rapport aux élevages traditionnels, un faible impact environnemental, principalement dû aux faibles émissions de gaz à effet de serre, une demande réduite en espace d'élevage et la possibilité d'être nourris à l'aide de coproduits de l'agriculture **(Yi et al, 2013)**. Le recours aux insectes, en tant qu'aliment à destination humaine (ADH) ou animale (ADA) pour l'aquaculture ou l'élevage de volailles par exemple, se généralisera probablement au cours des décennies prochaines si la législation dans les différents pays accompagne cette vision stratégique. L'utilisation d'insectes à grande échelle comme ingrédient alimentaire est techniquement faisable, et certaines entreprises établies dans diverses régions du monde montrent déjà la voie à suivre à cet égard comme les Pays-Bas par exemple **(vanHuiset al., 2003)**.

Le choix de l'insecte pour une production rentable de point de vue nutritif doit être fait tout en privilégiant l'appétence des animaux **(Rumpold et Schlüter ,2013)**. L'insecte élevé devra être sélectionné sur base de sa taille, son comportement social (cannibalisme réduit), sa dangerosité envers les manipulateurs, sa tendance aux risques épidémiques, son potentiel de reproduction et de survie, ses bénéfices nutritionnels, son potentiel de stockage et sa qualité marchande **(vanHuiset al., 2003)**. D'une manière générale, il est attendu que l'insecte ciblé produise beaucoup d'œufs avec des taux de viabilité importants que sa nourriture soit peu coûteuse. Qu'il soit peu vulnérable aux maladies, capable de vivre dans des volumes réduits avec une grande densité de ses congénères et qu'il produise des protéines de qualité **(Rumpold et Schlüter, 2013)**.

La croissance actuelle de la population mondiale risque d'aggraver rapidement le problème de sécurité alimentaire dans les pays en développement **(Bellucoet al. 2013)**, Nous serons 9 milliards d'êtres humains sur Terre en 2050. Pour nourrir tout le monde, il faudrait doubler notre production alimentaire selon la FAO, **(FAO, 2009)**. Mais la façon dont on produit nos aliments pèse lourd sur l'environnement. Nous mangeons trop de viande, et sa production est désastreuse pour notre environnement. De nouvelles méthodes de production et de nouveaux aliments doivent par conséquent être élaborées tout en préservant la qualité des aliments. A ce titre, les insectes apparaissent de plus en plus comme une solution d'avenir **(Gahukar, 2011)** mais si le nombre de personnes qui a intégré les insectes dans sa diète reste marginal pour diminuer notre empreinte environnementale, donc il suffit de changer la diète de nos animaux. Presque tout le monde accepterait de nourrir ses animaux domestiques avec des croquettes contenant des

insectes, ou bien manger des animaux d'élevage ayant été nourris avec des moulées à base d'insectes.

Les insectes font partie de la nutrition naturelle de très nombreux poissons, oiseaux et mammifères, mais ils sont absents des rations alimentaires actuellement données aux animaux d'élevage. Ils possèdent une forte teneur en protéines et des propriétés nutritives optimales pour de nombreux animaux **(Belluco et al. 2013)**.

La présente étude vise à rendre les insectes ravageurs un acteur principal de la sécurité alimentaire animale, puisque il est possible de les transformer en produits bon marché de haute valeur nutritive, afin de remplacer les sources traditionnelles de nutrition pour l'aquaculture et les animaux de compagnie par des protéines d'insectes.

Le travail vise donc l'analyse physicochimique et microbiologique des farines de trois espèces d'insectes élevées au laboratoire. Il s'agit des farines de deux espèces de criquets *Locusta migratoria* et *Schistocerca gregaria* ainsi que la farine de la mouche soldat *Hermetia illucens*.

Le travail est organisé en trois chapitres, le premier est une synthèse bibliographique sur l'importance des insectes en alimentation animale, leur valeur nutritionnelle et la présentation des trois espèces étudiées. Le chapitre deux résume le matériel et la méthodologie suivie pour la réalisation de cette étude. En chapitre trois sont présentés les résultats obtenus et leur discussion. Le document est terminé par une conclusion et des perspectives.

# **Chapitre I**

## **Synthèse Bibliographique**

## 1-Généralités sur les insectes

Les insectes constituent le groupe d'êtres vivants numériquement le plus important, puisqu'ils regroupent environ les trois quarts des espèces animales décrites à ce jour. La classe des insectes comporte, selon les estimations, entre deux et vingt millions d'espèces. Un peu plus d'un million d'insectes ont été recensés. **(Dajoz, 2006)**. Cette profusion tient à la capacité d'adaptation des insectes, ils sont parvenus à coloniser la terre entière, mis à part les océans leur impact sur l'environnement est considérable, même si leur taille reste assez modeste de quelques dixièmes de millimètres à plus de trente centimètres de long. L'insecte est un invertébré, ce qui signifie qu'il est dépourvu de colonne vertébrale. Son « squelette » est extérieur (exosquelette) et constitué d'une cuticule chitineuse, sorte d'armure protectrice. En d'autres termes, sa surface est assez résistante pour donner sa rigidité à l'insecte. Son corps se divise en trois parties distinctes : tête, thorax et abdomen **(Rueda, 2004)**.

### 1.1 Définition et origine

Le mot insecte vient du latin *insectum* qui signifie « plusieurs parties » qui réfère à la segmentation des trois parties principales **(Douglas, 2001)**. La classification des insectes a été proposée par Carl von Linné au XVIII<sup>ème</sup> siècle sur la base de critères morphologiques propres aux insectes. Ainsi, une trentaine d'ordres d'insectes actuels est recensée sur l'ensemble de la planète. Leur classification n'est pas encore stabilisée, quelques groupes établis par la tradition se révélant récemment hétérogènes **(Maurice, 1974)**. Les insectes sont une classe d'animaux invertébrés de l'embranchement des arthropodes et du sous embranchement des hexapodes. Ils sont caractérisés par un corps segmenté en trois tagmes : tête, possédant des pièces buccales externes, une paire d'antennes et au moins une paire d'yeux composés. Un thorax pourvu de trois paires de pattes articulées et deux paires d'ailes plus ou moins modifiées et un abdomen contenant au maximum 11 segments protégés par une cuticule formant un exosquelette composé de chitine et pourvu de trachées respiratoires **(Dajoz, 2006)**.

Les insectes sont les premiers Arthropodes, à avoir peuplé la terre, ils sont les plus anciens animaux à s'être adaptés à la vie terrestre, et ils font partie des rares organismes terrestres à ressembler à leurs ancêtres (stabilité taxinomique). Ce sont également les premiers animaux complexes à avoir développé la capacité de voler pour se déplacer, étant pendant 150

millions d'années les seuls à posséder ce moyen de locomotion. Pourvus d'ailes, d'un exosquelette rigide, d'une petite taille, d'un potentiel de reproduction élevé et d'un stade nymphal de la métamorphose, ces facteurs favorisant la colonisation de nombreuses niches écologiques expliquent leur succès évolutif (**Norman et al, 2004**).

### 1.2 Biodiversité

Les insectes sont la classe d'organismes vivants la plus diversifiée en terme du nombre d'espèces et par ce fait, ils sont majoritairement dominants dans les milieux terrestres et aquatiques. Cette biodiversité est un facteur important pour la conservation de la nature, l'intégrité de l'environnement et le potentiel invasif de certaines espèces généralistes. Avec près de 1,3 million d'espèces décrites, les insectes représentent plus des deux tiers de tous les organismes vivants. Dans cette classe, quatre ordres dominent dans le nombre d'espèces décrites. Entre 600 000 et 795 000 espèces sont incluses dans l'ordre des coléoptères, des diptères, des hyménoptères et des lépidoptères. Les coléoptères représentent 40 % des espèces d'insectes, mais certains entomologistes suggèrent que les mouches et les hyménoptères pourraient être aussi diversifiés (**Martinez et Gauvrit, 1997**).

### 1.3 Morphologie

Comme tous arthropodes, les insectes ont un corps segmenté soutenu par un exosquelette qui est composé d'une cuticule chitineuse recouverte d'un ensemble de corps gras composant la cire épicuticulaire . Les segments du corps sont organisés en trois parties principales qui sont la tête, le thorax et l'abdomen (**Johnson et Triplehorn, 2004**). La tête possède une paire d'antennes, une paire d'yeux composés, des ocelles et trois ensembles d'appendices modifiés qui forment les pièces buccales. Ces appendices se sont spécialisés avec l'évolution, si bien que maintenant on en retrouve plusieurs types (broyeur, suceur, suceur-piqueur, suceur-spongieux et suceur-lécheur). Le thorax est composé de trois segments (prothorax, mésothorax et le métathorax) et porte généralement tous les organes locomoteurs (ailes ou pattes). L'abdomen est composé la plupart du temps de onze segments qui peuvent parfois porter des appendices tels des cerques par exemple. À l'intérieur, il contient une partie des organes importants comme l'appareil digestif, le système respiratoire, le système excréteur et les organes reproducteurs (**Gullan et Cranston, 2005**). On retrouve une grande variabilité et de nombreuses adaptations dans la composition des parties du corps de l'insecte, en particulier les ailes, les pattes, les antennes et les pièces buccales (**Paulian et Moreau, 1990**).

## 1.4 Bioécologie

Le cycle de vie des insectes passe par plusieurs stades de transformations physiques appelés mues et implique généralement plusieurs métamorphoses. Ce cycle évolutif est une série de stades (œuf, larve, nymphe, adulte) qui se succèdent au cours d'une génération complète (d'œuf à œuf), les insectes étant caractérisés par le stade nymphal de la métamorphose **(Christophe, 2016)**.

La plupart des insectes sont caractérisés par un temps de génération assez court et une descendance importante, ce qui leur permet de coloniser rapidement un milieu favorable **(Bruno, 2006)**. Ce cycle peut être interrompu annuellement par des conditions climatiques défavorables (température, pluie, manque de nourriture, etc.). La diapause est le terme qui réfère à cet arrêt prolongé au cours du cycle de vie de l'insecte **(Chapman, 1998)**.

Les insectes primitifs de la sous-classe des Apterygota ont un développement dit sans métamorphose ou amétabole. Dès la naissance, le jeune insecte est très semblable à l'adulte, Chez les insectes ptérygotes, on retrouve deux types de transformations : hémimétaboles (hétérométaboles) et holométaboles **(Vladimir, 2006)**.

### 1.4.1 Reproduction

La reproduction des insectes présente de grandes variabilités, elle peut être sexuée et/ou asexuée. Dans la première, le mâle et la femelle se rencontrent, souvent par l'intermédiaire de phéromones ou d'autres moyens de communication, pour copuler après une parade sexuelle relativement longue. Cette fusion (ovocyte et spermatozoïde) donnera un embryon puis un œuf. Dans la reproduction asexuée par contre, la femelle est capable de se reproduire sans mâle par le développement des ovocytes en embryons (parthénogénèse). C'est le cas notamment des pucerons dont les colonies qui se comptent en centaines, De plus, la grande majorité des femelles sont ovipares; ainsi elle dépose ses petits sous forme d'œufs. Certains cafards, pucerons et mouches pratiquent l'ovoviviparité. Ces insectes incubent les œufs à l'intérieur de leur abdomen et les pondent au moment de l'éclosion. D'autres insectes sont vivipares et ils complètent leur développement à l'intérieur de l'abdomen de la mère **(Garcin, 2009)**.

### 1.4.2 Régime alimentaire

Les insectes présentent des régimes alimentaires de toutes sortes : certains, à l'exemple des moustiques hématophages, se nourrissent d'aliments dilués comme les liquides (sang, nectar, sève, ...), d'autres de nourriture totalement sèche comme le ver de farine *Tenebrio molitor*. Certains encore, en fonction de leur métamorphose auront la capacité de changer de régime alimentaire et de système digestif (**Dietoa, 2002**). Il existe également des saprophages qui sont commun et se nourrissent principalement de matières végétales ou animales en décomposition, des espèces coprophages, entomophages, phytophages, etc. A ce sujet donc, la liste ne saurait être exhaustive. Toutefois, il convient de relever que le régime alimentaire de chaque espèce est en relation directe avec le type de pièces buccales dont elle dispose (**Leraut, 2002**).

### 1.5 Rôles des insectes

Les insectes fournissent de nombreux services écologiques fondamentaux pour la survie de l'humanité. Par exemple, les insectes jouent un rôle majeur dans la reproduction des plantes (**Ingram, Nabhan et Buchmann, 1996**). Ils jouent un rôle aussi vital dans la dégradation biologique des déchets. Les larves de coléoptères, les mouches, les fourmis et les termites nettoient les matières végétales mortes, dégradant la matière organique jusqu'à ce qu'elle soit consommable par les champignons et les bactéries. De cette façon, les minéraux et les éléments nutritifs des organismes morts deviennent facilement disponibles dans le sol pour les plantes (**Bornemissza, 1976**). Généralement, tous les agroécosystèmes bénéficient des insectes car ils peuvent naturellement lutter contre les espèces parasites nuisibles. Le nombre d'insectes prédateurs ou parasites d'autres insectes est grand. Dix pour cent de tous les insectes sont des parasitoïdes (**Godfray, 1994**).

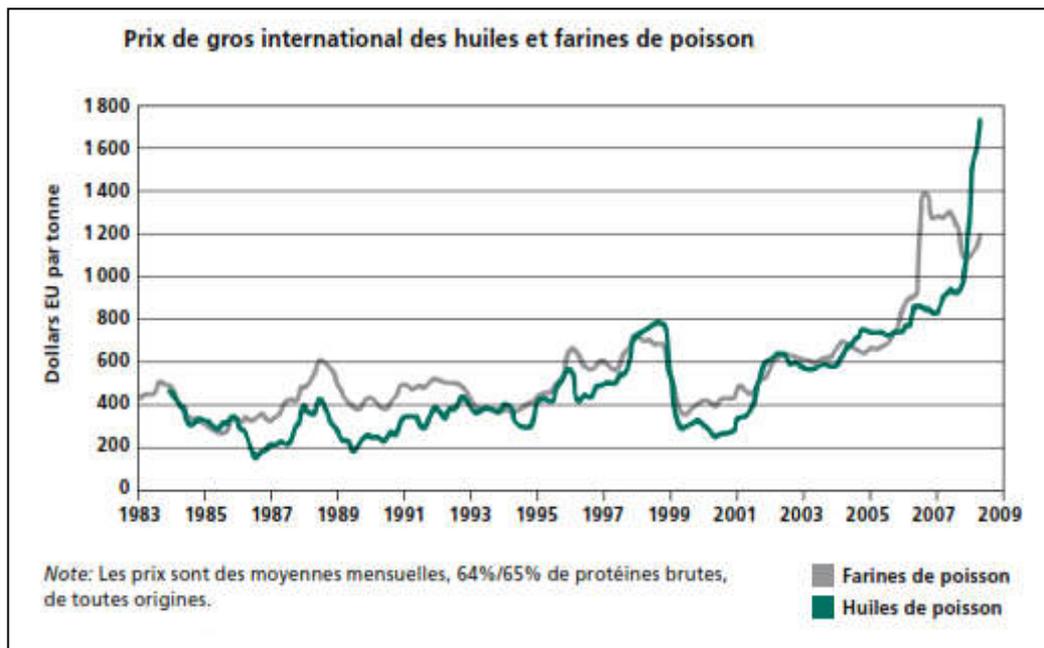
Les insectes peuvent être également une excellente source de protéines pour l'alimentation humaine et animale. Ils n'ont pas besoin d'être transformés pour être donnés aux poulets ou pour pêcher; les poulets élevés en liberté picorent et mangent les insectes à l'état naturel. Les farines fabriquées à partir d'insectes peuvent être utilisées dans les rations alimentaires des cochons et des vaches (**Thomas, 2017**). En plus d'être des sources de nourriture, les insectes fournissent aux hommes une grande diversité de produits de valeur. Le miel et la soie sont les produits les plus connus (**FAO, 2009**).

## 2. Utilisation des insectes dans l'alimentation animale

Les insectes constituent l'alimentation naturelle de nombreux poissons et de nombreuses volailles. Les poules, par exemple, peuvent être observées picorant des vers et des larves dans les premiers centimètres du sol et la litière, tout en marchant. Ce n'est pas pour rien, que les asticots sont utilisés comme appâts pour les poissons dans la pêche de loisir. Étant donné le rôle naturel des insectes comme aliment pour de nombreuses espèces d'élevage, leur utilisation vaut la peine d'être reconsidérée dans l'alimentation de certaines espèces de poissons et de volailles. Les insectes peuvent être une excellente source de protéines pour l'alimentation animale. Les farines fabriquées à partir d'insectes peuvent être utilisées dans les rations alimentaires des cochons et des vaches, remplaçant des ingrédients riches en protéines, comme la farine de poisson ou le soja (**Van Huis, 2013**).

### **2.1 Etat des lieux de la production mondiale d'aliments pour animaux (poisson et volailles).**

La production alimentaire mondiale est en constante augmentation, une contrainte majeure au développement ultérieur des aliments pour animaux est leur coût prohibitif, notamment celui des farines de viande, de poisson et de soja, qui représentent 60-70 pour cent des coûts de production. L'aquaculture s'est développée pour répondre à l'augmentation de la demande en poisson qui n'est plus comblée par les prises issues de la pêche maritime et continentale. De plus, des milliers d'hectares de terres sont allouées à la production agricole de matières premières à l'échelle industrielle tel que le soja destiné à produire des intrants d'élevage (**Nguyen et al., 2013 et Maurer et al., 2016**). Les sources de protéines issues de la pêche sont surexploitées pour subvenir aux besoins en intrants de l'aquaculture. Cette croissance a favorisé la surpêche des espèces de moindre valeur afin de produire la farine ou l'huile de poissons (**Cashion et al., 2017**). Actuellement, environ dix pour cent de la production mondiale de poisson sont transformés en farines de poisson et sont utilisés principalement dans l'aquaculture. L'Amérique du Sud est le plus grand producteur de farines de poisson grâce aux captures d'anchois qui y sont faites. Les prises d'anchois sont très variables car elles dépendent du cycle climatique (**FAO, 2012**).

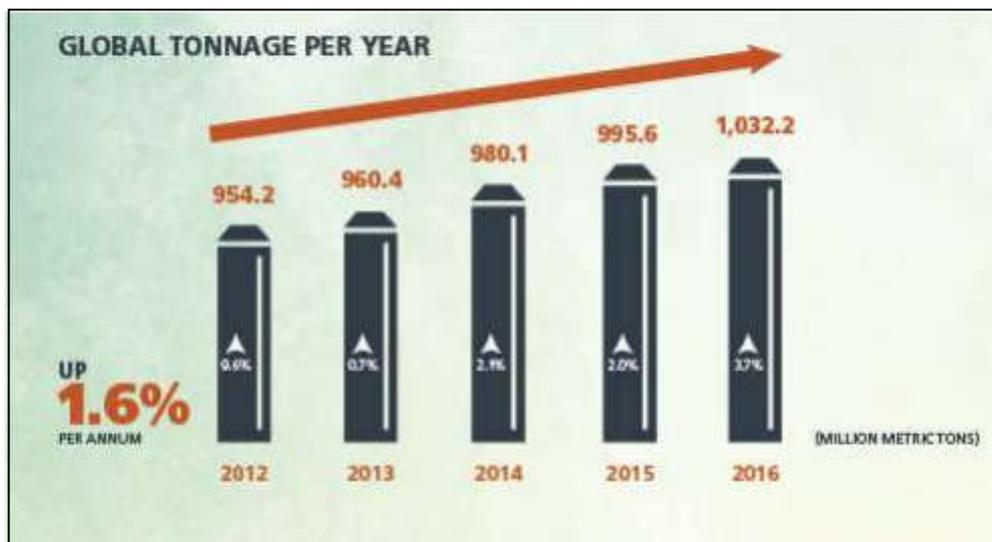


**Figure 1** : Evolution des prix des huiles et farines de poissons au plan mondiale entre 1983 et 2008 (Van Huis et *al.*, 2013).

Les fortes demandes récentes, et les prix élevés des farines de poisson et du soja qui en découlent, parallèlement à l'accroissement de la production aquacole, poussent à de nouvelles recherches sur le développement de protéines à partir d'insectes pour l'aquaculture et l'aviculture. Des exemples suggèrent que les aliments pour animaux à base d'insectes sont comparables à ceux à base de farine de poisson et de soja. Des insectes vivants ou morts occupent déjà des créneaux commerciaux, principalement pour nourrir des animaux de compagnie ou de zoo (Van Huis et *al.*, 2013).

Les produits alimentaires pour animaux à base d'insectes pourraient avoir donc un marché similaire à celui des farines de poisson et du soja, qui sont actuellement les composants principaux des aliments destinés à l'aquaculture et au bétail. Pendant ce temps, l'aquaculture se développe alors que l'utilisation des farines de poisson diminue rapidement dans l'alimentation des animaux, en raison du remplacement accru dans les aliments pour animaux, des farines de poisson par des substituts plus rentables (FAO, 2012). La recherche de protéines alternatives durables est un sujet d'importance majeure qui nécessite des solutions valables à court terme, ce qui fait des insectes une option de plus en plus intéressante pour l'alimentation animale. XiaoMing et *al.*, (2010), ont par exemple répertorié plus de 1900 espèces d'insectes comestibles à travers le monde. En Europe Occidentale et méditerranéenne et en Amérique du nord, une étude a révélé que environ 150 espèces d'insectes ont un potentiel nutritionnel en mesure de remplacer la farine de poisson (Sánchez-Muros, et *al.*,

2014). Rappelons quand même que les insectes comestibles pour l'homme ont été plus répertoriés que ceux utilisés dans l'alimentation animale.



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

## 2.2- Utilisation des insectes comme complément alimentaire des animaux élevés

La recherche de sources alternatives de protéines dans les élevages aquacoles et avicoles a poussé le monde scientifique et les acteurs de ces filières à étudier le rôle que pouvaient jouer les insectes et leurs dérivés. Dans les années 1980, les compositions nutritionnelles des insectes avait déjà été étudiées surtout en Afrique Central (DeFoliart, 2003; Ramos-Elorduy *et al.*, 2008). Mais ces études concernaient principalement les insectes comestibles pour l'homme. Il faut attendre la fin de cette décennie pour avoir des informations sur les insectes utilisés en alimentation animale sur le continent africain (DeFoliart, 2003). Dès les années 2000, et avec la hausse des prix des farines/huiles de poissons et de soja, le monde scientifique a commencé par explorer le potentiel des insectes comme complément en nutrition animale (Nguyen *et al.*, 2001; Van Huis, 2003; Bukkens, 2005; Ramos-Elorduy, 2009; XiaoMing *et al.*, 2010). D'autres travaux scientifiques portant sur l'utilisation des insectes en alimentation animale ont également été entrepris sur le continent Africain. (Aniebo *et al.*, 2008) ont par exemple mis au point une technique de production de larves de mouches domestique en utilisant comme substrats, un mélange de sang d'animaux d'abattoirs avec du son de blé, de riz ou de soja.

### 2.3 Les animaux nourris à base d'insectes

Les insectes constituent l'alimentation naturelle de nombreux animaux tels que les poissons et les volailles. Plusieurs expériences ont testé les performances de croissances de certains animaux nourris à base d'insectes ou fromes d'insectes (**Anand et al., 2008; Allegratti et al., 2017 et Ssepuuya et al., 2017**).

#### 2.3.1 Les volailles

Pendant ces deux dernières décennies, la filière avicole s'est développée rapidement dans les pays en développement. Plusieurs insectes ont été utilisés comme compléments alimentaires pour les volailles. Ces dernières ont bénéficié d'une attention particulière en ce qui concerne l'incorporation des insectes dans leurs diètes. En effet, plusieurs travaux scientifiques ont été effectués sur le remplacement partiel ou total de la farine/huile de poisson ou de soja dans l'alimentation de la volaille (**El Boushy, 1991; Anand et al., 2008; Allegratti et al., 2017; Ssepuuya et al., 2017**).

Selon **Wang et al., (2007)**, l'incorporation de 15% de la farine de *Acrida cinerea* dans la diète des poulets de chair ne réduit pas la croissance de ces derniers, ce qui confirme que ces insectes peuvent remplacer partiellement les ingrédients de base entrant dans la composition de leur ration alimentaire. **Brah et al., (2017)**, ont remplacé la farine de poisson par celle du criquet à différentes concentrations (25%, 50%, 75% et 100%) dans l'alimentation des pondeuses et ont mis en évidence que la farine de criquet améliore la couleur du jaune d'œuf. Plus intéressant, le taux de ponte, le gain de poids et le taux d'albumine dans le blanc d'œuf ne présente aucune différence significative en comparaison à ceux des pondeuses nourries à base d'aliment conventionnel. Ces travaux montrent que la farine de criquets est en mesure de remplacer celle du poisson un peu plus onéreux. Des essais ont également porté sur l'incorporation des larves de la mouche soldat noire dans le régime alimentaire de la volaille et ont donné des résultats encourageants. Les larves de *H. illucens* ont été incorporées à 50 et à 100% dans la ration des poulets de chairs et ont permis une croissance normale. Ce qui suggère que les larves de la mouche soldat noire sont en mesure de remplacer la farine de soja dans la ration des poulets de chair (**Schiavone et al., 2017**). De la même manière, **Maurer et al., (2016)** ont conduit des expériences similaires sur les poules pondeuses et ont remarqué que la substitution de la farine des larves séchées de *H. illucens* préalablement élevées sur du

résidu végétal, à 50% et à 100% n'affecte en rien les performances zoo-technico-économiques (croissance, ponte et ration journalière), la diète conventionnelle étant le témoin dans cet essai. Plusieurs autres travaux montrent le rôle important que peuvent jouer les insectes dans l'alimentation des volailles (**DeFoliart, et al., 1982; El Boushy, 1991; Anand et al., 2008; Allegretti et al., 2017**).

### 2.3.2 Les poissons

L'utilisation des insectes comme aliments pour la pisciculture est sous-estimée dans la plupart des régions du monde (**Rutaisire, 2007**). Au cours des deux dernières décennies, de nombreux travaux scientifiques se sont penchés sur la possibilité d'incorporer les insectes en aquaculture (**Nguyen et al., 2009; Barroso et al., 2014; Cashion et al., 2017**). Des essais d'alimentation de différentes espèces de poissons avec la farine des larves de *H. illucens* ont donné des résultats plus ou moins acceptables. Parmi les espèces de poissons nourries à partir de la mouche soldat noire, on a : *Ictalurus punctatus*, la barbotte de rivière, la truite arc-en-ciel que l'on retrouve dans les pays du nord mais également en Amérique du sud ; *Salmo salar* (Linnaeus, 1758), un poisson commun des eaux froides des zones tempérées d'Europe (**Makkar et al., 2014**). Par contre les larves du Bombyx du Munier se sont révélées efficaces dans l'alimentation des poissons d'élevage car ayant donné des performances de croissance similaires à celle des diètes habituelles (**Hossain, Nahar et Kamal, 1997**). L'incorporation à 25% des larves du ténébrion meunier comme source de protéines dans la ration des alevins du poisson chat africain n'a eu aucun impact négatif sur leur développement.

### 2.4 Les insectes utilisés en alimentation animale

La production des insectes pour l'alimentation animale est très ancienne dans certaines régions du monde, notamment en Afrique et en Asie, mais elle est récente dans les pays occidentaux et son utilisation dans l'alimentation du bétail y est en émergence (**Van Huis et al., 2015**). Il existerait, potentiellement, près de 2163 espèces d'insectes comestibles tel que rapporté par la **FAO (2013)**, et sont représentés entre autres par les ordres des diptères (mouches soldats noires, mouches domestiques), des coléoptères (scarabées et coccinelles), des lépidoptères (papillons et mites), des hyménoptères (abeilles, guêpes et fourmis), des orthoptères (sauterelles et grillons), des isoptères (termites), des hémiptères (punaises), des homoptères (cigales) (**FAO, 2013**). Pour le moment, seulement quelques espèces d'insectes (grillons, vers de farine, super vers et mouches soldats noires) seraient particulièrement

intéressantes pour l'élevage de masse en raison de la maîtrise actuelle du cycle de vie de l'animal, des taux de conversion élevés requis (aliments/protéines), de la valeur nutritionnelle visée, de leur résistance au stress, de leur taux de croissance, et de leur capacité à s'alimenter sur des substrats alimentaires variés (Kok, 2012 ; Cabrera *et al.*, 2015).

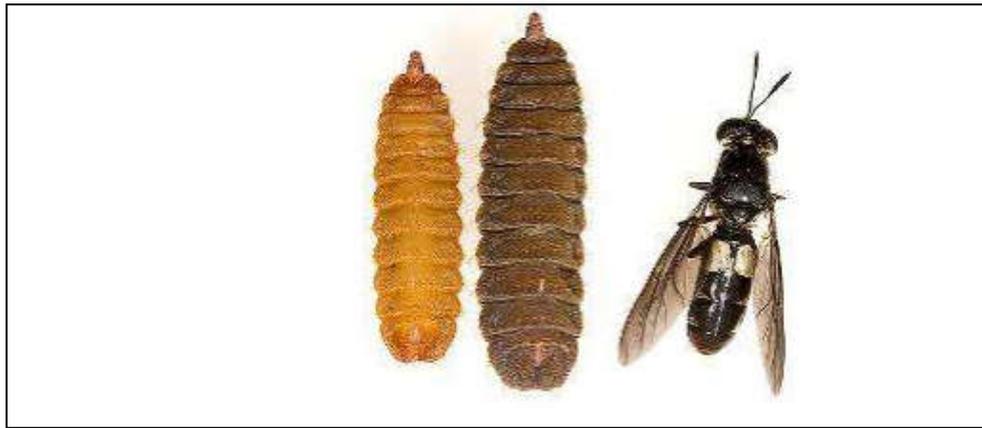
Parmi les espèces les plus prometteuses pour la production d'aliments pour les animaux, il faut citer les mouches soldat noires, les asticots de la mouche domestique, les vers à soie et les vers de farine. Les sauterelles et les termites sont aussi prometteurs, mais dans une moindre mesure. Jusqu'à présent, ces espèces ont été les plus étudiées et sont les plus citées dans la littérature (Ssepuuya *et al.*, 2017).

### 2.4.1 La mouche soldat noire *Hermetia illucens*

La mouche soldat noire appartient à la famille des *Stratiomyidae*, de l'ordre des diptères. Son apparence physique, et son comportement lui font ressembler à une guêpe, mais contrairement à la guêpe, elle n'est pas offensive (ne pique pas, ne mord pas) (Hardouin, 1997). Cette mouche est originaire du Sud-Est des États-Unis d'Amérique, mais elle s'est propagée partout dans les régions tropicales et subtropicales humides du monde où les températures peuvent atteindre 45°C (Planelle, 2014). Comparativement aux mouches domestiques qui supportent les températures basses, les milieux froids ne sont pas propices pour la mouche soldat noire, à 0 °C elle ne survit pas, ce qui est un atout pour la biosécurité (Hardouin *et al.*, 2000).

L'adulte de la mouche soldat noire est de couleur noire et sa taille varie de 15 à 20 mm de long (Hardouin et Mahoux, 2003). Le cycle de vie normal de la mouche soldat noire varie entre quatre et cinq semaines et peut être prolongé jusqu'à quatre mois selon les conditions et la température du milieu de vie (Hardouin *et al.*, 2000). Contrairement à la mouche domestique qui ne produit que 100 œufs par ponte ou 500 à 1000 œufs par femelle pour une durée d'éclosion de 8 à 9 jours (Emond, 2017), la reproduction de la mouche soldat noire est plus rapide, les femelles peuvent pondre jusqu'à 9000 œufs en forme de chapelets dans les zones les moins humides du fumier ou du lisier (Emond, 2017). Les œufs qu'elles pondent vont éclore au bout de quatre jours et donnent des larves qui se développent dans des matières organiques en décomposition, de grain humide et de fumier (Hardouin *et al.*, 2003, Emond, 2017). Les larves au dernier stade larvaire peuvent atteindre jusqu'à 27 mm de long et 6 mm de large pour un poids pouvant atteindre jusqu'à 220 mg (Makkar *et al.*, 2014). Les étapes les

plus importantes sont les stades de prépupe et de nymphe. Pendant les premiers stades larvaires de prépupe, les larves ne se nourrissent plus et ne se déplacent plus. Elles vident alors leur tube digestif et développent un corps gras qui fournira l'énergie dont elles ont besoin pour migrer de son milieu d'éclosion à un autre plus sec et qui facilitera leur passage de prépupe à l'état adulte. C'est au stade larvaire ou prépupe que peuvent être récoltés les insectes pour être utilisés dans l'alimentation animale. La migration au dernier stade larvaire et la capacité des larves de s'entasser les unes sur les autres (jusqu'à 14 kg) automatisent l'élevage et la récolte (**Burtle et al., 2012**).



**Figure 3** : pupes et adultes de *Hermetia illucens* (www.bugguide.net).

Les larves de mouches soldats noires ont une grande capacité d'adaptation à tous les milieux de production. Leur capacité à recycler les déchets résoudrait d'ailleurs de nombreux problèmes environnementaux liés notamment aux fumiers et à d'autres déchets organiques comme la réduction du volume de fumier, le taux d'humidité et les odeurs nauséabondes et produirait du matériel alimentaire de valeur pour les animaux (**Newton et al., 2005**). Les recherches ont déterminé qu'elles peuvent se développer sur les restes de vertébrés (**Tomberlin et al., 2005**), déchets de cuisine, fruits et légumes, poisson cru, foie (**Nguyen et al., 2015**), abats, déchets municipaux (**Diener et al., 2011**) et le fumier de cheptel laitier (**Myers et al., 2008**). Cette plasticité fait des mouches soldats une espèce idéale pour la production de masse (**Cortes et al., 2016**).

### 2.4.2 Les criquets

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% (**Kinyuru *et al.*, 2010**). Il faut également noter que la teneur en protéines brutes des criquets et des sauterelles peut atteindre 74% selon les espèces (**Ncobela et Chimonyo, 2015**).

Les criquets sont des insectes sauteurs de l'ordre des orthoptères. Plusieurs d'entre eux sont tristement connus pour les dégâts qu'ils occasionnent sur les agricultures, il s'agit du criquet pèlerin (*Schistocerca gregaria*) et du criquet migrateur (*Locusta migratoria*), mais de nombreuses autres espèces sont aussi incriminées. Ces grands criquets font partie de la catégorie des locustes. C'est un groupe de plusieurs espèces de criquets grégariques. Contrairement aux criquets sauteriaux, ils sont capables de transformation phasaire. En densité faible ils sont dit en phase solitaire, en densité forte ils sont en phase grégaire. En général les phases solitaires sont plus grandes que les phases grégaires, et les couleurs peuvent varier d'une phase à l'autre, et même le nombre de mues pour devenir adultes (**Lecoq et Mestre, 1988**).

### 2.4.2.1 Le criquet pèlerin *Schistocerca gregaria*

Le criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* est un insecte de l'ordre des Orthoptères de la famille des Acridiidae et de la sous-famille des Cyrtacanthacridinae. Ce sont des insectes à métamorphoses incomplètes à pièces buccales du type broyeur, ailes antérieures droites, épaisses, transformées en élytres, protégeant au repos les ailes postérieures, transparentes, repliées. Pattes sauteuses, oviscapte chez la femelle, vertex large, prosternum avec un tubercule saillant entre les pattes postérieures. C'est un locuste redouté est très largement répandu dans le monde. En période d'invasion les essaims peuvent atteindre le sud de l'Europe, l'Afrique au nord de l'équateur et la péninsule Arabique et Indo-pakistanaise (**Popov *et al.*, 1990**).

Le criquet pèlerin est un acridien de grande taille. Les femelles mesurent de 70 à 90 mm de long et les mâles de 60 à 75 mm (**Duranton et Lecoq, 1990**). La tête est une capsule rigide et globuleuse qui porte dorso-latéralement deux yeux composés entre lesquels s'insèrent 2 antennes filiformes et 3 ocelles (yeux simples), (**Popov *et al.*, 1990**). La coloration du criquet pèlerin est très variable, elle dépend de l'état phasaire et de la maturation sexuelle. La couleur du corps des individus grégaires sont uniformément jaunes et noirs (**Duranton *et al.*, 1982**).



**Figure 04 :** Criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Plantamp, 2012)

Le criquet pèlerin comme tous les autres acridiens, il passe par trois états biologiques successifs : l'état embryonnaire, l'état larvaire et l'état imaginal. La durée de son cycle de développement est de 71 jours à une température de 33°C et une humidité de 45%. En général, le criquet pèlerin a deux à trois générations par an et exceptionnellement quatre (**Duranton et Lecoq, 1990 ; Popov et al. ,1990 ; Launois-Luong et Lecoq, 1993**). Selon **Popov et al. (1990)**, la majorité des criquets pèlerin déposent leurs œufs dans le sol (ponte hypogée). L'ensemble des processus qui préparent et conduisent au dépôt des œufs dans le sol constitue la ponte ou l'oviposition. Elle se déroule en quatre étapes : La recherche d'un site de ponte, le forage du trou de ponte, le dépôt des œufs et de la matière spumeuse (oothèque) et enfin, le damage et le balayage du sol.

#### 2.4.2.2 Le criquet migrateur *Locusta migratoria*

Le criquet migrateur *Locusta migratoria* (Linné, 1758) a une très grande extension géographique. En effet, de nombreuses sous espèces au statut plus au moins net ont été décrites principalement en Afrique, à Madagascar, en Asie orientale, en Australie et en régions méditerranéennes (**Duranton et al., 1982**). Ce grand insecte passe par deux phases alternatives : une phase solitaire sédentaire et une phase grégaire migratrice (**Robert, 1972**). Sous sa forme solitaire cet acridien mesure 29 à 46 mm chez le mâle et 37 à 60 mm chez la femelle. Tandis que sous sa forme grégaire, il mesure 40 à 50 mm chez le mâle et 46 à 56 mm chez la femelle (**Balachowsky et Mesnil, 1936**). La coloration générale des imagos solitaires est verte ou brune, plus ou moins claire ou foncée et plus ou moins mouchetée de brun foncé ou noirâtre en particulier sur le pronotum, mais les imagos grégaires ont une teinte unique jaune plus ou moins oranger maculé.

*Locusta migratoria* présente une tête arrondie, le sommet du vertex est large, convexe, les favéoles temporales sont petites et triangulaires, les antennes sont filiformes un peu plus longues que la tête (**Bonnemaison, 1961**). Selon **Chopard (1943)**, **Dirsh et Descamps (1968)**, **Harz (1975)**, l'oviscapte des femelles est court, robuste à valve courbées, les valves inférieures à saillie basale externe. L'appareil génital mâle est subdivisé en une partie proximale appelé plaque sous-anale et une partie distale appelé plaque sous-génitale (**Beaumont et Cassier, 2009**). Le criquet migrateur est une espèce appartenant à la catégorie des locustes présentant un phénomène de polymorphisme phasaire très marqué. Elle se reproduit en continu et effectue 4 à 5 générations par an dans sa phase solitaire et 3 dans sa phase grégaire (**Lecoq, 1991**).



**Figure 05:** Criquet migrateur *Locusta migratoria* (*Adalla et Cervancia, 2010*).

**Masson et Machive (1989)**, signalent que le cycle biologique de ce criquet largement répandu est complexe, il varie toutefois selon le type d'habitat, le climat et la quantité de nourriture verte disponible pour le développement des larves. Au moment de la ponte, la femelle enfonce son oviscapte profondément dans la terre. Les œufs sont déposés sur la couche humide du sol entre cinq à quinze cm de profondeur. Le criquet migrateur, comme tous les autres acridiens, passe par trois états biologiques successifs : l'état embryonnaire, l'état larvaire et l'état imaginal (**Popov et al., 1990**).

### 2.5 Elevage des insectes

La plupart des insectes sont élevés pour l'agriculture soit pour lutter contre des insectes nuisibles, soit pour la pollinisation. Mais un petit nombre d'espèces ont été domestiquées en raison de leur valeur nutritionnelle pour l'alimentation animale. L'élevage d'insectes fournit de nombreux avantages et peut contribuer non seulement à la sécurité alimentaire humaine,

mais aussi à celle des animaux. Selon **Ooninx et De Boer (2012)**, l'élevage d'insectes comestibles génère 100 fois moins de gaz à effet de serre et 10 fois moins d'ammoniac que le bétail conventionnel (bœuf, porc et poulet). En effet, La production animale est responsable de plus de 14 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre (**Gerber et al., 2013**).

D'après **Van Huis et al. (2013)**, l'élevage d'insectes nécessite également moins de surface terrestre que l'élevage classique. **Ooninx et De Boer (2012)**, précisent que pour produire 1 kg de vers de farine, la surface utilisée est seulement 10 % de la surface terrestre nécessaire pour produire la même quantité de bœuf. Il est à noter également que l'élevage d'insectes nécessite moins d'eau par rapport aux bétails, à titre d'exemple environ 8 L d'eau sont nécessaires pour produire 1 kg de grillons, par contre il faudrait 15 000 L pour produire la même quantité de bœuf (**Pimental, 2003 ; Mekonnen, 2010 ; Berenbaum, 2016**). Plusieurs recherches ont montré que l'élevage d'insectes offre d'autres avantages : le taux de conversion des aliments par les insectes est extrêmement élevé. Par exemple pour produire 1 kg de masse corporelle animale, les grillons n'ont besoin que de 1,7 kg d'aliments (**Collavo et al., 2005**). Par contre, pour avoir une augmentation de 1kg de la masse corporelle de l'animal, il faut utiliser 2,5 kg d'aliment pour le poulet, 5 kg pour le porc et 10 kg pour la viande bovine (**Smil, 2002**). De plus, les insectes ont un taux de croissance très rapide et par conséquent, ils atteignent leur maturité en quelques jours seulement comparativement à plusieurs mois voire des années selon le cas pour le bétail (**Nakagaki et Defoliart, 1991 ; Alexander et al., 2017**).

Il existe plusieurs types d'élevages d'insectes qu'il est possible de distinguer en élevage *in situ* et *ex situ*. L'élevage *in situ* s'effectue dans l'habitat naturel de l'insecte alors que l'élevage *ex situ* consiste à se procurer un insecte et à l'élever dans des conditions différentes de son évolution naturelle. L'élevage sur place permet de subvenir aux besoins d'un petit nombre de gens, alors que l'élevage *ex situ* permet une production à grande échelle, plus intensive, de manière totalement contrôlée. De même, il existe plusieurs degrés dans un élevage : l'insecte peut être totalement Domestiqué, semi-domestique (il vit en semi-captivité), ou même sauvage (**Schabel, 2010**).

### 3- valeurs nutritionnelles des insectes pour l'alimentation animale

La valeur nutritionnelle des insectes est très variable, ne fût-ce qu'en raison de la grande diversité des espèces. Même au sein d'un seul groupe d'espèces d'insectes, ces valeurs

nutritionnelles peuvent différer en fonction du stade de développement des insectes (en particulier, pour les espèces à métamorphoses complètes), de leur habitat et de leur alimentation. Comme pour la plupart des aliments, la préparation et les méthodes de production (le séchage, la cuisson à l'eau bouillante, la friture) appliquées avant consommation influenceront également la composition nutritionnelle. Quelques études diverses ont analysé la valeur nutritionnelle des insectes comestibles; cependant, les données obtenues ne sont pas toujours comparables en raison des variations entre insectes, et en raison des différentes méthodes employées pour analyser ces composés (**Van Huis et al., 2013**), .

Les animaux d'élevage ont des besoins nutritionnels spécifiques en protéines, lipides, glucides, vitamines, minéraux et micronutriments pour leur croissance, le fonctionnement de leur organisme et leur survie. Un apport trop faible de ces nutriments influencerait la ponte des œufs chez les poules (**Finke, 2013**). Les larves de mouches soldats noires peuvent fournir environ 35-75 % de protéines de haute qualité, 35% de matières grasses et 227 kg de chitine, qui ont des vertus comparables à la farine de poisson et peuvent fournir un apport calorique élevé pour les aliments riches en énergie (**Bukkens et Paoletti, 2005; Gahukar, 2011 ;Finke, 2013;**).

### 3.1 Protéines

La teneur en protéines des insectes est élevée et l'utilisation des insectes dans l'alimentation peut donc en améliorer la qualité nutritive comme source de protéines animales. Les teneurs en protéines des insectes varient aussi fortement en fonction des espèces. La teneur en protéines dépend aussi de l'alimentation fournie aux insectes (légumes, céréales ou déchets). Les sauterelles qui sont nourries avec du son qui contient de fortes teneurs en acides gras essentiels, ont une teneur en protéines presque deux fois plus forte que celles nourries au maïs. La teneur en protéines des insectes dépend aussi de leur stade de développement. Les adultes ont en général ont une teneur en protéines plus élevée que celle des stades larvaires (**Ademolu et al., 2010**). Au Mexique, les teneurs en protéines de 78 espèces étudiées varient de 15 à 81 pour cent de la matière sèche et la digestibilité des protéines varie de 76 à 98 pour cent (**Ramos Elorduy et al., 1997**).

**Xiaoming et al. (2010)** ont évalué la teneur en protéines de 100 espèces appartenant à divers ordres d'insectes, ils ont trouvé que la teneur en protéines varie de 13 à 77 pour cent de la matière sèche et qu'il y a de grandes variations entre les ordres d'insectes, mais aussi à

l'intérieur d'un même ordre. **Bukkens (1997)** a montré que les chenilles avaient une teneur en protéines plus faible lorsqu'elles étaient grillées que lorsqu'elles étaient séchées (respectivement 48 et 57 pour cent). Il en était de même pour les termites: la teneur en protéines était de 20 pour cent dans les termites crus, 32 et 37 pour cent du poids frais.

Les teneurs en protéines brutes des insectes comestibles classés par ordre sont résumées dans tableau n°01.

**Tableau n° 1:**Teneurs en protéines brutes des différents ordres d'insectes comestibles (**Xiaoming et al., 2010**)

Ordre des insectes	Stade	Variation de la teneur en protéines (%)
Coléoptères	Adultes et larves	23-66
Lépidoptères	Chrysalide et chenilles	14-68
Hémiptères	Adultes et larves	42-74
Homoptères	Adules, larves et œufs	45-57
Hyménoptères	Adultes, nymphes, larves et œufs	13-77
Odonates	Adultes et larves	46-65
Orthoptères	Adultes et imago	23-65

### 3.2 Acides aminés

Certaines espèces d'insectes sont très riches en ces acides aminés (**Bukkens, 2005**). Par exemple les données de **Planella (2014)** démontrent que les larves de mouches soldats noires ont un taux élevé de protéines d'insectes pouvant ainsi substituer les aliments pour le poisson d'élevage et autres animaux. L'expérience de **Finke (2013)** sur quatre espèces d'insectes (mouche domestique adulte, ver de soie jaune, les nymphes de cafard du Turkestan et les larves de mouches soldats) révèle que les larves de mouches constituent un complément alimentaire riche en acides aminés essentiels bien que certains profils chez le cafard les dépassent légèrement ceux des larves de mouches. Une autre expérience montre que les larves de mouches sont riches en lysine et thréonine, ces deux acides aminés essentiels ne sont pas forcément présents en même temps dans le blé, le riz, le manioc et les régimes à base de maïs, ce qui constitue une lacune pour l'alimentation animale parce que les animaux d'élevage ont besoin de ces acides aminés pour leur maintien et croissance (**Foliart, 1992**).

### 3.3 Teneur en matière grasse

La matière grasse est le macronutriment à la plus forte valeur énergétique. Elle est constituée de triglycérides qui ont tous pour structure une molécule de glycérol et trois acides gras (**Womeni et al. (2009)**). L'expérience de **Finke (2013)** montre que les insectes sont une source importante d'acides gras essentiels donc les acides linoléiques et alpha-linoléniques. Elles constituent, de ce fait, une contribution calorique plus élevée comparativement à la diète à base de soja, de maïs et un régime complet pour la volaille (**Gahukar, 2011**).

Selon **Rumpold et Schlüter (2013)**, la teneur moyenne en matières grasses des différents ordres d'insectes comestible varie entre 13,41% (orthoptères) et 33,40% (coléoptères). En outre, les hémiptères, les isoptères, et les lépidoptères (chenilles) sont également riches en matière grasse avec des teneurs de 30,26%, 32,74 % et 27,66 % respectivement. Il est à noter que le contenu en matière grasse des insectes est plus élevé au stade larvaire par rapport aux autres stades de développement (**Payne et al., 2016**), sauf pour les criquets qui sont plus gras au stade adulte qu'à l'état de nymphe (**Van Huis et al., 2013**). Pour le criquet la teneur en lipide varie de 10 à 60% de poids sec (**Laroche et al., 2019**). Les teneurs moyennes en acides gras des insectes classés par ordres sont exposées dans le tableau n°2.

**Tableau n°2 : Teneurs moyennes en acides gras par ordre d'insectes (Rumpold et Schlüter, 2013).**

Ordres d'insectes	Acides gras saturés (AGS) (%)	Acides gras Monoinsaturés (AGMI) (%)	Acides gras Polyinsaturés (AGPI) (%)
Coléoptères	38.49	35.72	27.14
Diptères	33.02	47.23	15.95
Hémiptères	43.89	32.39	22.89
Hyménoptères	29.88	48.76	21.18
Isoptères	41.97	22.00	36.04
Lépidoptères	37.04	22.36	39.76
Orthoptère	32.05	29.37	37.08

### 3.4 Glucides

Les glucides jouent un rôle très important dans l'alimentation animale car ils sont la principale source d'énergie (**Martin, 2001**). Il existe une variabilité de la teneur en glucides entre les insectes comestibles. En effet, cette teneur varie de 5 à 51% de poids sec (**Kuntadi et al, 2018**). Par conséquent, les insectes comestibles peuvent être utilisés comme source de glucides, car ils contiennent des quantités relativement élevées de polysaccharides, qui jouent un rôle important dans le renforcement du système immunitaire (**Chen et al., 2009**). Par contre, des chercheurs comme **Siriamorpun et Thammapat (2008)**, estiment que l'apport en glucides des insectes comestibles est considéré très faible, car la plupart des insectes sont consommés à l'état immature. Cependant, certaines espèces telles que *Oryctes monoeros* et *Gryllotalpa africana*, contiennent une grande quantité de glucides (**Siulapwa, 2012**). D'après **Ramos-Elorduy et al. (2010)**, la teneur en glucides de la fourmi pot-de-miel peut atteindre 77,7% de poids sec. Il est à noter qu'il n'y a pas de glucides dans les produits d'origine animale précédemment comparés (**Keller et al., 2012**).

### 3.5 Teneur en fibre

Les insectes comestibles contiennent une quantité considérable de fibres (Tab n°3). En effet, la chitine insoluble est la forme de fibre la plus courante dans le corps des insectes qui constitue principalement leurs exosquelettes (**Van Huis et al. (2013)**). De plus, la chitine est considérée comme une fibre non digestible, bien que l'enzyme chitinase se trouve dans les sucs gastriques humains (**Paoletti et al, 2007**).

**Selon Fink (2013)**, l'élimination de la chitine améliore la digestibilité des protéines d'insectes. La chitine est également associée à la défense des organismes contre certaines infections parasitaires et états allergiques (**Goodman, 1989 ; Borkovcovà, 2009**). La chitine de l'exosquelette des insectes agit dans le corps humain comme la cellulose et à cause de cet effet, elle est souvent appelée « fibre animale » (**Borkovcovà, 2009**).

**Tableau n° 3:** Teneur en fibres contenues dans la matière sèche de quelques insectes comestibles (**Bednarova, 2013**).

Nom scientifique	Stade	Teneur en fibre (% de matière sèche)
<i>Bombyx mori</i>	Pupe	14
<i>Apis mellifera</i>	Nymphe	11
<i>Locusta migratoria</i>	Nymphe	27
<i>Galleria mellonella</i>	Chenille	21
<i>Gryllus assimilis</i>	Nymphe	8
<i>Tenebrio molitor</i>	Larve	18

### 3.6 Les micronutriments

Les micronutriments qui comprennent les minéraux et les vitamines jouent un rôle important dans la valeur nutritionnelle d'un aliment. Les carences en micronutriments, qui sont communes dans de nombreux pays en développement, peuvent avoir des conséquences néfastes majeures sur la santé, contribuant à des défauts de croissance, des troubles des fonctions immunitaires, du développement mental et physique, ainsi que de la reproduction, troubles qui ne peuvent pas toujours être corrigés par des suppléments alimentaires (FAO, 2011). Tout comme les autres composants nutritionnels des insectes, les teneurs en vitamines et minéraux sont variables, mais peuvent toutefois être contrôlées par leur alimentation (Finke, 2013).

#### 3.6.1 Vitamines

Les vitamines, qui sont essentielles pour stimuler les processus métaboliques et renforcer les fonctions du système immunitaire, sont présentes dans la plupart des insectes. En général, les insectes sont une bonne source de riboflavine (vitamine B2), d'acide pantothéniques (vitamine B5), de biotine (vitamine B8) et de cobalamine (vitamine B12) (Rumpold et Schlüter, 2013). Certaines espèces d'insectes sont également riches en vitamine E et en choline (Van Huis, 2017). En outre, certaines espèces d'insectes telles que les grillons et les sauterelles sont riches en acide folique (Vitamine B9) (Rumpold et Schlüter, 2013). Toutefois, la plupart des insectes comestibles sont une source pauvre en vitamine A, vitamine C et de thiamine (Van Huis, 2017).

#### 3.6.2 Minéraux

La majorité des insectes comestibles sont riches en minéraux tels que le cuivre, le fer, le magnésium, le manganèse, le phosphore, le sélénium et le zinc (Finke, 2013 ; Rumpold et Schlüter, 2013 ; Van Huis *et al.*, 2013). Les insectes contiennent généralement davantage de fer, de zinc et de calcium que la viande de bœuf, de porc et de poulet (Zielińska *et al.*, 2015). Seulement quelques espèces d'insectes comme les coléoptères et les termites (Isoptère) sont pauvres en manganèse (Rumpold et Schlüter, 2013). De plus, la plupart des insectes ont une teneur faible en sodium (57-330 mg/100 g) qui ne dépasse pas la dose journalière maximale recommandée (1500 mg) (Zielińska *et al.*, 2015). Plusieurs chercheurs notamment Fink et Onincx (2014) notent que les insectes sont pauvres en calcium et en potassium. Néanmoins, certaines espèces d'insectes telles que les grillons, les fourmis et quelques chenilles ont une

teneur significative en calcium (**Akhtar et Isman, 2018**). Actuellement, il y a peu d'études sur la biodisponibilité minérale des insectes comestibles (**Decastro *et al.*, 2018**).

# **Chapitre II**

## **Matériel et méthodes**

### II. Matériel et Méthodes

Le présent travail a été réalisé au niveau de :

- Salles d'élevage du laboratoire de recherche VALCORE à l'université de Boumerdes.
- Laboratoire privé de contrôle de qualité et de conformité Rezgui Lab (Café chergui),

L'objectif de la présente étude consiste à :

- Faire un élevage de trois espèces d'insectes (*Locusta migratoria*, *Schistocerca gregaria* et *Hermetia illucens*) au niveau des salles d'élevage VALCORE.
- Un contrôle microbiologique des farines d'insectes (*Locusta migratoria*, *Schistocerca gregaria* et *Hermetia illucens*) qui serviront pour une formulation alimentaire (biscuit sec) saine.
- Une analyse physico-chimique de deux farines de criquet (*Locusta migratoria*, *Schistocerca gregaria*) et la farine de la mouche soldat *Hermetia illucens* dans le but de voir la qualité alimentaire et la valeur nutritionnelle de ces farines.

#### II.1. Matériel biologique

L'étude a été menée sur 3 espèces d'insectes *Schistocerca gregaria*, *Locusta migratoria* et *Hermetia illucens*. Les individus de ces espèces ont été élevés dans les salles d'élevage comme indiqué précédemment.

#### II.2. Matériel non biologique

Le matériel non biologique se compose de l'appareillage, les verreries et les milieux de culture utilisés dans le cadre de ce travail (Annexe I).

#### II.3. Méthodes

##### II.3.1. Elevage des criquets

Les criquets ont été élevés dans plusieurs cages en bois de dimensions différentes (fig. n° 5). Les grandes cages sont réservées pour l'élevage de masse et les moyennes cages pour les larves de 5<sup>ème</sup> stade. Ces dernières sont destinées à la production de la farine. Les petites cages sont destinées à élever les petites larves. Pour ce qui est des conditions de l'élevage : les températures sont comprises entre 30 et 34 °C. L'humidité relative varie entre 60 et 75%. La photopériode est naturelle selon la saison et aucune source de lumière n'a été rajoutée à

l'élevage. Les criquets sont nourris à base de graminée spontanée (le gazon) et un complément de son de blé. L'élevage des criquets a été fait durant une période de 5 mois.



Figure 05: Elevage des criquets (Originale).

### II.3.2. Elevage de la mouche soldat noire

Avant de pouvoir mettre en place un élevage de la mouche soldat noire, il est important de comprendre son cycle de vie. Celui se décompose en 4 phases principales (fig. n° 6).

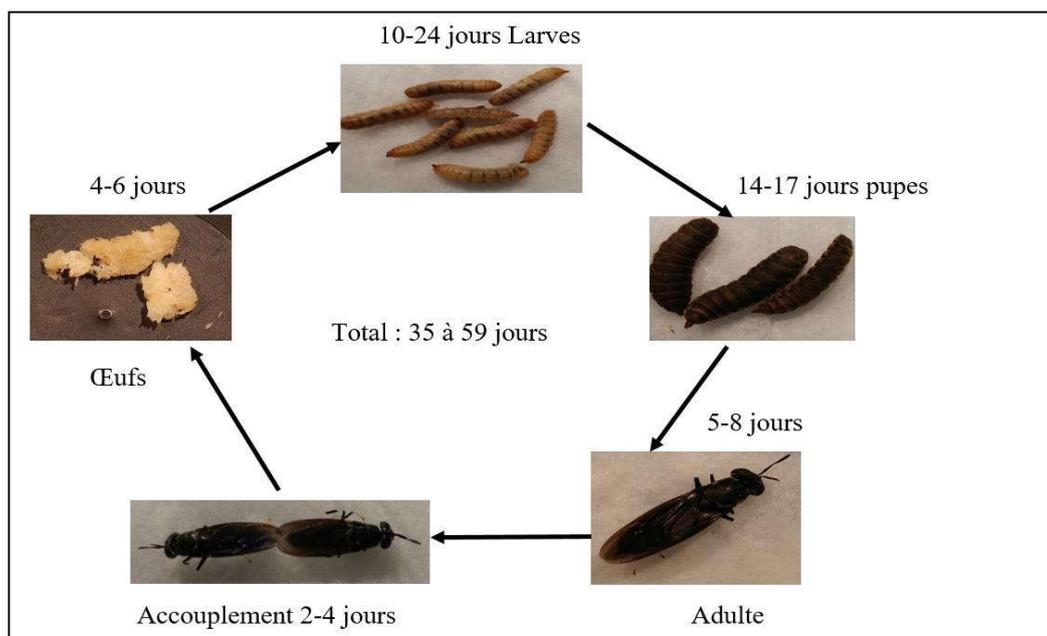


Figure n°6: Cycle de vie des mouches soldats noires (M'ballou, 2019).

L'élevage est réalisé avec des matériaux divers. Les pondoirs correspondent à une structure de fines planchettes de bois (3-4cm de largeur) serrées deux à deux dans laquelle les femelles de la mouche vont pondre entre deux planchettes pour y déposer un amas de plusieurs centaines d'œufs (fig n°7).



**Figure n°7:** Les pondoirs de la mouche soldat noire (original).

Pour le prototype du bateau (bac de croissance) par exemple, nous avons construit une caisse en bois dans lequel nous mettons un bac en plastique contenant les déchets et les larves (fig n°8). À l'éclosion, les larves vont tomber dans la nourriture et commencer immédiatement à se nourrir. Les larves ont été élevées en conditions contrôlées (30 °C, 67-70% d'humidité). Les larves évitent la lumière et recherchent toujours un environnement ombragé, à l'abri de la lumière. Si leur source de nourriture est exposée à la lumière, elles se déplaceront plus profondément dans la couche de nourriture pour échapper à la lumière. Une fois qu'elles ont accumulé assez de réserve, les larves vont se transformer en pré-nymphe. A ce moment, leurs partie buccale se munie de d'une structure en forme de crochet et deviennent brunes foncées à grisâtres anthracite. Elles utiliseront ce crochet pour s'extraire de leur environnement humide afin de rejoindre un lieu sec, ombragé et à l'abri des prédateurs pour se transformer en nymphe.

Les larves de *Hermetia illucens* peuvent se nourrir de la plupart des déchets organiques même si elles les dégraderont plus ou moins. Il est possible de ne leurs rajouter de la nourriture que tous les deux à trois jours mais si les larves n'ont plus assez à manger, elles chercheront à s'extraire du bac pour partir à la recherche d'une autre source de déchets (fig n°9).



**Figure n°8:** Bac de croissance des larves de BSF (Original).



**Figure n°9:** Nourriture des larves de BSF (Original).

Du moment de son émergence jusqu'à sa mort, l'adulte n'aura qu'une seule fonction, c'est de se reproduire. Ils ont une courte durée de vie (environ une semaine) et n'ont pas besoin de se nourrir, seule une source d'eau sera nécessaire pour qu'ils restent hydratés. Après la fécondation, les femelles vont chercher un endroit pour pondre. Elles apprécient particulièrement les interstices et les pondoirs peuvent être composés par exemple de carton alvéolé. De plus, elles vont chercher à pondre au plus près de la source de nourriture afin que dès leur éclosion, les larves trouveront de la nourriture.



**Figure 10:** Elevage des adultes de la mouche soldat noire (Originale).

### II.3.3. Traitement des échantillons (la farine de *Locusta migratoria*, *Schistocerca gregaria* et *Hermetia illucens*)

#### II.3.3.1. Séchage des insectes

##### a) Les criquets

Pour produire cette farine, les individus du criquet de chaque espèce sont récoltés dans des cages au stade adulte. Ils sont ensuite sacrifiés par congélation et stockés à -24 °C. Les criquets ont été placés dans une étuve nettoyée au préalable, à 105 °C pendant 24 heures (Fig. n°11).

##### b) La mouche soldat noire

Au bout de deux semaines passée à se nourrir des déchets, les larves de la mouche peuvent être récoltées. A ce stade, les larves ont atteint leur poids maximum, mais ne se sont pas encore transformées en pré-nympe. Leur valeur nutritionnelle est donc à son maximum. La récolte est le processus par lequel les larves sont séparées du résidu. Pour ce faire, on utilise un tamis manuel qui permet de séparer facilement les larves des résidus. Les larves récoltées sont rincées avec l'eau courante puis à l'eau stérile, épongées et emballées dans des sacs de plastique et elles sont stockées immédiatement en congélateur à -24 °C. Les larves sacrifiées sont séchées par la suite dans une étuve, nettoyée au préalable, à 105 °C pendant 24 heures (Fig. n°12).



**Figure 11:** Séchage des criquets  
(Originale)



**Figure 12:** Séchage des larves de la mouche soldat noire (Originale)

### II.3.3.2. Broyage des insectes

Après séchage à l'étuve, les insectes sont broyés à l'aide d'un broyeur électrique jusqu'à l'obtention d'une farine fine et homogène. La farine obtenue est stockée dans des sachets propres et stérile jusqu'à son analyse future (Figures 13 et 14).



**Figure 13** : Broyage des insectes (Originale)



**Figure 14** : Farine d'insecte (Originale)

### II.3.4 Analyse physicochimique et microbiologique de la farine de *Locusta migratoria*, *Schistocerca gregaria* et *Hermetia illucens*

#### II.3.4.1. Analyse physico-chimiques

##### II.3.4.1.1 Mesure du pH (pH-mètre):

###### Principe

Le principe consiste à mesurer le pH de la solution en introduisant la sonde du pH-mètre dans le bécher et en notant la valeur qui s'affiche sur l'écran.

###### Mode opératoire

Macérer 2g de farine dans 20 mL d'eau distillée, dans un bécher, pendant une heure. La sonde du pH-mètre ensuite est introduits dans le bécher contenant l'échantillon à analyser. La valeur du pH s'affiche sur l'écran du pH-mètre.

##### II.3.4.1.2 Détermination de la teneur en eau (Humidité) (ISO 662)

###### Principe

La teneur en eau est déterminée par étuvage des échantillons à une température égale à 105°C pendant 24 heures.

### Mode opératoire

Prélever et peser 3g d'échantillons (farine d'insectes) dans une capsule. Placer la capsule dans une étuve à 105°C pendant 24 heures. Elles sont refroidies dans un dessiccateur avant d'être repesées de nouveau. Le dosage est effectué 2 fois pour chaque échantillon.

### Mode de calcul

La teneur en eau se calcule de la manière suivante:

$$TE (\%) = \frac{M2 - M1}{PE} * 100$$

Soit:

- TE (%): teneur en eau en pourcent
- M1 la masse de la capsule vide en grammes
- M2 la masse de la capsule après étuvage en grammes
- PE le prise d'essai en grammes

La teneur en matière sèche est déduite de la teneur en eau par la formule :

**Matière sèche : 100-H (%).**

### II.3.4.1.3 Détermination de la teneur en protéines (Kjeldahl):

Il existe plusieurs méthodes pour déterminer la teneur en protéines dans un échantillon, à savoir : le dosage de l'azote par Kjeldahl, la méthode de Biuret, la méthode de dosage colorimétrique des protéines. Dans ce travail, la méthode utilisée est la méthode de dosage de l'azote par Kjeldahl. Cette méthode a été développée en 1883 par un chimiste danois « Johan KJELDAHL ». Cette dernière s'effectue en trois phases, Digestion (minéralisation), distillation et titration.

### Principe

Le principe repose sur la destruction des composés organiques dans l'échantillon, de manière à obtenir tout l'azote sous une forme minérale; en effectuant une minéralisation à l'aide d'un excès d'acide sulfurique concentrée H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> en présence de mélange de catalyseur (composé de sulfate de cuivre et sulfate de potassium). Le minéralisât obtenu est distillé avec la méthode Kjeldahl. Le principe du dosage de l'azote par Kjeldahl consiste à faire un dosage en retour.

### Mode opératoire

La méthode de dosage des protéines par Kjeldahl se déroule en trois (03) étapes: la minéralisation, la distillation et la titration. Ces trois étapes sont obligatoires.

#### **-Processus de minéralisation:**

Peser environ 0,25g de l'échantillon dans un papier Joseph. Plonger ensuite l'échantillon pesé dans le matrat de minéralisation (avec le papier Joseph). Verser 15 mL de l'acide sulfurique H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentré et ajouter deux (02) pièces de catalyseur composé de sulfate de cuivre et sulfate de potassium. Lancer ensuite la minéralisation (Minéralisateur à 12 postes BUCHI Digestion Unit K-435). La minéralisation est terminée quand la couleur de l'échantillon vire de marron-noir à la couleur vert-clair.

#### **-Processus de distillation:**

Prendre dans un bécher de 600 mL, 25 mL d'acide borique de concentration égale à 40g/L (peser 40g d'acide borique en pastille ou en poudre et diluer dans un litre d'eau distillée). Le minéralisât est placé dans l'appareil Kjeldahl et on ajoute par l'intermédiaire de l'appareil, environ 50 mL de soude concentré. Le minéralisât placé dans le distillateur change de couleur après ajout de soude (la couleur du distillat est marron-noir). L'acide borique dans le bécher est placé dans la colonne droite de l'appareil et on ajoute quelques gouttes d'indicateur coloré (rouge de méthyle + bleu de méthylène) jusqu'au virage rouge-clair ou rose-clair. Puis lancer la distillation. La distillation est terminée quand la couleur de l'acide borique rouge-clair vire à la couleur verte.

#### **- Processus de Titration :**

Le distillat obtenu est titré par l'acide sulfurique de concentration 0,1 N jusqu'au virage à la couleur rouge-clair.

### Mode de calcul

La teneur en protéines est calculée selon la formule suivante:

$$\text{Protéines (\%)} = 0.875 * \text{Chute de burette/ Prise d'essai} * 100$$

-0,875: constante obtenue après multiplication avec le facteur de conversion de l'azote en protéines.

-Chute de burette: volume de l'acide sulfurique versé en millilitre.

-Prise d'essai: poids de l'échantillon prise en grammes.

### II.3.4.1.4 Détermination de la teneur en lipides (ISO 8851-3)

#### Principe

Le principe repose sur l'extraction des lipides contenus dans les échantillons en utilisant un solvant d'extraction : le n-hexane ou l'éther de pétrole. L'extraction par solvant organique spécifique pour la détermination du taux de la matière grasse est réalisée avec un appareil Soxhlet. A la fin de l'extraction, on peut admettre que toute la matière grasse est transférée dans le solvant.

#### Mode opératoire

Environ 5g de l'échantillon est pesé dans un papier Joseph. L'échantillon pesé contenu dans le papier Joseph est mis dans une cartouche à extraction. La cartouche est placée ensuite dans un extracteur Soxhlet. Un ballon contenant environ 120 mL d'hexane est placé directement au-dessous de l'extracteur. Le ballon est monté au chauffe-ballon. L'extrait d'hexane est recueilli dans un ballon préalablement pesé. Le contenu du ballon est évaporé à l'aide d'un rotavap, puis séché à l'étuve à 103°C et refroidi dans un dessiccateur. Après refroidissement, le ballon est de nouveau pesé.

#### Mode de calcul

La détermination de la teneur en lipides se fait comme suit :

$$\text{Lipides (\%)} = \frac{M2 - M1}{PE} * 100$$

Soit:

-M1 : la masse du ballon vide en grammes.

-M2 : la masse du ballon après l'étuvage en grammes.

-PE le prise d'essai en grammes.

### II.3.4.1.5. Détermination des sucres totaux (Dubois et *al.*, 1956)

Le dosage des sucres totaux est effectué par la méthode de phénol/acide sulfurique (Dubois *et al.*, 1956). Cette dernière nécessite une hydrolyse acide qui permet la rupture de toutes les liaisons glucidiques dans le polysaccharide. Le principe du dosage se base sur la condensation des produits de déshydratation des oses avec un chromogène qui est le phénol. A ce moment-là, il se forme des chromophores de couleur jaune-orange, leur apparition est suivie en mesurant

l'augmentation de la densité optique à 490 nm. La teneur des sucres est exprimée en  $\mu\text{g/mL}$  (convertie en grammes/litre) de  $\alpha$  D (+) Glucose à partir d'une courbe d'étalonnage.

### Mode opératoire

On additionne à 0,5g d'échantillon, 20 mL d'acide sulfurique ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 0,5 M, puis on place l'ensemble dans une étuve réglée à  $105^\circ\text{C}$  pendant 3 heures. On transverse la solution dans une fiole de 500 mL tout en ajustant le volume par de l'eau distillée jusqu'à 500 mL. On filtre la solution puis on réalise trois dilutions au 1/3. Dans des tubes, on met 1mL de chaque dilution, ensuite on ajoute dans chaque tube 1mL de phénol à 5 % et 5ml d'acide sulfurique  $\text{H}_2\text{SO}_4$  à 98 %. Les tubes sont maintenus dans l'étuve pendant 5 minutes à  $105^\circ\text{C}$ , puis laissés dans l'obscurité pendant 30 minutes, enfin, à l'aide d'un spectrophotomètre, on lit la densité optique à une longueur d'onde de 490 nm.

### Expression des résultats :

La teneur en sucres est exprimée en % de la matière sèche

#### II.3.4.1.6. Détermination de la teneur en fibre (Henneberg et Stohmann ,1860)

### Principe

Elle consiste à traiter l'échantillon à analyser successivement avec de l'acide sulfurique et de la potasse. L'hydrolyse acide/ basique (à chaud) permet de solubiliser la quasi-totalité du contenu cellulaire à l'exception des fibres alimentaires et des sels minéraux.

### Mode opératoire

Préparer deux solutions : l'une d'acide sulfurique à 1,25 % et l'autre de l'hydroxyde de potassium (KOH) à 1,25 %. Introduire dans un creuset 1g d'échantillon séché et broyé puis ajouter 150 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  à 1,25%, après préchauffage et juste au début de l'ébullition, ajouter trois gouttes de N-octanol comme agent anti-mousse et compter exactement 30minutes. Vidanger l'acide sulfurique tout en lavant trois fois avec 30ml de l'eau distillée chaude, ensuite ajouter 150 mL de KOH à 1.25 %. Préchauffer, ajouter 3 gouttes de N-octanol et compter encore une fois 30 minutes. Procéder à un deuxième lavage trois fois avec 30 mL d'eau distillée chaude, effectuer un dernier lavage avec de l'eau distillée froide (30 mL). La dernière étape consiste à rincer les résidus contenus dans les creusets 3 fois avec 25 mL d'acétone. Introduire les creusets dans une étuve réglée à  $105^\circ\text{C}$  pendant une heure (1h)

jusqu'à un point constant (M2), ce poids représente les fibres brutes plus la teneur en cendres par rapport au poids initial, pour cela, il est nécessaire de poursuivre l'opération en plaçant les creusets dans un four à moufle à 550°C jusqu'à ce que la couleur des résidus devienne blanc grisâtre. Laisser les creusets refroidir dans un dessiccateur et peser les (M3).

### Expression des résultats

La teneur des fibres brutes est calculée par la formule présentée ci- dessous :

$$F \% = (M2 - M3) \times 100$$

#### II.3.4.1.7 Détermination de la teneur en cendres brutes (Raoul le coq, 1965)

##### Principe

Les cendres brutes sont obtenues par la dégradation des matières organiques contenues dans les échantillons à 550°C. Le principe repose sur l'incinération de l'échantillon dans un four à moufle électronique à 550°C jusqu'à obtention des cendres blanches ou grises.

##### Mode opératoire

Peser environ 1g de l'échantillon dans une capsule en porcelaine préalablement taré: M1. Puis placer la capsule dans le four à température réglée à 550°C jusqu'à obtention des cendres blanches ou grises. Le lendemain, sortir les capsules et les mettre dans un dessiccateur pour les refroidir. Peser M2.

##### Mode de calcul

La teneur en cendres se calcule comme suit:

$$\text{Cendres \%} = \frac{P2 - P1}{PE} \times 100$$

Soit :

- P2: le poids de la capsule après incinération en grammes
- P1: le poids de la capsule vide en grammes
- PE: la prise d'essai en grammes

### II.3.4.1.8 Dosage des éléments minéraux: Ca, Mg, K, ... (spectrophotométrie d'absorption atomique)

#### Principe

Le principe de la méthode d'analyse se base sur le principe de la spectrophotométrie d'absorption atomique à flamme, dont la propriété est que les atomes absorbent une quantité bien définie d'énergie ou photon de fréquence bien définie pour passer d'un état fondamental à un état excité. Plus il y a d'atomes ou éléments minéraux dans la solution, plus il y a d'énergie sous forme de rayonnement et cette énergie est transformée en densité optique proportionnelle à la concentration des éléments minéraux (Dubois, 1999).

#### Mode opératoire

Les cendres brutes obtenues par calcination à 550°C permettent le dosage des éléments minéraux. Les cendres sont mouillées avec un peu d'eau distillée, puis additionnées de 5 mL d'HCl concentré. Le mélange ainsi obtenu est transvasé dans un bécher et chauffé jusqu'à ébullition pendant 15mn sur un bain de sable. Laisser se refroidir, filtrer et rincer avec de l'eau distillée. Ramener à 100 mL avec de l'eau distillée, le volume de la solution, avant la lecture de la densité optique sur le spectromètre d'absorption atomique. Une courbe d'étalonnage de la densité optique en fonction de la concentration est établie pour chaque élément et la concentration en élément l'échantillon est alors déduit en reportant leurs densités optiques dans la courbe d'étalonnage respective.

#### Mode de calcul

Le calcul de teneur en éléments minéraux est donné comme suit:

$$\text{Eléments minéraux (g/100g)} = X \cdot 10^{-6} \cdot \text{dil} \cdot V \cdot 100 / \text{PE}$$

- X: concentration de la solution en microgrammes par litres.
- dil: inverse du facteur de dilution.
- V: volume de reprise des matières minérales en litres.
- PE: prise d'essai initial en grammes.

### II.3.4.2 Analyses microbiologiques

#### II.3.4.2.1 Préparation de la solution mère et des dilutions décimales

La préparation de la dilution primaire (solution mère) est nécessaire pour les dilutions décimales suivantes en vue de réduire le nombre de microorganismes par unité de volume ; pour faciliter l'analyse microbiologique. La préparation de la solution mère pour les trois farines est réalisée comme suit : Dix grammes de chaque farine, prélevés aseptiquement sont additionnés à 90 mL d'eau peptonnée tamponnée stérile, ensuite ce mélange a été homogénéisé sous agitation magnétique et laissé au repos. La suspension mère de dilution  $10^{-1}$  et ainsi constituée.

De cette dilution, on prélève 1 mL qu'on dilue dans 9 ml d'eau peptonnée, on obtient ainsi la dilution  $10^{-1}$  on répète la même opération, à partir de la dilution  $10^{-10}$ , pour obtenir la dilution  $10^{-10}$  et ainsi de suite jusqu'à l'obtention de la dilution  $10^{-10}$ .

### II.3.4.2.2. Recherche et dénombrement de la flore mésophile aérobique totale (NA 1207)

#### Principe

Le dénombrement a été effectué sur gélose standard pour dénombrement, PCA (Standard Plate Count Agar). Ce test permet d'avoir une idée sur la qualité microbiologique générale d'un produit naturel. Cette flore est un bon indicateur de la qualité hygiénique générale et de la stabilité du produit.

#### Mode opératoire

A partir des dilutions décimales de  $10^{-1}$  à  $10^{-3}$  aseptiquement 1mL dans une boîte de Pétri vide préparé à cet usage. Compléter ensuite avec environ 15 mL de gélose fondue puis refroidir à  $45 \pm 1^\circ\text{C}$ . Faire des mouvements circulaire de va et vient en forme de « 8 » pour augmenter la surface de contact entre se mélange et la gélose utiliser ; après on laisse à solidifie. Les boites seront incubées à  $37^\circ\text{C}$  pendant 72 heures.

#### Lecture

Les résultats sont exprimés en UFC par g de produit selon la formule suivante :

$$X=N.(1/D). (1/V)$$

**X:** nombre de germes par gramme de produit

**N** nombre de colonies

**V:** volume de l'inoculum

### **D:** facteur de dilution

Les boîtes positives présentent un halo clair autour de chaque colonie, blanche et jaune de différentes tailles en masse.

### **II.3.4.2.3 Recherche et dénombrement des levures et moisissures (NA1210)**

#### **Principe**

Le dénombrement des levures et moisissures s'est effectués sur le milieu OGA, selon les normes NA1210. L'ensemencement se fait en surface et les cultures sont ensuite incubées à 26°C pendant 3 à 5 jours.

#### **Mode opératoire**

A partir des dilutions décimales,  $10^{-1}$  à  $10^{-3}$ , porter aseptiquement 4 gouttes dans une boîte de Pétri contenant de la gélose OGA ; étaler les gouttes à l'aide d'un râteau stérile ; puis incuber à 25°C pendant 5 jours.

#### **Lecture**

Les colonies des levures sont brillantes, rondes et bondées, de couleurs différentes, de formes convexes ou plates et souvent opaques. Les colonies de moisissures sont épaisses, filamenteuses, pigmenté ou non, et sont plus grandes que celles des levures.

### **II.3.4.2.4 Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux (ISO 4832, NF1040)**

Les coliformes sont des bacilles à GRAM négatif, aérobie ou anaérobie facultatif, non sporulées, capable de se multiplier en présence de sel biliaire et capable de fermenter le lactose, avec production d'acide et de gaz en 48 heures et à 35 à 37°C. Les coliformes fécaux ont les mêmes caractères des coliformes totaux mais ils sont capable de fermenter le lactose avec production d'acide et de gaz à 44°C. Leur recherche est effectuée sur des milieux riches en lactose avec les sels biliaires comme un agent sélectif.

#### **Principe**

Ce groupe bactérien se distingue des autres entérobactéries par leur aptitude à fermenter le lactose en produisant des acides et du gaz  $\text{CO}_2$  en présence de sel biliaire. Leur détection consiste à incuber l'échantillon à 37°C pendant 24 à 48 h. Pour cela on utilise des milieux de culture contenant de lactose comme source de carbone. On utilise le milieu VRBL (Violet

Red Bile Lactose Agar). Le dénombrement des coliformes totaux a été fait selon les normes ISO 4832 et NF1040.

### Mode opératoire

A partir des dilutions décimales, on a porté aseptiquement un volume de 1 mL dans une boîte de Pétri vide, puis couler en dessus la gélose VRBL en surfusion. Faire ensuite des mouvements circulaires pour bien mélanger la gélose et l'inoculum. Laisser la gélose se solidifier puis incubé les boîtes à 37°C pour les coliformes totaux et à 44°C pour les coliformes fécaux pendant 24 heures.

### Lecture

Les colonies des coliformes totaux et fécaux apparaissent en masse sous forme de petites colonies de couleur rouge cerise et de 0,5 mm de diamètre.

### II.3.4.2.5. Recherche et dénombrement des *Staphylococcus aureus* (NA15164)

*Staphylococcus aureus* appartient à la famille des Micrococaceae. C'est une espèce aéro-anaérobie facultative, catalase positive, immobile et non sporulée (Laurent *et al.*, 1998).

### Principe

La forte concentration en chlorure de sodium inhibe la croissance de la plus part des bactéries autre que les staphylocoques. Le dénombrement de *Staphylococcus aureus* est réalisé selon les normes NA15164 sur milieu Baird Parker.

### Mode opératoire

A partir des dilutions décimales de  $10^{-1}$  à  $10^{-3}$  porter aseptiquement 4 gouttes dans une boîte de Pétri contenant de la gélose Chapman. Etaler les gouttes à l'aide d'un râteau stérile, puis incubé à 37°C pendant 24 à 48 heures.

### Lecture

La présence de staphylocoques se traduit par l'apparition de colonies noires (réduction de tellure) entourées d'un halo clair. Le nombre de germes par mL ou par g de produit est calculé par la formule suivante :

$$X-N.(1/D). (1/V)$$

Soit:

**X:** nombre de germe par ml ou g de produit.

**V:** volume de l'inoculum

**N:** Nombre de colonies

**D:** Facteur de dilution ou la dilution considérée.

### II.3.4.2.6. Recherche et dénombrement de Clostridium sulfito-réducteur(NF V 08 -019)

Les clostridium sulfito- réducteurs sont des bacilles à GRAM positif, anaérobies strictes, mobiles par ciliature péritriche mais parfois immobiles et capsulés ; possèdent des spores résistantes ou moins 10 min à 80°C, ils sont capables de réduire les sulfites en sulfure par la sulfito-réductase présente dans le milieu de culture viande foie.

#### Principe

Les clostridium sulfito- réducteurs sont capables de réduire les sulfites en sulfure par la sulfito-réductase présente dans le milieu de culture viande foie (VF). Ceci se combine avec un sel de fer pour donner du sulfure de fer avec dégagement de H<sub>2</sub>, les colonies noires entourées d'un halo sont les caractéristiques des clostridium sulfito- réducteurs.

#### Mode d'opérateur

Les tubes contenant des dilutions 10<sup>-1</sup> à 10<sup>-2</sup> seront soumis d'abord à un chauffage à 80°C pendant 10min, puis à un refroidissement immédiat sous l'eau de robinet, dans le but d'éliminer les formes végétatives et de garder uniquement les formes sporulées avant de faire couler aseptiquement la gélose VF en surfusion additionnée de sulfite de sodium (5 mL) et d'alun de fer (2 mL). Le tube est à nouveau refroidi à l'air ambiant et incubé à 37°C pendant 72 h.

#### Lecture

Les colonies noires, éventuellement entourées d'une zone noire, sont dénombrées comme des bactéries sulfito-réducteurs.

### II.3.4.2.7. Recherche des salmonelles (NA 1203)

Les Salmonelles sont des Bacillus Gram positif, mobiles, non sporulé et anaérobies facultatif. Le dénombrement des Salmonelles s'est fait selon les normes N. A 1203.

#### Principe

La technique consiste de procéder à un pré-enrichissement et un enrichissement puis un isolement dans milieu sélectif.

#### Mode opératoire

- **Pré-enrichissement**

On prélève 1mL de la farine puis on introduit dans un flacon contenant 10 mL de tréphone sel, ensuite on incube à 37°C pendant 24 heures.

- **Enrichissement primaire**

L'enrichissement doit s'effectuer après transfert de 1mL de la suspension de pré-enrichissement dans 10 mL de milieu sélectif SFB. On incube à 37°C pendant 24h.

- **Enrichissement secondaire et Isolement**

Les boîtes de héktoïne ainsiensemencées par 1mL de suspension d'enrichissement primaire seront incubées à leur tour à 37°C pendant 24h.

### **Lecture**

Les colonies de salmonelles apparaissent en bleu vert avec un centre noir.

#### **II.3.4.2.8. Recherche de *Listeria monocytogene*(NA15159)**

*Listeria monocytogene* est un bacille à Gram positif, appartient au genre *Listeria*, mobile, pathogène.

### **Principe**

La recherche de *Listeria monocytogene* se fait par 3 étapes principales.

#### **Mode opératoire**

- **Enrichissement primaire :**

Un volume de 1 mL de suspension mère est placé dans 10 mL de bouillon Fraser ½, ensuite incubé à 30 °C pendant 24 h.

- **Enrichissement secondaire**

Transférer 0,1 mL de culture issue d'enrichissement primaire dans tube de 10 mL de Fraser complet. Incuber à 37°C pendant 48 h.

- **Isolement**

A partir de l'enrichissement primaire, on ensemence avec une anse sur la surface d'une gélose Palcam à 37°C pendant 48h.

### **Lecture**

Les colonies de *Listeria* apparaissent verdâtres luisantes entourées d'un halo brun noir. Après 48h les colonies incrustées dans gélose et présentent une dépression centrale. *Listeria* provoque un noircissement du milieu par hydrolyse de l'esculine.

### II.3.4.2.9. Recherche et dénombrement de *Pseudomonas aeruginosa*(ISO 22717)

*Pseudomonas aeruginosa* fait partie de la famille des Pseudomonadaceae qui regroupe des bactéries mobiles aérobies Gram négatif, en forme bâtonnets renflés, avec un flagelle polaire.

#### Principe

Le dénombrement de *Pseudomonas aeruginosa* est fait selon les normes ISO22717 sur le milieu Cétrimide.

#### Mode opératoire

On verse le milieu Cétrimide dans trois boites de Pétri, après solidification, quelques gouttes des dilutions décimales (1 mL de chaque dilution) sont aseptiquement prélevées par une pipette pasteur et ensementer sur la gélose des boites. L'incubation se fait à 37 °C pendant 24 h-48 h.

#### Lecture

L'obtention de colonies présentant une pigmentation caractéristique jaunes-vertes et leur fluorescence peut être évidence en lumière ultra-violette.

# **Chapitre III**

## **Résultats et Discussion**

### III. Résultats et Discussion

#### III.1. Résultats des analyses physico-chimiques de la farine des criquets : *Schistocerca gregaria* et *Locusta migratoria*

Les résultats des analyses physico-chimiques de la farine de *Schistocerca gregaria* et *Locusta migratoria* sont représentés dans le tableau 4.

**Tableau n° 4:** Résultats des analyses physico-chimiques de la farine des criquets *Schistocerc gregaria* et *Locusta migratoria*

Paramètres	<i>Schistocerca gregaria</i>	<i>Locusta migratoria</i>	Unité
pH à 25°C	5.74	5.65	-
Extrait sec total	92.9	93.05	%
Humidité	7.10	6.95	
Protéines	10.9	20.39	
Matière grasse	12.0	14.1	
Sucres totaux	0.05	0.05	
Fibres	6.0	5.05	
Cendres	7.35	6.00	
Calcium	0.10	823.0	PPM
Fer	127.0	21.0	
Zinc	227.0	242.0	
Phosphore	35.24	44.38	
Potassium	1.42	1.79	
Magnésium	76.0	200.0	
Manganèse	0.00	0.00	

D'après les résultats de la caractérisation physicochimique des farines de *S. gregaria* et *L. migratoria* nous constatons que :

-Les résultats de pH ont montré que les deux farines ont un pH plus ou moins acide qui est de l'ordre de 5.74 pour *S. gregaria* et 5,65 pour *L. migratoria*.

-Les teneurs en eau de la farine de *S. gregaria* et de *L. migratoria* sont respectivement de 7.10 % et 6.95 %. Donc, les deux farines issues de criquets séchés sont pauvres en eau et presque la totalité de du poids est constitué par la matière sèche (92.9 % pour *Schistocerca gregaria* et

93.05 % pour *locusta migratoria*). Le séchage doit être encore prolongé pour réduire le taux d'eau dans les farines.

- La teneur en protéines est très faible pour les deux espèces. La teneur en protéine pour *L. migratoria* (20.39%) est supérieure à celle de *S. gregaria* estimée à 10.9%.

- Les résultats obtenus montrent que la farine du criquet contient également une faible teneur en matière grasse. Les taux des matières grasses de *S. gregaria* et de *L. migratoria* sont respectivement de 12.0 % et 14.2 %.

- Les résultats illustrés dans Tableau 4, indiquent la faible teneur en sucre que contient la farine de *S. gregaria* et de *L. migratoria* (0.05%).

- la teneur en fibres alimentaires de *S. gregaria* (6.0 %) est plus élevée que celle de *L. migratoria* (5.05%). Pour les cendres, on note une teneur égale à 7.35% pour *S. gregaria* et 6.0 % pour *L. migratoria*.

- D'après nos résultats, la composition des constituants minéraux varie selon l'espèce, chez *S. gregaria* par exemple nous avons trouvé que la farine est riche en fer (127 ppm) et en Zinc (227 ppm). Le calcium, le phosphore, le potassium et le magnésium sont présents mais avec des faibles doses. Par contre chez *L. migratoria*, on a trouvé que la teneur en calcium est très élevée (823 ppm) suivie par le zinc (242 ppm) et le magnésium (200 ppm).

**III.2. Résultats des analyses physico-chimiques de la farine de *Hermetia illucens***

Les résultats des analyses physicochimiques de la farine *Hermetia illucens* sont consignés sur

Paramètres	Résultats	Unité	Méthode
pH à 25°C	7.95	-	PH mètre
Extrait sec total	97.9	%	ISO662
Humidité	2.10		ISO662
Protéines	9.74		KJELDAHL
Matière grasse	25.35		ISO8851-3
Sucres totaux	0.07		BERTRAND
Fibres	1.5		Gravimetrie
Cendres	1.95		Raoui le coq
Fer	25.0		
Zinc	93.0		
Phosphore	19.8		
Magnésium	244		

le tableau 5.

**Tableau n° 5:** Résultats des analyses physico-chimiques de la farine de *Hermetia illucens*

-Les résultats des analyses physicochimiques de la farine de *Hermetia illucens* regroupés dans le tableau 5 montrent un pH proche de la neutralité (7.95).

- la teneur en eau de la farine des larves de *Hermetia illucens* est de 2.10 %. Cela signifie que la farine est pauvre en eau et presque la totalité de leur poids est constitué par la matière sèche (97.9 %). Ce qui explique aussi le bon séchage des larves de la mouche soldat.

- En ce qui concerne la teneur en protéines, Les résultats obtenus montrent que la farine des larves de la mouche soldat noire contient un teneur très faible de protéines qui est de 9.74 %. Il en de même pour la matière grasse, dont le taux de matière grasse d' *Hermetia illucens* est de 25.35 %.

- Les résultats illustrés dans Tableau 5, indique la pauvreté de la farine de la mouche en sucres totaux et en fibre (0.07%,1.5% respectivement).

-La farine de *Hermetia illucens* est contient également un teneur très faible en cendre dont la valeur est de 1.95%. Cette farines contient évidemment moins de minéraux que celle qui des criquets. La teneur en calcium est très faible dans la farine de la mouche (3.96 ppm). Les teneurs en fer, zinc, phosphore et potassium sont aussi faibles (25.0 ppm, 93.0 ppm, 19.8 ppm et 1.89 ppm). Par contre le magnésium présente une teneur élevée (244 ppm).

### III.3. Résultats de l'analyse microbiologique de la farine de *Locusta migratoria*, *Schistocerca gregaria* et *Hermetia illucens*

Les analyses microbiologiques permettent de mettre en évidence et de quantifier les germes (bactéries, moisissures). Il est important de connaître la charge microbienne des aliments. Le Tableau 6 présente la qualité microbiologique des différentes farines (*Locusta migratoria*, *Schistocerca gregaria* et *Hermetia illucens*).

**Tableau n° 6 :** Résultats des analyses microbiologiques des farines issues de séchage des criquets et de la mouche soldat noir.

Germes recherchés	Résultats			Interprétation
	<i>Hermetia illucens</i>	<i>Locusta migratoria</i>	<i>Schistocerca gregaria</i>	
Flore mésophile bactérie totale (FMAT)	02	10	Absence	Satisfaisante

<i>Staphylococcus aureus</i>	Absence	Absence	Absence	Conforme
Coliforme totaux	Absence	Absence	Absence	Conforme
Coliforme fécaux	Absence	Absence	Absence	Conforme
Salmonelles	Absence	Absence	Absence	Conforme
Anaérobie sulfite - réducteur	Absence	Absence	Absence	Conforme
Moisissures	04	Absence	Absence	Conforme
Levures	Absence	Absence	Absence	Conforme
Listeria	Absence	Absence	Absence	Conforme
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Absence	Absence	Absence	Conforme

Les résultats obtenus pour les analyses microbiologiques des trois échantillons de farines d'insectes montrent :

- Une absence totale des germes pathogènes : *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *salmonella*, *Clostridium sulfite-réducteur*, *Listeria* et *Pseudomonas aeruginosa*.

- La lecture des résultats des germes aérobies mésophiles totaux, montrent une valeur de 2 pour *Hermetia illucens* et une valeur de 10 pour *Locusta migratoria*. Par contre, chez *Schistocerca gregaria* les résultats montrent une absence totale de ces germes.

- Nos analyses microbiologiques de la farine des insectes pour les trois échantillons ont montré également une absence totale des coliformes totaux et coliformes fécaux.

- En ce qui concerne les Moisissures, la farine issue des larves de *Hermetia illucens* présente une quantité minimale des Moisissures. Ces dernières sont absentes chez les deux autres farines. Les levures sont absentes chez les trois espèces d'insectes.

- D'après les résultats affichés dans le Tableau 6 on remarque une absence totale des germes pathogènes incriminés dans les intoxications alimentaires, à savoir les levures, les moisissures, les coliformes totaux et fécaux, *Staphylococcus Aureus*, *Salmonella*, *Escherichia Coli*. Ces résultats obtenus montrent que nos farines d'insectes sont de qualité microbiologique satisfaisante concernant tous les germes recherchés et ceci conformément aux normes du journal officiel de la République algérienne. On peut déduire également que ces trois échantillons de farines semblent être de bonne qualité microbiologique et ne sont pas contaminés au cours des différents processus de séchage et de stockage. Donc l'incorporation de ces farines dans des formulations alimentaires animales ne représente aucun risque pour les animaux. Cette absence totale des germes est probablement due au protocole suivi pendant le séchage et le stockage des insectes.

### III.4. Discussion

- **Analyses physico-chimiques de la farine des criquets : *Schistocerca gregaria* et *Locusta migratoria***

Les propriétés physicochimiques et nutritionnelles d'un produit font référence à son pH, sa teneur en lipides, protéines, en cendres, en fibres de ses constituants en éléments nutritifs (Van Huis et Tomberlin, 2017). Nous avons déterminé toutes ces propriétés sus mentionnées.

Les résultats des analyses physicochimiques effectuées sur les deux espèces de criquets montrent que les deux farines ont un pH plus ou moins acide qui est de l'ordre de 5.74 pour *S. gregaria* et 5,65 pour *L. migratoria*. De plus, les taux de matières sèches sont très élevés pour les deux farines (92.9 %) et (93.05%). Donc, ils sont semblables à celles de la farine de poisson couramment consommés par les poissons et les volailles. Selon (Christine *et al.*, 2017), Les teneurs moyennes en matière sèche pour la farine de poissons varient entre 90 % à 92.8 %). Nos résultats sont proches de ceux trouvés par Young kim *et al.* (2020). En effet, ces auteurs ont noté une teneur en eau de 3,8% sur *L. migratoria*. En général, la teneur en eau des insectes est faible, ce qui est avantageux pour leur conservation (Desrosier, 2014). La connaissance de la teneur en eau des farines est déterminante pour leur bonne conservation en raison de leur hygroscopicité, où il est nécessaire de l'abaisser jusqu'à 14 %, 12 % selon les utilisations (Colas, 1998).

En ce qui concerne les taux de protéines déterminés pour *L. migratoria* et *S. gregaria* sont respectivement de 20.39% et 10.9%. La teneur en protéines de *L. migratoria* est supérieure à celle de *S. gregaria*. Nos résultats sont très loin de ceux trouvés par les auteurs tel que Finke *et al.* 1989 et Ayieko *et al.*, (2016)) obtenaient quant à eux, 61,5-78,0% de protéines brutes dans des farines de criquets.. Ceci est du vraisemblablement au stade de sacrifice de nos criquets qu'a été fait à un stade juvénile précoce. Anand *et al.*, (2008) notent que le criquet pèlerin et sautereaux peuvent contenir jusqu'à plus de 50% de protéines. En outre, les résultats révèlent que les taux de protéines des deux espèces sont plus faibles que ceux enregistrés dans certains aliments classiques considérés comme sources de protéines pour l'alimentation animale tel que la farine du poisson et de soja.

Contrairement aux résultats obtenus, (Rumpold et Schlüter, 2012) notent que Les insectes en tant qu'aliments sont également utilisés sous forme de farines pour nourrir les élevages

d'espèces monogastriques (volailles et de porcs) ainsi qu'en pisciculture. Ces farines sont riches en protéines et sont équivalentes voire supérieures aux farines végétales, notamment la farine de soja (Rumpold et Schlüter, 2012). Pour 100 grammes de matière sèche, la farine d'insecte apporte 58,3% de protéines, comparé à la farine de soja qui n'en apporte que 46,8% (Wang et al, 2005 ; Anand et al, 2008).

La teneur en protéines des insectes varie fortement en fonction des espèces. Il dépend aussi de l'alimentation fournie aux insectes (légumes, céréales ou déchets) (Oibiokpa et al., 2018), Gandemer et Duchène (2015) remarquent que, les sauterelles qui sont nourries avec du son qui contient de fortes teneurs en acides gras essentiels, ont une teneur en protéines presque deux fois plus forte que celles nourries au maïs. La teneur en protéines des insectes dépend aussi de leur stade de développement. Les adultes ont en général une teneur en protéines plus élevée que celle des stades larvaires (Ademolu et al., 2010).

Les analyses réalisées sur la teneur en matière grasse indiquent également que le contenu de cet élément est relativement faible. Les taux des matières grasses de *L. migratoria* et de *S. gregaria* sont respectivement de 14.1% et 12%. Nos résultats n'accordent pas à ceux avancés par Abd-El Wahed et Abeer (2019). En effet, ces auteurs ont trouvé une teneur de 28,82 pour *Schistocerca gregaria*. Finke et al. (1989) obtenaient quant à eux, 33% de matière grasse dans des farines de criquets.

La teneur en cendres de *L. migratoria* est de 6 % et celle de *S. gregaria* est de 7.35 %. Comparativement aux résultats des autres auteurs, il apparaît que nos résultats sont supérieurs par rapport aux résultats de Zielinska et al. (2015) sur *Schistocerca gregaria* qui était de 3,33 % En effet, le taux de cendres nous renseigne sur la quantité totale en sels minéraux présents dans un échantillon de la farine. Chez *S. gregaria* par exemple nous avons trouvé que la farine est riche en fer (127 ppm) et en Zinc (227 ppm). La teneur en éléments minéraux est importante chez les insectes qui sont indéniablement des sources riches en fer (Badanaro et al. 2016 ; Ssepuuya et al. 2016 ; Kim et al. 2016). La plupart des insectes comestibles se targuent de teneurs en fer équivalentes ou supérieures à celles du bœuf (Bukkens 2005).

La teneur en fibres alimentaires de *S. gregaria* (6 %) est relativement un peu élevée que celle de *L. migratoria* (05 %). La présence des fibres brutes dans ces insectes est due à la présence de la chitine. La forme la plus courante de fibres chez les insectes est la chitine, une fibre

insoluble issue de l'exosquelette (Thomas, 2003). Il en est de même pour les glucides. Les teneurs en glucides de *S. gregaria* et de *L. migratoria* sont de 0.05 %. Ces résultats sont comparables à ceux obtenus par (Elagba, 2015).

- **Analyses physico-chimiques de la farine de *Hermetia illucens***

Les résultats des analyses physicochimiques effectuées sur la farine des larves de *Hermetia illucens* montrent une teneur en eau de 2.10 %. Ces résultats sont en accord avec ceux trouvés par M'ballou, (2019). La teneur en protéines trouvée chez la mouche soldat noire est très faible, elle est de 9.74 %. Il en est de même pour les glucides (0.07 %), les fibres alimentaires (1.5%) la matière grasse (20.35 %) et les cendres (1.95 %). Nos résultats n'accordent pas aux résultats des autres auteurs. Rumpold et Schlüter (2013) montrent que le taux en protéines chez les larves de la mouche soldat est généralement élevée, supérieur à 60 %. Certaines espèces ont une concentration supérieure à 75 % (Zielińska et al. 2015). Nzamujo (1999) indique que le taux de minéraux déterminé est de 9,10% de matières sèches. (Li et al., 2006) ajoute que les insectes sont une source abondante de lipides et spécialement d'acides gras à longues chaînes comme les oméga 3. Ces résultats et contrairement à nos résultats sont comparables à ceux obtenus avec la farine de viande, la farine de poisson et le tourteau de soja qui sont les protéines habituellement utilisées dans l'alimentation du bétail, de la volaille ou du poisson (Lowe et al 1985 ; Tiemoko et Tawfik, 1989). La faible teneur en protéine, lipides et les oligoéléments de nos échantillons est due à plusieurs facteurs parmi eux, l'alimentation fournie aux marves et le stade de sacrifice des larves

D'après Bukkens, (1997, 2005), les insectes offrent une quantité de protéines à l'état cru très élevée, allant jusqu'à une concentration de 60% voire supérieure. Par ailleurs, celle-ci dépend du stade de métamorphose. En effet, un adulte aura tendance à contenir davantage de protéines qu'aux stades précédents (Ademolu et al., 2010). Plusieurs études, dont celle réalisée par Alibas et al.,(2005), ont montré que le séchage influence les caractéristiques qualitatives et causes des changements chimiques, comme les réactions enzymatiques, le brunissement non enzymatique, l'oxydation des lipides, de la couleur. Ces changements indésirables peuvent aboutir à une diminution de la qualité nutritionnelle et physicochimique, de même qu'à la valeur commerciale des insectes séchés. Donc, le choix de bonnes conditions de séchage afin d'optimiser le procédé est primordial pour réduire le risque de détérioration de la qualité des farines d'insectes tout en conservant les qualités des nutriments essentiels dans le produit déshydraté (Ratti, 2001; Alibas et al., 2005). Il faut toutefois nuancer que la

composition nutritionnelle des insectes, dépend du stade de développement de celui-ci et de la nourriture qu'il a ingéré (Roos, 2012).

- **Analyse microbiologique de la farine de *Locusta migratoria*, *Schistocerca gregaria* et *Hermetia illucens***

Les résultats obtenus après les analyses microbiologique pour les trois échantillons de farines d'insectes montrent une absence totale des germes pathogènes tel que *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *salmonella*, *Clostridium sulfito-réducteur*, *Listeri* et *Pseudomonas aeruginosa*.

Les germes aérobies mésophiles totaux, les coliformes totaux et coliformes fécaux, les moisissures et levures sont également absents chez les trois farines. Cette faible charge microbienne pourrait s'expliquer par le faible taux d'humidité dû à un séchage préalable des farine utilisées (Niaba et al., 2014 ; Sika et al., 2019).

Ces résultats pourraient traduire le respect des bonnes pratiques d'hygiène au cours de la préparation des farines. Nos résultats confirment ceux trouvés par Klunder et al. (2012) in (Grabowski, 2017) qui ont montré une absence totale de germes pathogènes sur une farine des larves de *Tenebrio molitor* séchés et deux espèces de criquets. Les résultats obtenus dans le présent travail sont inférieurs à ceux trouvés par Grabowski et al. (2016), sur l'espèce *T. molitor*.

---

# **Conclusion et perspectives**

## Conclusion et perspectives

Au terme de ce travail dont l'objectif général était d'évaluer le potentiel des insectes comestibles et les opportunités de leur valorisation dans l'alimentation des animaux d'aquaculture, aviculture en Algérie, Les conclusions suivantes ont été faites sur les analyses physicochimiques et microbiologiques des farines des trois espèces d'insectes étudiées :

Les résultats des analyses physicochimiques effectuées sur les trois farine d'insectes (*Locusta migratoria*, *Schistocerca gregaria* et *Hermetia illucens*) montrent des teneurs très faibles en protéines, en glucides, en fibres alimentaires, de matière grasse et en cendres. Nos résultats n'accordent pas aux résultats des auteurs. Quelques publications consultées dans le cadre de ce travail mentionnent que les insectes comestibles sont une importante source de protéines animales pouvant valablement remplacer ou compléter les sources de protéines utilisés pour l'alimentation animale (volailles et poissons). Ces études montrent également que les propriétés physicochimiques, nutritionnelles et microbiologiques des farines des insectes dépendent de l'espèce, de leur stade de développement et de l'alimentation fournie aux insectes. Il en ressort également que le séchage influence les caractéristiques qualitatives et causes des changements chimiques de la farine. Suite à cela, nous pouvons conclure que : Les faibles teneurs en nutriments (protéines, lipides, sucres...) de nos farines peuvent être due aux conditions de séchage suivi lors de la préparation de la farine ou bien au mauvais choix du stade de développement.

Le contrôle microbiologique des échantillons analysés a montré qu'ils sont de bonne qualité microbiologique vu l'absence de *Salmonelle*, *Escherichia coli*, *Listeria*, *Staphylococcus aureus*, *Clostridium sulfito-réducteur* ainsi que le faible nombre des autres germes (les valeurs ne dépasse pas les normes).

Sur le plan nutritionnel, les farines d'insectes utilisées dans ce projet semblent être produites dans des conditions non acceptables. Néanmoins il serait important de faire d'autres études pour déterminer les teneurs juste en nutriments de ces farines pour assurer que le produit obtenu soit de qualité.

- Il serait aussi intéressant de formuler des aliments à base d'insectes pour l'alimentation animale.
- Lors de nos travaux, nous n'avons pas pu catégoriser les acides gras et acides aminés contenus dans les différents échantillons. Quantifier ces éléments dans chaque échantillon permettra de mieux comprendre leurs apports dans la diète des animaux nourris.

# **Références bibliographiques**

- **Ademolu, K.O., Idowu, A.B. et Olatunde, G.O., 2010.** Nutritional value assessment of variegated grasshopper, *Zonocerus variegatus* (L.) (Acridoidea: Pygomorphidae), during post-embryonic development. *African Entomology*, 18(2): 360–364.
- **Akhtar Y. and Isman M. B., 2018.** Insects as an alternative protein source. Ed. Elsevier, Canada, 288 p.
- **-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.
- **-Anand, H., Ganguly, A. & Haldar, P., 2008.** Potential value of acridids as high protein supplement for poultry feed. *Int. J. Poult. Sci.* 7, 722–725.
- **-Aniebo, A.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.
- **-Barroso, F.G., de Haro, C., Sánchez-Muros, M.-J., Venegas, E., Martínez-**
- **Bednářová M., Borkovcová M., Mlček J., Rop O. and Zeman L., 2013.** Edible Insects-Species suitable for entomophagy under condition of Czech Republic. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 61(3): 587-593.
- **Bornemissza, G.F.** 1976. The Australian Dung Beetle Project 1965–1975. *Australian Meat Research Committee Review*, 30: 1–30.
- **Bukkens, S.G.F., 1997.** The nutritional of edible insects. *Ecology of Food and Nutrition*, 36: 287–31.
- **Bukkens, S.G.F. et Paoletti, M.G., 2005.** Insects in the human diet: nutritional aspects. *Ecological Implications of Mini livestock: Potential of Insects, Rodents, Frogs, and Snails*, Wyd. *Science Publishers Inc., Enfield*, pp. 545–577.
- **-Beaumont A. et Cassier P., 2009.** Travaux pratique de biologie animale : zoologie, embryologie, histologie. Dunod, Paris, 502p.
- **-Belluco S, Losasso C, Maggioletti M, Alonzi CC, Paoletti MG, Ricci A., 2013.** Edible insects in a food safety and nutritional perspective: A critical review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 12:296–313.
- **-Brah, N., Issa, S. & Houndonougbo, F.M., 2017.** Effect of grasshopper meal on laying hens' performance and eggs quality characteristics. *Indian J. Anim. Sci.* 87, 1005–1010.
- **-Bruno D., 2006.** Le temps des insectes, *Insectes*, n° 142, 15 p.

- **-Bukkens, S.G.F. 2005.** Insects in the human diet: nutritional aspects. *In* M.G. Paoletti, ed. *Ecological implications of minilivestock; role of rodents, frogs, snails, and insects for sustainable development*, pp. 545–577. New Hampshire, Science Publishers.
- **-Burtle, G., Newton, G.L., Sheppard, D.C. et Campus, T., 2012.** Mass Production of Black Soldier Fly Prepupae for Aquaculture Diets. A Manuscript for Aquaculture International. University of Georgia, Tifton Campus, Tifton, GA.
- **-Cabrera, P., Hénault-Ethier, L., Lefebvre, B., et Tchuam-Tchouwo, A. 2015.** La faisabilité des élevages d’insectes pour la consommation humaine ou animale en milieu urbain, Université de Montréal, Québec, 25 : 1-50.
- **-Cashion, T., Le Manach, F., Dirk Zeller, D. & Pauly, D., 2017.** Most fish destined for fishmeal production are food-grade fish. *Fish and Fisheries*. Vol.18, Issue 5, Sept 2017; pp. 837-844.
- **-Chapman R. F., 1998.** The Insects; Structure and Function, 4th Edition. Cambridge University Press, 199p.
- **-Collavo, A., Glew, R.H., Huang, Y.S., Chuang, L.T., Bosse, R. & Paoletti, M.G., 2005.** House cricket small-scale farming. *In* M.G. Paoletti, ed., *Ecological implications of minilivestock: potential of insects, rodents, frogs and snails*. pp. 519–544. New Hampshire, Science Publishers
- **-Cortes Ortiz J. A., Ruiz A.T., Morales-Ramos, J.A., Thomas, M., Rojas, M.G.,**
- **Chen, X., Feng, Y. & Chen, Z. 2009.** Common edible insects and their utilization in China. *Entomological Research*, 39(5): 299–303
- **Chopard L., 1943.** Orthoptéroïdes de l’Afrique du Nord. Faune de l’empire français 1. Librairie Larose, Paris, 450p.
- **Christophe B., 2016.** Secrets d’insectes : 1001 curiosités du peuple à 6 pattes, Éditions Quae, p. 24.
- **De Castro R. J. S., Ohara A., Aguilar J. G., dos S. and Domingues M. A. F., 2018.** Nutritional, functional and biological properties of insect proteins: Processes for obtaining, consumption and future challenges. *Trends in Food Science and Technology*, 76: 82-89.
- **Dirsh V.M. et Descamps M., 1968.** Insectes Orthoptères Acridoidea, Faune de Madagascar, Paris, 26 : 312 p.
- **Dussault, M., 2017.** Étude de faisabilité du déploiement de l’industrie des insectes destinés à la consommation humaine au Québec. Essai de maîtrise. Université de Sherbrooke.

- **-Dajoz, R., 2006.** Précis d'Ecologie. 8e édition, Dunod. Paris.
- **-DeFoliart, G, 2003.** Insects as food. Encyclopedia of Insect. 431-436. Resh, VH et Cardé, RT, Academic Press.
- **-Diener, S., Zurbrügg, C., Gutiérrez, F. R., Nguyen, D. H., Morel, A., Koottatep, T., et Tockner, K., 2011.** Black soldier fly larvae for organic waste treatment prospects and constraints. *Proceedings of the Waste Safe, 2011*, 2e édition.
- **-DIETOA, Y.M., 2002.** Entomofaune et stratégies alimentaires des poissons du genre *Brycinus* (Characidae) en milieux fluviaux et lacustres (bassins Bia et Agnèbi; Côte d'Ivoire). Thèse de doctorat de l'Université d'Abobo-Adjamé, Côte d'Ivoire, 264 pp.
- **-Douglas, H., 2001.** www.Online Etymology Dictionary, Custom logo Design by LogoBee.com, web page design by Dan McCormack.
- **-Duranton J F., Launois M., Launois-Luong M. H. et Lecoq M., 1982.** Manuel de prospection acridienne en zone tropicale sèche. Ed. CIRAD / PRIFAS, G.E.R.D.A.T, Paris, 695 p.
- **-Duranton J. F. et Lecoq M., 1990.** Criquet pèlerin au Sahel. Ed. Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), Montpellier, 183 p.
- **-El Boushy, A.R.,1991.** House-fly pupae as poultry manure converters for animal feed: a review. *Bioresour. Technol.* 38, 45–49.
- **-Emond, C., 2017.** Quel insecte choisir pour démarrer un élevage: Comparaison des insectes les plus populaires en entomoculture, sur <https://innovationsvertes.com/2017/01/19/quel-insecte-choisir-pour-demarrer-unelevage-comparaison-des-insectes-les-plus-populaires-en-entomoculture/>
- **-Enterra Feed Corporation., 2017.** Enterra received CFIA approval to sell insect larvae to aquaculture industry. Enterra Feed Corporation, Langley, Canada. Available at: <https://tinyurl.com/ycaqlzko>.
- **-El Boushy, A.R.,1991.** House-fly pupae as poultry manure converters for animal feed: a review. *Bioresour. Technol.* 38, 45–49.
- **-Emond, C., 2017.** Quel insecte choisir pour démarrer un élevage: Comparaison des insectes les plus populaires en entomoculture, sur <https://innovationsvertes.com/2017/01/19/quel-insecte-choisir-pour-demarrer-unelevage-comparaison-des-insectes-les-plus-populaires-en-entomoculture/>

- **-Enterra Feed Corporation., 2017.** Enterra received CFIA approval to sell insect larvae to aquaculture industry. Enterra Feed Corporation, Langley, Canada. Available at: <https://tinyurl.com/ycaqlzko>.
- **-FAO (Ed.),2013.** Food systems for better nutrition. , The state of food and agriculture. Rome.
- **-FAO., 2012.** *State of the world fisheries.* Rome.
- **FAO.,2009.** Available from: [http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert\\_paper/How\\_to\\_Feed\\_the\\_World\\_in\\_2050.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf).
- **FAO., 2009.** *Biodiversity and nutrition, a common path.* Rome.
- **FAO.,2011.** *Selling street and snack foods.* Rome
- **Finke, M. D.,2013.** Complete nutrient content of four species of feeder insects. *Zoo biol*, 32(1), 27-36.
- **-FAO (Ed.),2013.** Food systems for better nutrition. , The state of food and agriculture. Rome.
- **-FAO., 2012.** *State of the world fisheries.* Rome.
- **FAO.,2009.** Available from: [http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert\\_paper/How\\_to\\_Feed\\_the\\_World\\_in\\_2050.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf).
- **Gahukar, R.T.,2011.** Entomophagy and human food security. *International Journal of Tropical Insect Science*, 31(3), 129–144. Dans: Insect as sustainable food ingredients: Production, processing and applications, Academic Press, London, United Kingdom..
- **Godfray, H.C.J. 1994.** *Parasitoids: behavioural and evolutionary ecology.* Princeton, USA, Princeton University Press.
- **Harz K., 1975.** Die Orthopteren Europas II - The Orthoptera of Europe II Series *Entomologica*, 11: 1-939.
- **Hénault-Ethier, L., 2017.** Les insectes dans l'alimentation humaine et animale. Événement Les insectes à la rescousse. Maison du Développement durable, Montréal, Canada. 5 décembre 2017. (Conférence).
- **Ingram, M., Nabhan, G.P. et Buchmann, S. L. 1996.** Our forgotten pollinators: protecting the birds and bees. *Global Pesticide Campaigner*, 6(4): 1–12.
- **-Johnson N.F et Triplehorn C A., 2004,** Borror and Delong's Introduction to the study of insects - 7th edition, Brooks Cole, 888 p.

- **-Johnson N.F et Triplehorn C A., 2004**, Borror and Delong's Introduction to the study of insects - 7th edition, Brooks Cole, 888 p.
- **Johnson N.F et Triplehorn C A., 2004**, Borror and Delong's Introduction to the study of insects - 7th edition, Brooks Cole, 888 p.
- **-Kinyuru, J.N., Kenji, G.M. & Muhoho, S.N.**
- **-Kinyuru, J.N., Kenji, G.M. & Muhoho, S.N. 2010.** Nutritional potential of longhorn grasshopper (*Ruspolia differens*) consumed in Siaya District, Kenya. *Journal of Agriculture, Science and Technology*, 12(1): 1–24.
- **-Kok, R., 2012.** Food Security Through Entotechnology. Conference paper. 5 p. Premier congrès international sur l'entomophagie en Amérique du Nord. Montréal. Innovation alimentaire : l'entomophagie à travers l'art, la culture, la science et les affaires. Espace pour la vie. Montréal.
- **-Launois-luong M.H. et Lecoq M., 1993.** Manuel explicatif du code OMM de transmission des informations sur les criquets ravageurs. Ed. Org. Météo.Mond. et Org. Islam. Educ. Cult., Genève,30 p.
- **-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.
- **-Leraut, P., 2002.** Contribution à l'étude des pyralinea (lepidoptera,paralidea). *Revue française d'entomologie (N.S)*.24 (2) : 97.108.
- **-Makkar, H.P., Tran, G., Heuzé, V. et Ankers, P.,2014.** State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Anim. Feed Sci. Technol.* 197, 1–33.
- **-Martinez M et Gauvrit B., 1997,** Combien y a-t-il d'espèces d'Insectes en France ? *Bull. Soc. Ent. Fr.*, 102, p. 333 – 344.
- **-Maurer, V., Holinger, M., Amsler, Z., Früh, B., Wohlfahrt, J., Stamer, A., & Leiber, F., 2015.** Replacement of soybean cake by *Hermetia illucens* meal in diets for layers. In *Journal of Insects as Food and Feed*, 2015; 1(1), pp. 7-16.
- **-Maurice R., 1974.** *Initiation à la morphologie, la systématique et la biologie des Insectes*, Paris, (ORSTOM), n° 23, 213 p.
- **2010.** Nutritional potential of longhorn grasshopper (*Ruspolia differens*) consumed in Siaya District, Kenya. *Journal of Agriculture, Science and Technology*, 12(1): 1–24.

- **-Launois-luong M.H. et Lecoq M., 1993.** Manuel explicatif du code OMM de transmission des informations sur les criquets ravageurs. Ed. Org. Météo.Mond. et Org. Islam. Educ. Cult., Genève,30 p.
- **-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.
- **-Leraut, P., 2002.** Contribution à l'étude des pyralinea (lepidoptera,paralidea). *Revue française d'entomologie (N.S)*.24 (2) : 97.108
- **Laroche M., Perreault V., Marciniak A., Gravel A., Chamberland J. and Doyen A., 2019.** Comparison of Conventional and Sustainable Lipid Extraction Methods for the Production of Oil and Protein Isolate from Edible Insect Meal. *Foods*, 8 (11), 572 p.
- **Lecoq M., 1991.** Le criquet migrateur en Afrique et à Madagascar. Cirad-Prifas, Montpellier, 31p.
- **Lecoq, M. et Mistre, J., 1988.**La surveillance des sauteriaux du Sahel. Collection d'Acridologie opérationnelle n°2, CIRAD, Montpellier, 62 pp.
- **Leiber, F., 2015.**Replacement of soybean cake by *Hermetia illucens* meal in diets for layers. In *Journal of Insects as Food and Feed*, 2015; 1(1), pp. 7-16. **P.,2014.** State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Anim. Feed Sci. Technol.* 197, 1–33..
- **-Makkar, H.P., Tran, G., Heuzé, V. et Ankers, .**
- **-Martinez M et Gauvrit B., 1997,** Combien y a-t-il d'espèces d'Insectes en France ? *Bull. Soc. Ent. Fr.*, 102, p. 333 – 344.
- **-Maurer, V., Holinger, M., Amsler, Z., Früh, B., Wohlfahrt, J., Stamer, A., &**
- **-Makkar, H.P., Tran, G., Heuzé, V. et Ankers, P.,2014.** State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Anim. Feed Sci. Technol.* 197, 1–33.
- **-Maurer, V., Holinger, M., Amsler, Z., Früh, B., Wohlfahrt, J., Stamer, A., & Leiber, F., 2015.**Replacement of soybean cake by *Hermetia illucens* meal in diets for layers. In *Journal of Insects as Food and Feed*, 2015; 1(1), pp. 7-16.
- **Masson M., 1989.**Locustes et sautériaux : Le criquet migrateur africain : biologie et lutte, Bayer, Hevertusen, 39p.
- **-Maurice R., 1974.** *Initiation à la morphologie, la systématique et la biologie des Insectes*, Paris, (ORSTOM), n° 23, 213 p.

- **-Myers, H.M., Tomberlin J.K., Lambert, B.D. et David, K., 2008.** Development of black soldier fly (*Diptera: Stratiomyidae*) larvae fed dairy manure. *Environmental Entomology*. 37: 11-15. .
- **-Ncobela, C.N. et Chimonyo, M., 2015.** Potential of using non-conventional animal protein sources for sustainable intensification of scavenging village chickens: A review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 208, 1–11.
- **-Newton, G.L., Sheppard, D.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. *Animal and Poultry Waste Management Center*, North Carolina State University, Raleigh, NC, 1-17.
- **-Norman F, Johnson et Charles A., 2004.** *Introduction to the Study of Insects 7th*, Brooks/Cole, 888 p.
- **Nakagaki, B.J. & De Foliart, G.R., 1991.** Comparison of diets for mass-rearing *Acheta domesticus* (Orthoptera: Gryllidae) as a novelty food, and comparison of food conversion efficiency with values reported for livestock. *Journal of Economic Entomology*, 84(3):891–896.
- **Nguyen, T.T.X., Tomberlin, J.K., et VanLaerhoven, S.L., 2013.** Influences of resources on *Hermetia illucens* (*Diptera: Stratiomyidae*) larval development. *Journal of Medical Entomology*. 50, 898–906
- **Oonincx, D.G.A.B. & de Boer, I.J.M., 2012.** Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans: a life cycle assessment. *PLoS ONE*, 7(12): e51145.
- **-Paulian, R et Moreau A., 1990.** Atlas des larves d'insectes de France: vers blancs, chenilles, asticots (Vol. 10). Editions Boubée.
- **-Payne C. L. R., Scarborough P., Rayner M. and Nonaka K., 2016.** Are edible insects more or less 'healthy' than commonly consumed meats? A comparison using two nutrient profiling models developed to combat over- and under nutrition. *European Journal of Clinical Nutrition*, 70: 285-291.
- **-Planella, F. P., 2014.** Alternatives to traditional protein sources, Espagne, *Professionnal Pig community*, 1-8.
- **Pimentel, D., 2004.** Water resources: agricultural and environmental issues. *BioScience*, 54: 909–918.
- **Popov G.B et Launois-luong M.H et Van der wellJ., 1990.** les oothèques des criquets du sahel. Ed.cirad-prifas, coll .Acrid .n°7. Pays-Bas, 92 P.

- **-Ramos Elorduy, J.** 2009. Anthro-entomophagy: cultures, evolution and sustainability. (Special issue: trends on the edible insects in Korea and abroad). *Entomological Research*, 39: 5: 271–288.
- **-Raubenheimer D, Rothman JM.,2013.** Nutritional ecology of entomophagy in humans and other primates. *Annual Review of Entomology*. 58:141–160.
- **-Robert P.A., 1972.** Les insectes 1-Aptères, Archiptères, Orthoptères, Coléoptères, Névroptères, Delachaux et Neistle. Coll. Les Beautés de la Nature Suisse, 170p.
- **-Rumpold B, Schlüter O.,2013.** Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition & Food Research*. 57:802–823.
- **-Rutaisire, J., 2007.** Analysis of feeds and fertilizers for sustainable aquaculture development in Uganda. *In* M.R. Hasan, T. Hecht, S.S. De Silva et A.G.J. Tacon, eds. *Study and analysis of feeds and fertilizers for sustainable aquaculture development*, pp. 471–488. Rome, FAO.
- **Ramos-Elorduy J., 1997.** Insects: à sustainable source of food? *Ecology of Food Nutrition*. 247–276.
- **Ramos-Elorduy J., 2008.** Energy supplied by edible insects from Mexico and their nutritional and ecological importance. *Ecology of Food and Nutrition*, 47: 280-297.
- **Rueda L M ., 2004.** Pictorial keys for the identification of mosquitoes (Diptera: Culicidae) associated with Dengue virus transmission. *Zootaxa* 589:1–60p.
- **Rumpold, B.A. et Schlüter, O.K .,2013.** Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition and Food Research*, 57(3).
- **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.
- **Schabel, H.G. 2010.** Forest insects as food: a global review. *Edible forest insects, Hum bites back*. 37-64.
- **Smil, V., 2002.** Worldwide transformation of diets, burdens of meat production and opportunities for novel food proteins. *Enzyme and Microbial Technology*, 30: 305–311.
- **Sánchez, A. et Pérez-Bañón, C. ,2014.** The potential of various insect species for use as food for fish. *Aquaculture* 422–423, 193–201.
- **-Schiavone, A., Cullere, M., De Marco, M., Meneguz, M., Biasato, I., Bergagna, S., Dezzutto, D., Gai, F., Dabbou, S., Gasco, L. et Dalle Zotte, A.,2017.** Partial or total replacement of soybean oil by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L. ) fat in broiler diets: effect on growth performances, feed-choice, blood traits, carcass characteristics and meat quality. *Ital. J. Anim. Sci.* 16, 93–100.

- **-Ssepuuya, G., Namulawa, V., Mbabazi, D., Mugerwa, S., Fuuna, P., Nampijja, Z., Ekesi, S., Fiaboe, K.K.M. et 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.
- **-Thomas, E. 2017.** Maggot Masters. *The Food Chain Podcast*. BBC World Service.
- **-Van Huis, A, 2013.**Potential of insects as food and feed in assuring food security, *Annual*.
- **-Van Huis, A. 2003.** Insects as food in Sub-Saharan Africa. *Insect Science and its Application*, 23(3): 163–185.
- **-Van huis, A., Dicke, M. et van Loon. J.J.A. 2015.** Insect to feed the world. *Journal of Insects as Food and Feed*. 1 (1): 3-5.
- **-VanHuis A.,2003.** Insects as food in Sub-SaharanAfrica. *InsectScience and Its Application*.:163–185.
- **-Vladimir, K**
- **2006.** *Eco-physiological phases of insect diapause »*, *Journal of Insect Physiology*, vol. 52, n° 2, 2006, p.113-127.
- **Van Huis, A., Van Itterbeek, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., et Vantomme, P. 2013.** *Edible insects: prospects for food and feed security* (No. 171).Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- **Van Huis, A.; Tomberlin, J.K., 2017.** *Insects as Food and Feed: From Production to Consumption*; Wageningen Academic Publishers: Wageningen, The Netherlands; p.447.
- **Womeni, H.M., Linder, M., Tiencheu, B., Mbiapo, F.T., Villeneuve, P., Fanni, J. et Parmentier, M. 2009.** Oils of insects and larvae consumed in Africa: potential sources of polyunsaturated fatty acids. *oléagineux, Corps Gras, Lipides*, 16(4): 230–235. -
- **Wang, D., Zhai, S.-W., Zhang, C.-X., Zhang, Q. et 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. and Zhiyong, C.,2010.** Review of the nutritive value of edibleinsects. *Forest insects as food: humans bite back*, proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and theirpotential for development. Bangkok, FAO Regional Office for Asia and the Pacific.

- **-Yi L, Lakemond CMM, Sagis LMC, Eisner-Schadler V, Huis AV, Boekel MAJSV. 2013.**Extraction and characterisation of protein fractions from five insect species. Food Chemistry.141:3341–3348.
- **Zielińska, E., Baraniak, B., Karaś M., Rybczyńska, K.; Jakubczyk, A.,2015.** Espèces sélectionnées d'insectes comestibles comme source de composition nutritive. Rés alimentaire,77, 460–466.

**Annexe 01 :**

**Matériel biologique**



**Criquets congelés**

**Larves de la mouche soldat noire**



**Larves de *Hermetia illucens* séchées**



## Résumé

Les insectes font partie de la nutrition naturelle de très nombreux poissons, oiseaux et mammifères, mais ils sont absents des rations alimentaires actuellement données aux animaux d'élevage.

Ils possèdent une forte teneur en protéines et des propriétés nutritives optimales pour de nombreux animaux. La présente étude vise à évaluer le potentiel que les insectes représentent pour l'alimentation animale. L'évaluation est établie sur les analyses biochimiques de quelques farines d'insectes tel que les criquets (*Locusta migratoria*, *Schistocerca gregaria*) et la mouche soldat noire *Hermetia illucens*.

Les insectes ont été élevés au laboratoire puis sacrifiés et séchés à 105 °C pour produire la farine. Les échantillons de larves broyées, puis analysés sur le plan microbiologique ainsi que pour leur teneurs en protéines brutes, en lipides bruts, l'activité de l'eau, le contenu en matières sèches, les cendres, les teneurs fibre et en sucre totaux. Nos analyses ont montré que les farines sont de qualité microbiologique satisfaisante. Pour les teneurs en protéines, lipides et autres nutriments nos farines restent pauvres sur le plan nutritionnel.

Ceci est du probablement au stade de sacrifice des nos insectes qui n'était pas le stade adéquat.

Mots-clés : insectes, *Locusta migratoria*, *Schistocerca gregaria*, *Hermetia illucens*, farines, composition biochimique, analyses microbiologiques.

## **Abstract**

Insects are part of the natural nutrition of many fish, birds and mammals, but they are absent from the food rations currently given to farm animals. They have a high protein content and optimal nutritional property for many animals. This study aims to assess the potential that insects represent for animal feed. The assessment is based on the biochemical analyzes of some insect meal such as locusts (*Locusta migratoria*, *Schistocerca gregaria*) and the black soldier fly *Hermetia illucens*. The insects were raised in several wooden cages of different sizes. Regarding breeding conditions temperatures are between 30 and 34°C. The relative humidity varies between 60 and 75%. The photoperiod is natural according to the season and no light source has been added to the breeding. Locusts are fed grass and a bran supplement, while flies are fed plant debris and a bran supplement. After a certain breeding period, they are sacrificed in the cold in a refrigerator at -20°C for 24 hours. Then they are ground using a mixer until homogeneous and fine flour is obtained. This is stored in sterile bags until further use. To produce flour, the insects were placed in a cleaned and disinfected oven at 105°C for 24 hours until their mass became constant. The ground larval samples were analyzed in the laboratory for crude protein, crude lipid, water activity, dry matter content, ash, fiber and total sugar content, our analyzes have shown that insects can very well be an alternative protein and energy solution for animal feed given their high nutritional value.

Key-word: insects, *locusta migratoria*, *schistocerca gregaria*, *Hermetia illucens*, flour, biochemical composition, breeding.

## الملخص

تعتبر الحشرات جزءاً من التغذية الطبيعية للعديد من الأسماك والطيور والثدييات، لكنها غائبة عن الحصص الغذائية التي تُعطى حالياً لحيوانات المزرعة. حيث تحتوي على نسبة عالية من البروتين وخصائص غذائية مثالية للعديد من الحيوانات. تهدف هذه الدراسة إلى تقييم الإمكانيات التي تمثلها الحشرات لتغذية الحيوانات. يعتمد التقييم على التحليلات الكيميائية الحيوية لبعض أنواع الحشرات مثل الجراد (*Schistocerca gregaria*، *Locusta migratoria*) و ذبابة الجندي الأسود *Hermetia illucens*. تربية الحشرات كانت في عدة أقفاص خشبية بأحجام مختلفة. بالنسبة لظروف التكاثر: تتراوح درجات الحرارة بين 30 و 34 درجة مئوية. تتراوح الرطوبة النسبية بين 60 و 75%. فترة الضوء طبيعية حسب الموسم ولم يتم إضافة أي مصدر ضوء للتربية. يتغذى الجراد على العشب والنخالة، بينما يتغذى الذباب على بقايا النبات ومكملات النخالة. بعد فترة تكاثر معينة. يتم التضحية بها في البرد في الثلجة عند درجة حرارة -20 درجة مئوية لمدة 24 ساعة. لإنتاج الدقيق، تم وضع الحشرات في فرن نظيف ومعقم عند 105 درجة مئوية لمدة 24 ساعة حتى تصبح كتلتها ثابتة. ثم يتم طحنهم باستخدام الخلاط حتى يتم الحصول على دقيق متجانس ودقيق. يتم تخزينها في أكياس معقمة لحين استخدامها مرة أخرى. تم تحليل عينات اليرقات المطحونة في المعمل بحثاً عن البروتين الخام، الدهون الخام، النشاط المائي، محتوى المادة الجافة، الرماد، الألياف ومحتوى السكر الكلي. أظهرت تحليلاتنا أن الحشرات يمكن أن تكون حلاً بديلاً للبروتين والطاقة لتغذية الحيوانات نظراً لقيمتها الغذائية العالية

الكلمة الرئيسية: *Hermetia illucens*، *Locusta migratoria*، *Schistocerca gregaria*، دقيق حضرات، التحليل الفيزيائي والكيميائي