



RAPPORT DE FIN DE SERVICE CIVIQUE AU Lycée  
Professionnel Agricole de Château Gontier en France

Période de mission: 10 Octobre 2017 au 10 Juillet 2018

**ETUDE DE L'UTILISATION DES LARVES D'INSECTES EN ALIMENTATION  
PISCICOLE**

**SERVICE CIVIQUE:**

**Taofic Sourou DOSSOU**

**Tuteur**

**Arnaud LEFEVRE**

## **REMERCIEMENTS**

Cette étude a été menée avec le soutien financier de l'Atelier Piscicole du Lycée Professionnel Agricole de Haut Anjou de château gontier, dans le cadre du programme de service civique.

Ce document constitue l'aboutissement d'un travail commencé en Octobre 2017. Au cours de ces 9 mois passées au sein du Laboratoire du lycée et de l'atelier piscicole du LPA, de nombreuses personnes m'ont permis de mener à bien la tâche qui m'était impartie.

Je tiens à remercier Monsieur Arnaud LEFEVRE, Directeur de l'atelier piscicole du lycée. Je lui suis reconnaissant d'avoir accepté de me confier la responsabilité de ce projet, des perspectives qu'il m'a offertes, de son soutien et de ses conseils lors de la rédaction du document. Je remercie également Sandrine MARCHANDS, Enseignante d'aquaculture au Lycée, et toute l'équipe, pour leur accueil au LPA. Je souhaite associer à ces remerciements Monsieur Paul REVOLLON, Directeur du LPA, pour l'aide et le soutien indéfectibles qu'il m'a apportés au cours des 9 mois écoulés. Je remercie vivement Françoise, Responsable du laboratoire, pour son aide dans la mise au point des modèles et dans la réalisation des travaux. Sa compétence, sa rigueur et son perfectionnisme m'ont été d'un grand secours. J'adresse également mes sincères remerciements à mon ami et collaborateurs Arsène YABI pour tout l'aide apporté

J'adresse mes remerciements chaleureux aux partenaires scientifiques du projet de recherche européen, qui directement ou indirectement, ont tous contribué à ce travail.



4.1 Enjeux environnementaux .....	22
4.2 Utilisation de l'espace par l'élevage d'insecte .....	22
4.3 Utilisation Consommation d'eau .....	23
4.4 Enjeux législatifs .....	24
4.4 La chitine .....	25
IV. CONCLUSION .....	26
RÉFÉRENCES .....	26
ANNEXES:PRODUITS VENDU A BASES D'INSECTES DANS L'ALIMENTATION HUMAINE UTILISÉS À TITRE COMPARATIF AVEC.....	26

Figure 1 échantillon des matériels utilisés .....	5
Figure 2:Produits consommables par les vers de farines et larve de mouches .....	6
Figure 3: Premier compost de larves (environ 50 pourcent de sous-produit d'origine végétale et 50 pourcent d'origine animale).....	6
Figure 4: Bacs en polystyrène pour contenir le Compost .....	6
Figure 5: Moustiquaire installé avec les bacs contenant les larves .....	6
Figure 6: Bac contenant les vers de farines.....	7
Figure 7: Photo des grillons domestique.....	7
Figure 8: ver de farine .....	7
Figure 9: mouche soldat noir.....	8
Figure 10: Stade de développement du ténébrion .....	8
Figure 12: larves de mouche soldat noir .....	8
Figure 13: Pondoires de larves de mouche soldat noir .....	9
Figure 14: Bacs des vers de farine .....	10

Tableau1: Espace requis pour la production de viande et pour la production de protéines (porc, poulet, bœuf, lait et œufs) (adapté de : de Vries et de Boer, 2010) .....	5
Tableau2:Comparaisons des de la facilité d'élevages en Afrique de l'Ouest et l'Europe .....	6

## I. Introduction

Selon les données de l'Organisation des Nations-Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), la consommation mondiale de poissons n'a cessé de croître depuis une cinquantaine d'années, et ce pas seulement sous l'effet de l'augmentation de la population mondiale. Dans son dernier rapport publié en juillet 2016, la FAO notait que pour la première fois, la consommation mondiale dépassait les 20 kilos par habitant et par an, contre 10 kilos environ en 1960. La production halieutique et aquacole mondiale est passée de moins de 40 millions de tonnes en 1960 à plus de 160 millions de tonnes aujourd'hui. Depuis une vingtaine d'années, la pêche est stable autour de 85 à 90 millions de tonnes, alors qu'à l'inverse, l'aquaculture se développe très rapidement depuis les années 1990, en particulier en Asie. Les poissons fournissent 6,7 % de l'ensemble des protéines consommés par la population mondiale, et sont recherchés pour leurs apports nutritionnels, notamment en acides gras-oméga 3, vitamines, zinc, fer ou encore calcium. La croissance rapide de la consommation de poissons n'est pas sans poser problème : la FAO indique que près d'un tiers des stocks de poissons commerciaux sont à présent pêchés à des niveaux biologiquement non viables, soit trois fois plus qu'en 1974, même si ce taux se stabilise depuis 2007. Alternative à la pêche pour répondre à la demande des consommateurs, l'aquaculture peut également poser des problèmes environnementaux importants de pollution des eaux littorales. En 2050, nous serons 10 milliards d'habitants sur Terre ! La FAO dans son rapport **'The 2017 Revision of World Population Prospects'** estime que la production de protéine devra augmenter de 50% pour pouvoir nourrir le monde. La pression sur les ressources naturelles de la planète s'intensifie et des écosystèmes entiers sont en danger (Effondrement des stocks de poissons, déforestation des forêts tropicales. Un tiers de la nourriture produite dans le monde ne sera jamais consommée. Le gaspillage se produit sur tous les maillons de la chaîne : production agricole, industrie agroalimentaire, restauration, distribution grande et petite ... jusque dans nos cuisines. Outre le problème éthique qu'il soulève, ce gaspillage représente une perte économique et une préoccupation écologique (excès de nitrates dans les réserves d'eau, marées vertes

...). Dans la nature, de nombreux insectes participent au recyclage des nutriments en dirigeant les biodéchets. Dans nos sociétés actuelles, les larves de Black Soldier Fly permettent de valoriser une large gamme de biodéchets et de sous-produits alimentaires : invendus de supermarchés, restes alimentaires de restauration, co-produits d'industries agro-alimentaires. L'alternative possible dans le cadre de cette étude est que nous allons nourrir nos larves de fruits et légumes avariés collectés localement et ensuite collectés ces larves pour nourrir nos poissons d'aquarium. En ce sens les larves collectés seront données directement frais, séchés ou transformés. L'objectif général de l'étude est l'utilisation des larves d'insectes à des fins d'alimentation piscicole et leurs performances zootechniques sur les poissons rouges (*Carassius auratus*) à titre expérimental. Pour atteindre cet objectifs le plan suivi a été d'abord de faire une identification les espèces de larves d'insectes en choisissant les mieux adaptées ou favorables pour l'alimentation des poissons et maîtriser le processus de production, ensuite déterminer les facteurs favorables à la production et à l'optimisation des insectes larve mouche soldat noir et du ver de farine à des fins nutritionnelles et enfin de faire une comparaison entre les performances de croissance des juvéniles du poisson rouge nourris avec un aliment commercial le Guéssant et un aliment du Guéssant substitués à la farine d'insectes ou les larves d'insectes en comparant les paramètres zootechniques des différents sujets.

## II-Matériels et Méthodes

### a) Matériels

#### Matériels biologique

Le matériel biologique sera constitué de poissons rouges (*Garassius auratus*) produites à la ferme piscicole du lycée et des larves de mouche soldat noir ou black soldier fly (*Hermetia illucens*).

Matériel techniques

#### Matériels divers

- 2 bacs d'élevages en polystyrène de 40\*30\*10 centimètres pour les larves et insectes de mouche soldat noir et du ver de farine
- 2 bacs d'élevages de 40\*30\*20 centimètres de ver de farine
- 2 bacs en plastique de 30\*30\*30 pour les mouches
- Moustiquaire
- Une pelle
- Un radiateur

- Sciure de bois
- Scotch adhésif
- Cartons de plateau d'œufs vide

### Appareils de laboratoire

- Pinces
- Thermomètres
- Hygomètres



Figure 1 échantillon des matériels utilisés

### Produits consommables

- Pommes
- Flocons d'avoines
- L'eau
- Farine de blé



Figure 2: Produits consommables par les vers de farines et larve de mouches

## Méthodes

Au total 6 boîtes de 40\*30\*20 cm recouvert par une moustiquaire de dimensions 1m\*1m.

## Production de la mouche soldat noir ou black soldier fly et du ver de farine

### **Mouche soldat noir**

La première étape lors de la réception des larves a été de les transférer dans le contenant de matières organiques avec le substrat d'alimentation dans lequel elles nous ont été livrées (cela aidera la transition de l'alimentation antérieure à notre compost personnel). Elles ont ensuite passés trois semaines à s'alimenter avant d'être prêtes pour la métamorphose en pupes et de prendre une teinte plus foncée, ce qui est toujours en cours de métamorphose pour certains. A ce moment, la rampe a été installée dans le contenant de matière organique pour leur permettre d'en sortir et de récolter les larves. L'angle de la rampe n'étant pas trop élevé (une inclinaison de 45 degrés) pas trop élevé pour faciliter leur déplacement dans le pot qui est situé sous l'extrémité de la rampe pour les accueillir lorsqu'elles tombent. La seconde étape qui à consister à attendre que les larves



se métamorphosent en pupes puis en mouches adultes reproductrices pour multiplier notre élevage. Pour se faire, on a attendu quelques jours (12 jours dans notre cas) après la sortie des larves du compost humides avant que la métamorphose n'ait lieu. Pour être prêt pour l'émergence des adultes, nous avons installé notre cage de moustiquaire dès la première semaine d'alimentation des larves. Pour faciliter les manipulations, nous avons également ajouté une fermeture de moustiquaire à notre abri, pour le pouvoir le fermé lorsqu'il n'est pas utilisé pour éviter de cette manière bien des évasions.



Figure 3: Premier compost de larves (environ 50 pourcent de sous-produit d'origine végétale et 50 pourcent d'origine animale)



Figure 4: Bacs en polystyrène pour contenir le Compost



Figure 5: Moustiquaire installé avec les bacs contenant les larves

### **Vers de farine**

Pour les ténébrions nous avons deux bacs contenant l'un des adultes et l'autre les larves. Dans le bac d'élevage des larves, nous avons placé 5 à 10 cm de substrat suivant le nombre d'individus, nous utilisons de la farine de blé complet, des fruits, légumes du son ou des flocons d'avoine suivant les disponibilités. Pour varier le substrat on fait parfois le mélange de tous ces aliments. Pour les adultes, nous ajoutons des morceaux de pain, du foin pour que ceux-ci puissent se retourner en cas de chute sur le dos. Ensuite vu que la ponte du coléoptère se fait à même le substrat, une fois les larves sorties il nous suffira de faire le tri avec les parents pour les récoltes. Les cartons de plateau d'œufs vides leurs servent de cachette contre la lumière



Figure 6: Bac contenant les vers de farines

### III. RESULTATS

## **1. Espèces de larves d'insectes les mieux adaptées ou favorables pour l'alimentation des poissons et maitriser le processus de production**

### **a) Espèces de larves d'insectes les mieux adaptées ou favorables pour l'alimentation des poissons**

Aujourd'hui, bien qu'il existe une grande variété d'insectes utilisés pour la consommation animale et humaine dans le monde, seulement certains d'entre eux présentent des caractéristiques adéquates pour leur production en masse. Les caractéristiques climatiques d'une région ou d'un pays, ainsi que les exigences sanitaires associées à la chaîne de production des aliments dans le monde déterminent en grande partie les espèces qui seraient utilisables pour la production des différents pays ou régions du monde. Des particularités nutritionnelles, la faisabilité technique des élevages et le potentiel de commercialisation de chaque espèce sont aussi de points à considérer au moment de choisir la ou les espèces d'élevages.

Outre l'espèce, on peut catégoriser les insectes d'élevages sous deux formes en fonction de leur cycle de vie. Les premiers sont ceux qui utilisent seulement l'espace en deux dimensions, c'est-à-dire que dans leur cycle de vie, il n'y a pas de forme ailée avec vol libre. Nous allons vous parler ici des deux exemples d'insectes choisis ici la mouche soldat noire encore appelé Black Soldier Fly (BSF) qui a un développement indirect avec des insectes ailés qui volent, généralement la phase de reproduction, comme c'est le cas pour ces diptères. Cette considération est importante pour le choix de l'élevage puisque le stade volant d'un insecte demande plus de manipulation ou des infrastructures plus complexes.

Le principal avantage d'établir des élevages d'insectes dans une zone prendra en compte la proximité à la source d'intrants pour la production dans notre cas ici qui vient des co-produits organique du compost, du jardin potager et du self du lycée agricole.

En effet, certains déchets urbains constituent des aliments de haute qualité pour le développement des insectes. L'étape d'identification des sources d'intrants disponibles à proximité devrait être suivie de la détermination des espèces d'insectes qui peuvent être élevées avec ces substrats. En outre, il faut s'attarder aux aspects de commercialisation du produit final; c'est-à-dire à la demande (spécialement de proximité), aux coûts de production et à la valeur marchande.

Parmi les insectes ciblés pour les élevages dans le monde occidental, citons les espèces envisagées et autorisés par **le règlement (UE) 2017/893 de la commission du 24 mai 2017 modifiant les annexes I et IV du règlement du CE n° 999/2001 du Parlement européen et du conseil les annexes X, XIV et XV du règlement (UE) n°142/2011 de la commission concernant les dispositions relatives aux protéines animales**

**transformées** sont au nombre de sept à savoir : mouche soldat noire (*Hermetia illucens*), mouche domestique (*Musca domestica*), ténébrion meunier (*Tenebrio molitor*), petit ténébrion mat (*Alphitobius diaperinus*), grillon domestique (*Acheta domesticus*), grillon domestique tropical (*Grylloides sigillatus*), grillon des steppes (*Gryllus assimilis*) un des endroits où les recherches les plus avancées au monde s'opèrent. La mouche domestique et les chenilles de diverses espèces présentent un potentiel plus limité dans beaucoup de régions, et leur description est donc plus succincte. Cependant, le vers de farine, les grillons et la mouche soldat noire (Black Soldier Fly) présentent un potentiel plus intéressant pour leur élevage autant bien en Afrique qu'en Europe et sont présentés de façon plus détaillée. Notez que les caractéristiques recherchées chez les insectes seraient leur taux de conversion élevée (aliments/protéines), leur composition chimique utile, leur robustesse, leur croissance rapide et leur bon potentiel de sélection génétique traditionnelle ou biotechnologique (Kok, 2012).

Dans ce cas de figure nous avons fait une étude bibliographique de comparaisons des trois espèces les plus adaptés à la production d'insectes que ce soit dans le Feed ou le Food à savoir : le Grillon, la mouche soldat noire et le ver de farine.

#### *i-Grillons (Orthoptera : Gryllidae)*

Les grillons sont utilisés à travers le monde pour consommation animale et humaine. L'efficacité de conversion de l'alimentation en protéines a déjà été démontrée supérieure à celle des poulets, des porcs, des moutons et des bovins (Nakagaki et Defoliart, 1991). En Amérique du Nord, *Acheta domesticus* (grillon domestique), dont l'adulte est composé de 64% de protéines (Bernard et al., 1997), était couramment élevé en Amérique du Nord. Cependant en 2009, une maladie, le densovirus de l'*A. domesticus* (AdDNV), a décimé les élevages commerciaux (Szelei et al., 2011). L'espèce *Grylloides sigillatus* (grillon domestique tropical), qui est résistante au AdDNV, a remplacé l'*A. domesticus* et elle est actuellement l'espèce la plus utilisée commercialement. Quant à l'élevage, il peut se faire dans des boîtes en plastique, en plaçant d'autres matériaux à l'intérieur, de façon à augmenter la surface d'habitation pour les insectes. Les boîtes peuvent être empilées pour optimiser l'espace disponible. Par exemple, le cycle de production des grillons est d'environ 6 semaines à 30°C (à partir de l'œuf jusqu'à l'état adulte). Les grillons sont généralement nourris avec de la moulée commerciale (destinée à l'alimentation de la volaille par exemple), ce qui peut s'avérer non rentable si la production ne se fait pas à grande échelle. Les principaux défis des élevages de grillons dans un contexte urbain seraient :

L'odeur est importante et plus il y a d'individus plus il aura une mauvaise odeur (métabolisme des insectes et déjections). Une alternative pour se débarrasser des odeurs serait d'installer un système de ventilation ou de purification d'air, mais cette option peut générer des coûts assez élevés.

- La difficulté d'éviter l'échappement de grillons et son effet sur le voisinage.
- L'absence d'étude sur les effets des intrants à base de matières résiduelles. Ces études devraient s'attarder aux effets de ses intrants sur la productivité et la qualité nutritionnelle des grillons, car, selon Yesenia Gallardo, les grillons peuvent se nourrir de certains végétaux, mais il faudrait aussi ajouter d'autres aliments dans leur diète pour que le développement soit optimal. De plus, le contenu d'humidité dans la diète doit être surveillé, car certaines bactéries nocives pour les grillons peuvent se développer. C'est ce qu'a constaté Raphaël Dupriez dans ses essais d'élevages initiaux. Il a ainsi préféré faire ses premiers développements avec des moulées sèches commerciales, et envisage retourner aux résidus organiques prochainement, en intégrant une étape de séchage dans leur préparation pour éviter les problèmes bactériologiques et fongiques.



Figure 7: Photo des grillons domestique

## ii-Ver à farine ou Ténébrion meunier, *Tenebrio molitor* (Coleoptera : Tenebrionidae)

Cet insecte est originaire de l'Europe, il est surtout utilisé comme aliment pour les animaux de compagnie (Sánchez-Muros et al., 2015), pour enrichir la diète des volailles (Martin et al., 1976) et pour consommation humaine dans divers pays du monde. Des élevages de *T. molitor* ont démontré qu'ils produisent moins d'émissions de gaz à effet de serre et moins d'ammoniac (NH<sub>3</sub>), par rapport aux élevages des animaux classiques (porc, moutons et vaches) (Oonincx et al., 2010). Si l'on compare l'élevage du ver de la farine avec celui du grillon, le premier est plus simple et plus facilement adaptable au milieu urbain. La larve est composée de presque 50% de protéines (Finke, 2002) et peut être nourrie seulement avec du son de blé (produit moins cher que la farine). La

productivité qui en résulte est acceptable. Dans un contenant de 35 L, on peut produire 10 000 vers à farine (environ 1 kg de larves) en 6 semaines. De plus, bien que cet élevage ait une certaine odeur, elle est bien moins forte que l'odeur dégagée par un élevage de grillons. Un autre avantage du vers à farine est qu'il s'adapte assez bien à différentes sources alimentaires. Certains déchets urbains, issus de la transformation des aliments pourraient être utilisés. Entre autre, Marie-Loup Tremblay indique que les larves de ténébrions aiment bien manger les champignons. Toutefois, il serait important de s'assurer que ces intrants ne sont pas humides, car ils encouragent la croissance de moisissures et cela nuit à la récolte de larves<sup>31</sup>. Ces déchets peuvent être déshydratés avec un système adapté, sauf que les coûts de production augmenteront. Un autre problème du ver à farine est que leurs déjections sont très allergènes, posant un risque pour la santé des travailleurs. Des équipements de protection sont nécessaires à cet effet, mais ils augmentent les coûts de production. Dans ce contexte, des recherches visant la transformation de déchets urbains et leur effet sur la productivité et qualité nutritionnelle des larves, ainsi que la réduction de risques des élevages pour la santé de travailleurs sont nécessaires avant d'entreprendre des élevages en milieu urbain. Enfin, un des principaux avantages des élevages de larves de ténébrions est la possibilité d'automatisation de ces élevages et des récoltes, par exemple, comme on le fait chez Kreca aux Pays Bas (Erens et al. 2012).



Figure 8: ver de farine



iii-Black Soldier fly (BSF) (mouche soldat noire), *Hermetia illucens*  
(Diptera: Stratiomyiidae) *Hermetia illucens*

C'est un insecte indigène de l'Amérique du Nord. La larve est utilisée dans plusieurs régions du monde comme aliment pour les animaux, spécialement pour les poissons, la volaille et les porcs (Kenis et al., 2014). Elle contient 42% de protéines (Newton et al., 1977). L'avantage de cette espèce est qu'elle peut convertir du matériel organique à faible valeur en protéines et en gras. Il y a 40 ans, aux États-Unis, d'importantes populations de BSF se développaient sous le fumier des poulaillers et des porcs logés dans des structures ouvertes. Ainsi, le nettoyage des fumiers était assuré. Pourtant, les élevages du bétail moderne sont enclos, ce qui empêche les femelles BSF d'avoir accès au fumier pour l'oviposition (Burtle et al., 2012). Techniquement, l'utilisation de fumier à partir des élevages de bétail pourrait fonctionner adéquatement pour la production en masse du BSF, cependant des aspects sanitaires compliquent cette approche, surtout si l'élevage est placé en milieu urbain. Toutefois, le BSF se développe bien sur d'autres déchets. L'entreprise Enterra à Vancouver utilise des déchets organiques de préconsommation traçables. Ces déchets, qui ont été rejetés avant qu'ils soient achetés par les consommateurs, proviennent de fermes, serres, épiceries, boulangeries, transformateurs d'aliments, fournisseurs de légumes et autres, provenant surtout de la région métropolitaine de Vancouver. Après un cycle de 14 jours, les larves sont récoltées et transformées en ingrédients pour l'alimentation des poissons, volailles et animaux de compagnie. De plus, les déchets générés par les élevages servent de fertilisant pour les cultures.



Figure 9: mouche soldat noir

### **Conclusion sur le choix des insectes à élever**

Les espèces d'insectes mentionnés ne sont pas les seules qui peuvent être envisagées. Des recherches sont nécessaires pour explorer d'autres possibilités. Toutefois, les espèces indigènes devraient être préférées, car l'introduction des espèces exotiques pose toujours un risque d'invasion (Kenis et al., 2009). Plusieurs cultures autochtones de l'Amérique du Nord pratiquaient l'entomophagie avant l'arrivée des Européens. Des asticots, sauterelles, fourmis et grillons étaient collectés dans la nature, séchés au soleil ou cuits pour être ajoutés dans d'autres aliments comme le pain ou gardés en réserve pour les mois d'hiver (Alanson, 1910). Aujourd'hui, l'utilisation des insectes indigènes, autres que le BSF, pour la production de protéines, ne semble pas être populaire mais prendra de l'ampleur d'ici quelques années avec la mise en place de nouveaux PME ou

Start Up outre que ceux qui existent déjà . Toutefois, des espèces apparentées à certains insectes consommés ailleurs dans le monde pourraient être un choix acceptable pour la production en masse.

Selon les objectifs de notre étude les insectes comparés sont les plus adaptées, les plus populaires en entomoculture si on exclut les abeilles et les prédateurs naturels utilisés en agriculture. Leur comparaison est basée sur l'évaluation de la longueur de leur cycle vital, les matières organiques dont ils peuvent se nourrir, leur valeur nutritive et les infrastructures particulières nécessaires à leur élevage. Il en ressort que les espèces choisies sont le Ténébrion meunier et la mouche soldat noir.

Le Ténébrion car sa valeur nutritive moyenne : 483 g/kg de protéines, 334 g/kg de lipides, 4903 Kcal/kg

Tout d'abord, le ténébrion meunier est le populaire vers de farine qui se développe dans les produits céréaliers, au malheur des producteurs de farine. C'est un coléoptère dont l'élevage est simple et dont le cycle vital dure entre 38 et 124 jours. Il peut s'alimenter d'une grande variété de matières organiques, bien qu'il préfère les céréales. Les matières ligneuses doivent parfois être fermentées pour faciliter leur dégradation par l'insecte. De plus, l'apport nutritif doit être bien équilibré concernant son ratio azote/calcium pour optimiser les rendements en larves. Les larves récoltées sont faibles en gras mais riches en protéines. Le cycle vital relativement long de cet insecte peut sembler un obstacle à l'élevage, mais il peut être accéléré en augmentant la température de l'élevage et diminuer de deux mois. La femelle pond de minuscules œufs, puis les larves muent entre 8 et 20 fois avant d'atteindre le stade de nymphe, puis d'adulte qui vit deux à trois mois. Pour réaliser un élevage, un contenant percé de trous pour l'aération contenant les matières organiques, du liège, du carton ondulé ou un autre matériel poreux pour la ponte est nécessaire. Les larves du ténébrion meunier ont été utilisées avec succès en nutrition animale. C'est l'insecte favori de la NASA, qui l'étudie en profondeur puisque l'entomoculture revêt un fort potentiel pour la nutrition des astronautes en missions spatiales, car les insectes sont une source nutritive de qualité et permettent de valoriser des déchets organiques produits sur place

Ensuite la mouche soldat noire sa valeur nutritive moyenne : 175 g/kg de protéines, 140 g/kg de lipides, 1994 kcal/kg (16)

La mouche soldat noire est quant à elle une grande vedette pour sa capacité à dégrader les matières organiques de toutes sortes en passant par les matières en décomposition, les déjections, les cadavres et mêmes les matières contaminées ou toxiques. Les larves sont 10 fois plus grosses que celles de la mouche domestiques avec un poids moyen par insecte de 83 mg. Le cycle vital de l'insecte peut être complété en un mois dans les conditions optimales de température, de lumière et d'humidité, mais peut aussi s'étirer jusqu'à quatre mois autrement. Les adultes se reproduisent environ deux jours suite à leur émergence, puis meurent après quatre à six jours. Les œufs mettent quatre jours pour éclore. Les larves se gavent ensuite et grossissent durant six stades qui durant 14 à 22 jours. Lors du dernier stade, elles noircissent, durcissent et sortent de la diète humide

pour aller se métamorphoser dans un endroit sec en nymphe, puis en adulte. L'adulte vole, copule mais ne se nourrit pas, il doit par contre s'abreuver. L'accouplement débute dans les airs et se termine au sol. L'élevage de la mouche soldat noire est relativement simple. Il nécessite une volière et un éclairage naturel ou artificiel pour la reproduction. De plus, bien que les adultes ne se nourrissent pas puisqu'ils utilisent les réserves accumulées à l'état larvaire, ils doivent tout de même s'hydrater. La ponte a lieu dans un carton ondulé disposé au-dessus de la source de matières organiques pour que les nouvelles larves y tombent. Autrement, seul un contenant de matières organiques est nécessaire pour l'alimentation des larves. La diète doit être réduite en petits morceaux si on veut favoriser une consommation rapide, et doit contenir de l'eau pour hydrater les larves, sans toutefois détremper le milieu. Une rampe d'accès vers un contenant de récolte des larves matures peut aussi être installé pour que les larves s'auto-récoltent lorsqu'elles sont prêtes à se métamorphoser en pupes, ce qu'elles font à l'extérieur de la diète humide, dans un milieu sec, elles ramperont donc d'elles-mêmes vers le contenant de récolte le moment voulu<sup>19</sup>. Pour favoriser un taux de protéines supérieur, les larves peuvent aussi être récoltées immatures, par tamisage ou flottaison. Les populations de larves peuvent être denses et l'adulte ne se nourrit pas, ce qui limite les risques de propagation des contaminants qui pourraient être présents dans la diète. La reproduction de cet insecte se réalise facilement. Les larves de mouche soldat noires sont utilisées en nutrition animale, et plusieurs entreprises spécialisées dans leur production existent au Canada, aux États-Unis, en Europe et en Afrique.

De nombreux critères entrent en ligne de compte lorsque vient le temps de sélectionner l'espèce ou les espèces que l'on veut produire. À travers ce qui a été vu précédemment, voici certaines considérations qui peuvent être prises en compte lors du choix :

- Le goût et l'apparence (acceptation sociale)
- Les valeurs nutritives
- Les aliments pour l'élevage
- Les dangers liés à la consommation
- L'empreinte environnementale de la production
- L'antécédent d'innocuité de l'espèce
- Le ratio de conversion alimentaire

- Espèce indigène plutôt qu'envahissante
- Les possibilités de transformation
- Les conditions d'élevage Etc.

## **b) Processus de production**

La production d'insecte nécessite d'un savoir-faire, pour commencer nous avons :

### **i) Ver de Farine**

Dans un contenant de 35 L, on peut produire 10 000 vers à farine (environ 1 kg de larves) en 6 semaines. Généralement le contenant d'élevages varie en fonction des moyens mais l'idéal serait d'avoir un contenant une boîte plastique de dimension 50cm\*20cm\*10cm pour un kg de larve. Il peut s'alimenter d'une grande variété de matières organiques, bien qu'il préfère les céréales, donc la composition de votre substrat pourrait être de la farine, des morceaux de pin, son de blé, maïs écrasé ... De plus, l'apport nutritif doit être bien équilibré concernant son ratio azote/calcium pour optimiser les rendements en larves. Pour combler la carence en eau ou l'apport en eau on ajoute des fruits découpés en tranche. En effet, il est capable de récupérer l'eau contenue dans l'air atmosphérique et dans des aliments très desséchés. Comme beaucoup d'autres Tenebrionidae, il est adapté à vivre dans des conditions désertiques. Si on élève des adultes, il est utile de constituer un abri, par exemple avec de vieux chiffons, pour favoriser la reproduction. Il faut aussi prévoir des abris en papier ou en carton pour éviter que les nymphes ne se fassent dévorer par les larves. Pour récupérer les œufs et les jeunes larves, il suffit de passer la farine au tamis. Le développement peut être ralenti en cas de besoin (vacances, par exemple) en plaçant l'élevage au réfrigérateur (température de 2°C à 8°C).

Placer le bac d'élevage dans un endroit sombre et tranquille. La température optimale se situe entre 25°C et 30°C.

- Le cycle du ténébrion (*Tenebrio molitor*) : Il dure de 4 à 6 mois suivant la température. Quand elle augmente, la vie larvaire s'accélère

- A 30 C :

- |                     |                         |
|---------------------|-------------------------|
| - éclosion des œufs | 10 jours après la ponte |
| - vie larvaire      | 10 semaines             |
| - vie nymphale      | 20 jours                |
| - vie adulte        | 10 à 20 jours           |

Pour notre cas nous avons température standardisé entre 24°C et 28° Cycle clôturé en 180 jours et au delà Larve récolté au kg pour plus de 800 grammes en 120 jours 1Kg de larves utiles environ 4kg de céréales en 180 jours Apport d'eau en fruits.

Voici les indices de conversions des deux lots de ténébrions relevés

Lot1 IC= 1,82 et Lot2 IC= 1,52



Figure 10: Stade de développement du ténébrion

La femelle pond en moyenne 270 œufs. La femelle pond des œufs très petits et transparents, difficiles à détecter dans la farine. Le nombre de stades larvaires, séparés par des mues, est variable : un minimum de 8, un maximum pouvant dépasser 20. L'animal est en effet capable d'adapter la vitesse de son développement discontinu aux conditions extérieures. Il en sort de minuscules larves blanches, qui se colorent peu à peu. La distinction des sexes est très difficile mais pas impossible car elle peut s'observer au niveau de la nymphe et de l'adulte.

## ii) Mouche Soldat noire (BSF)

Ici nous avons entamés deux expériences :

Première expérience pratique :

La BSF à été récupéré et mise sur le substrat

Ce qui n'a pas marché :

- Manque de la température nécessaire en hiver
- Pas encore de matériel adapté à la reproduction des mouche
- Manque de luminosité adéquat
- Nourriture putrescible

Ce qui a marché :

Connaissance sur la mouche

Mode reproduction

Deuxième expérience pratique :

Pour son rendement et son IC intéressant : 1 kg d'oeufs de BSF génère en moyenne 10 tonnes de larves et permet d'éliminer de 40 à 50 tonnes de déchets alimentaires. En 10 jours seulement ! Pour atteindre le même résultat en compostage, il faudrait 3 à 4 mois, Ici dans notre cas quand nous avons atteint la température standardisé entre 24°C et 28°C le cycle clôturé en 50 jours les larves récoltés en 45 jours pour plus de 500 grammes 1Kg de larves nous à permis d'éliminer en moyenne 3Kg de déchets alimentaire soit environ 120g de déchets alimentaire tous les 48h avec une humidité relative 70 pour-cent, 1Kg de mouches à permis d'obtenir environ 8000 larves.

## **2. Les facteurs favorables à la production et à l'optimisation des insectes larve mouche soldat noir et du ver de farine à des fins nutritionnelles**

## A) Alimentation

Dans cette étude nous nous sommes basée notamment sur les deux espèces d'insectes que sont la BSF et le ver de farine. Il existe une très grande variabilité dans le régime alimentaire des insectes il y a des insectes herbivores (consommateurs de plantes vivantes), nectarivores ou pollinivores (consommateurs de nectar ou de pollen), détritivores (consommateurs de matières organiques végétales pas nécessairement vivantes), charognards (consommateurs de cadavres d'animaux), coprophages (consommateurs d'excréments). Divers insectes ont une alimentation généraliste, tandis que d'autres ont une alimentation spécialisée. Par exemple, le charançon des palmiers rouges, *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera : Curculionidae), élevé en Indonésie ne mange que du palmier dans leur milieu naturel, mais on complète parfois avec de la nourriture porcine dans les élevages (Hanboonsong et al., 2013). Les grillons sont souvent élevés avec de la moulée à poules (Hanboonsong et al., 2013) ou à poussins<sup>5</sup>, mais pour amoindrir les coûts, on peut introduire des fruits et légumes dans leur diète en fin de croissance (Hanboonsong et al., 2013). D'un autre côté, certains insectes comme les larves de la mouche soldat noire, *Hermetia illucens* (Diptera : Stratiomyidae) (figure 11) mangent littéralement tout ce qui est organique avec un taux d'absorption élevé. Ainsi, des jardiniers voient avec plaisir leur pile de compost grouiller et fondre rapidement lorsque la mouche s'y installe, tandis que des industriels tentent d'optimiser ce procédé pour composter des quantités importantes de résidus organiques triés à la source (Enterra, 2015).

Si l'on cherche à amoindrir l'impact environnemental de la production agricole, il faut d'une part minimiser le recours aux grains provenant des monocultures et d'autre part tenter de valoriser des résidus de moindre valeur dans les élevages d'insectes. Pour se faire, nous procédons donc ici à une revue des intrants disponibles dans un contexte urbain et des besoins alimentaires de différents insectes déjà élevés, une sorte de «mix and match». C'est d'ailleurs la première étape selon Dr Kok de l'Université McGill : il faut identifier les combinaisons prometteuses entre les intrants, les organismes et les combinaisons de produits qu'on en dériverait (Kok, 2012). Dans une optique d'élevage urbain, il convient donc d'évaluer quels résidus organiques seraient mobilisables en France, afin d'optimiser les résidus disponibles pour choisir des élevages potentiels, en vue d'amoindrir les impacts environnementaux liés à l'utilisation des moulées commerciales. Même si certains insectes ont besoin d'une diète riche en protéines animales (i.e. les grillons domestiques, sont parfois nourris avec de la moulée à chats et à chiens), il est plus prudent d'exclure les protéines animales pour limiter les risques bactériologiques et c'est aussi un choix plus durable en évitant de produire des protéines animales avec d'autres protéines animales. Sachez d'ailleurs que les moulées commerciales contiennent souvent des huiles ou farines de poisson qui posent un dilemme éthique quant à leur soutenabilité (Thistlethwaite, 2014). Étant donné que les valeurs nutritionnelles des moulées commerciales sont facilement disponibles en ligne et peuvent aisément être adaptées aux besoins nutritionnels de divers insectes, nous avons préféré faire ici une revue des autres types d'intrants. D'ailleurs, si certains



éleveurs ont recours aux moulées commerciales fait avec des ingrédients issus de la production agricole ou des pêcheries pour leurs élevages, certains sont désireux d'intégration des résidus organiques provenant de la récupération ciblée dans leurs élevages.

## **B) Conditions climatique**

Les insectes, animaux à température variable, dits poïkilothermes, sont généralement des sténotherme. Les animaux poïkilothermes (ou a « sang froid » ou hétérothermes) sont des animaux n'ayant pas la capacité de réguler via leur organisme leur température interne et donc sont soumis à l'apport extérieur en chaleur (en majorité). La température environnementale étant étroitement liée avec la température interne des insectes, elle affecte ainsi de manière significative leurs performances ainsi que leur développement. Les espèces d'insectes vivant dans des régions froides ont des préférences thermiques plus basses que celles vivant dans des régions plus chaudes. En plus de présenter des préférences thermiques liées à l'habitat, les insectes sont fortement influencés par les grands rythmes qui régissent la biosphère. En effet, le rythme journalier et le rythme saisonnier influent beaucoup sur les variations de température et de luminosité auxquelles sont confrontés les insectes dans leur milieu. Le métabolisme et l'activité des insectes (vol) sont augmentés jusqu'à ce que la température optimale soit atteinte. L'organisme fonctionnant plus vite aura des besoins plus importants par unité de temps : il consommera davantage et aura une respiration accrue. Le résultat sera une croissance plus rapide et un état adulte plus rapidement atteint. La diminution de la durée de développement avec la  $T^{\circ}$  provoquera une augmentation du nombre de générations par an, notion importante lorsque ces insectes sont des ravageurs. C'est la  $T^{\circ}$  qui est dans bien des cas responsable de la répartition géographique des espèces. Dans ce cas précis de la BSF et du Ténébrion, les températures basses en hiver ont provoqués des chocs thermique pour les insectes variant d'une semaine à l'autre de  $10^{\circ}\text{C}$  à  $17^{\circ}\text{C}$ , ce qui a provoqué un rallongement du cycle de vie des insectes. Ce rallongement du cycle de vie de plusieurs semaines s'explique par le ralentissement du métabolisme de croissance aux conditions défavorables observés: **la diapause**. Cette diapause a été suivie de deux autres phénomènes que sont la Quiescence et l'hibernation de la BSF et du ténébrion.

Quant aux facteurs de luminosité pour la croissance l'intensité de la lumière est un facteur important. Le photopériodisme revêt un autre facteur primordial, autrement dit : la manière dont les jours et les nuits alternent

Dans les régions tempérées, la photopériode est un facteur climatique primordial qui règle le cycle de vie de nombreuses espèces d'insectes.

Il s'agit d'adaptations remarquables qui utilisent la longueur du jour comme déclencheur des mécanismes permettant de s'accommoder d'une mauvaise saison (diapause).

Enfin l'humidité qui est aussi un facteur non négligeable, Un petit animal a une surface corporelle relativement plus grande qu'un animal de grande taille, puisque cette surface varie en fonction du carré, et le volume en fonction du cube de la longueur. Les insectes, spécialement les formes grèles, offrent donc une surface d'échange relativement plus étendue que celle des Vertébrés. Il est donc vital pour eux de posséder des moyens de défense contre la déshydratation. Plusieurs moyens de défenses sont utilisés par les insectes pour lutter contre la déshydratation au niveau du ténébrion ce qui explique son exigences très faible en eau. Par contre une vaporisation d'eau est nécessaire au niveau des cages de BSF et de leurs compost pour garder un seuil de taux d'humidité auquel il faut pas descendre.

### **3. Production de la BSF et du Ténébrion Meunier ainsi que les difficultés rencontrés**

#### **3.1 Analyse des Enjeux**

##### **3.1.1 Enjeux techniques**

Les défis techniques sont nombreux pour produire des insectes en grand nombre. Les méthodes de production peuvent varier et chaque espèce nécessite des conditions d'élevage différentes. Cette sous-section décrit quelques méthodes de production ainsi que les infrastructures et équipements nécessaires à la production et à la transformation des insectes. Seront ensuite abordées les espèces d'insectes favorables à une production de masse avant de conclure avec le développement d'expertise.

##### **3.1.2 Méthodes de production**

L'élevage d'insectes peut se faire de bien des façons. La collecte en milieu sauvage se pratique encore dans certains pays d'Afrique et d'Asie, mais n'exerce aucun contrôle sanitaire, ne permet pas de nourrir de grandes populations humaines et risque d'affecter la survie des populations sauvages d'insectes. On se tourne plutôt vers une production industrielle pour atteindre les populations et assurer des produits sains. Élever des insectes en grande quantité peut se faire de différentes façons, mais certaines caractéristiques semblent communes à tous les types d'élevage (ANSES, 2014).

- Un dispositif de confinement strict : les insectes sont généralement élevés dans des bacs ou des cuves simples. Par exemple, à La Ferme d'Insectes, les insectes sont élevés dans des caissons à tiroirs en plastique (E. Normandin, communication personnelle, 29 octobre 2016). Les bacs ou cuves doivent être étanches aux passages des insectes de toutes tailles, par exemple en les recouvrant de toiles de mousselines ou de toiles moustiquaires. Un aménagement par zone dépendamment des insectes permet également de séparer les adultes des larves et des nymphes et permet ainsi la récolte des insectes au moment adéquat. L'élevage en bacs est la méthode la plus

répandue, mais d'autres approches sont essayées. Entomo Farms, en Ontario, vient d'investir dans la transformation de ses infrastructures afin de produire en vastes espaces ouverts plutôt qu'en production en bacs (Goldin, 2016). Il s'agit du premier producteur d'insectes destinés à la consommation humaine à tenter cette expérience. Dans tous les cas, il reste nécessaire que les insectes ne puissent pas s'enfuir.

- Le maintien de conditions strictes d'élevage : il a été vu précédemment que les conditions d'élevage jouent un rôle important sur l'impact environnemental de la production tout comme sur la croissance et la valeur nutritionnelle des insectes. Il est primordial d'avoir une aération constante et, dépendamment des insectes, un éclairage naturel ou artificiel avec une alternance jour/nuit. Il faut également un contrôle de la température et de l'hygrométrie en tout temps pour favoriser la croissance des insectes. Selon Enterra Feed, les conditions d'élevage optimales font en sorte que même si des insectes s'échappaient, ils tenteraient de retourner vers le site de production pour en bénéficier (Enterra Feed, 2016c).
- Un substrat de culture sec et rigide : il faut créer des cavités dans les lesquelles les insectes peuvent trouver un abri pour pondre. Il peut s'agir de sciure ou de copeaux de bois non traité, de dérivés de papier et carton comme des contenants d'œufs ou des dispositifs en pulpe de cellulose. Ce peut également être des feuilles d'arbres, des morceaux de terre cuite ou tout autre matériau sain.
- Une source d'eau pour l'abreuvement : que ce soit un système d'eau libre ou un système d'éponge ou de coupelles remplies d'eau, la majorité des insectes nécessitent de l'eau potable.
- Un apport en nourriture adapté : tel que vu précédemment, les aliments donnés aux insectes influencent fortement leur valeur nutritionnelle ainsi que l'impact environnemental. Comme ces derniers peuvent être nourris à partir d'une grande variété d'aliments, souvent des végétaux, des dérivés de végétaux (farine) ou des fruits, la diète des insectes devrait faire l'objet de recherches afin d'être optimisée (ANSES, 2014). Il reste que les aliments doivent être peu onéreux, disponibles localement, de qualité et exempts de pesticides et d'antibiotiques (FAO, 2014).

Tout au long de la production et de la transformation, il est nécessaire de prendre en compte les différentes normes d'hygiène et de salubrité.

### 3.1.3 Infrastructures et équipements

Comme il est possible de produire des insectes à peu près n'importe où, les infrastructures potentielles pour accueillir une production sont nombreuses. Il peut s'agir d'anciens bâtiments agricoles, d'anciennes usines, d'entrepôts, etc. Tant que la réglementation municipale est respectée, le choix du bâtiment se fait en fonction de l'envergure de la production désirée. Par exemple, La Ferme d'Insectes s'est installée dans une ancienne écurie, Entomo Farms a converti d'anciens poulaillers alors qu'Enterra Feed s'est construit des bâtiments de style entrepôt.

Les équipements nécessaires dépendent du type de production. Cependant, certains sont essentiels au bon maintien des conditions d'élevage, comme les systèmes de chauffage, de ventilation et de contrôle de l'humidité. Il est également important de prévoir les équipements en fonction des méthodes de mise à mort et de transformation des insectes, comme une salle de congélation, un déchiqueteur ou un instrument d'ébouillantage. Pour les transformateurs, les équipements dépendent du type de produit qui est fabriqué. Certains produits sont fabriqués en usine avec des équipements très spécialisés. Cependant, actuellement au Québec, les produits dérivés des insectes sont faits à partir d'équipements relativement peu spécialisés, comme des fours et une centrifugeuse industriels. À cela s'ajoute l'aménagement d'une cuisine certifiée par le MAPAQ quant à la salubrité et l'hygiène (M.-L. Tremblay, communication personnelle, 2016).

### 3.1.4 Espèces d'insectes favorables

De nombreux critères entrent en ligne de compte lorsque vient le temps de sélectionner l'espèce ou les espèces que l'on veut produire. À travers ce qui a été vu précédemment, voici certaines considérations qui peuvent être prises en compte lors du choix :

- Le goût et l'apparence (acceptation sociale)
- Les valeurs nutritives
- Les aliments pour l'élevage
- Les dangers liés à la consommation
- L'empreinte environnementale de la production
- L'antécédent d'innocuité de l'espèce
- Le ratio de conversion alimentaire
- Espèce indigène plutôt qu'envahissante
- Les possibilités de transformation
- Les conditions d'élevage

Etc.

D'autres caractéristiques plus biologiques des insectes sont également très importantes à prendre en considération. Kok (1983) et Gon et Price (1984) ont établi les caractéristiques des insectes qui sont le plus propices à être produits à grande échelle. Le tableau 3.14 énumère ces caractéristiques.

Avec toutes ces informations, comment choisir la bonne espèce? La « Consultation internationale d'experts sur l'évaluation du potentiel des insectes comme aliments pour les hommes et pour les animaux afin de contribuer à la sécurité alimentaire » qui s'est tenue au siège de la FAO à Rome en Italie, du 23 au 25 janvier 2012, a mentionné quelques espèces aptes à être produites en zones tempérées. La caractéristique

prioritaire à respecter est que l'espèce ne représente aucun danger pour l'environnement. Ainsi, il serait préférable de miser sur des espèces cosmopolites comme le grillon domestique (*Acheta domesticus*) (FAO, 2014). Autrement, les experts ont cerné les caractéristiques les plus importantes, soit :

« un fort taux intrinsèque de croissance; un cycle de développement court; un fort taux de survie des immatures et un taux de ponte élevé; un fort potentiel d'accroissement quotidien de la biomasse (c.-à-d. gain de poids par jour); un fort taux de conversion (gain de biomasse – en kg – par kg d'aliment consommé); la capacité de vivre dans des conditions de fortes densités (kg de biomasse par m<sup>2</sup>); et une faible vulnérabilité aux maladies (haute résistance) » (FAO, 2014).

Selon eux, l'espèce qui répond le mieux à ces conditions est le ténébrion meunier (*Tenebrio molitor*) pour l'alimentation humaine et la mouche soldat noire (*Hermetia illucens*) pour l'alimentation animale (FAO, 2014). Les experts ont également averti que, à l'instar de la production agricole, la production d'une seule espèce est à éviter, du fait de la vulnérabilité des systèmes de production (FAO, 2014). En 2000, l'entreprise Kreca a perdu 50 % de son élevage de grillon domestique (*Acheta domesticus*) en 8-12 heures seulement, probablement à cause d'un virus qui s'est propagé. Depuis, l'entreprise élève trois espèces différentes (FAO, 2014).

### 3.1.5 Développement d'expertise

Actuellement, les systèmes de production d'insectes à grande échelle ne sont que peu développés et sont encore trop chers pour concurrencer la production d'autres aliments (FAO, 2014). Une étude aux Pays-Bas en 2011 indique que la production de ténébrions meuniers est encore 4,8 fois plus chère que celle d'aliments conventionnels pour poulets. Cela est dû principalement aux coûts du travail et ceux liés à la construction des locaux de production qui sont plus chers que pour les autres aliments (FAO, 2014). Toutefois, l'industrie est en plein essor en Amérique du Nord depuis les quatre ou cinq dernières années (Nathan Allen, 2016). Cela implique que la recherche et développement augmente et que l'expertise se développe. Au niveau technique, le grand défi consiste à parvenir à mettre au point des procédés automatisés pour réduire les coûts et rendre les produits plus abordables (FAO, 2014).

## **a) Production de la BSF au laboratoire**



Figure 11 Stade de développement de la bsf

Figure 12: larves de mouche soldat noir

1<sup>er</sup> Essaie

Pour des questions d'infrastructure et d'économie de mise en place nous avons utilisée 2 bacs en polystyrène fermés qui ont pris en charge 500g de larves par bac ce qui fait environ 5000 larves par bac. Il y fait entre 13°C et 17°C tout le temps avec une humidité de 70%.

Au fond de chaque bac à été déposé dans 10kg de mélange de terreau et de déchets (fruits et viande). Deux bacs à été ensemencée des 5000 larves. Il faudra alors attendre le développement des larves en mouches, accouplement et ponte dans les bacs. La lumière est naturelle et parfois artificielle en fonction de l'hiver ou printemps. Dans un second temps nous avons laisser la nature faire avec des installations bi-zones (une pour les larves et l'autre pour les mouches) pour éviter des manipulations trop nombreuses.

Les bacs de développement pour larves seront remisés dans le laboratoire pour garder

une température correcte de développement autour de 15°C aux périodes où l'extérieur ne les maintient pas en moyenne.

Nous avons beaucoup hésité entre différents modèles de reproduction et de développement des larves. Un seul bac ou plusieurs, taille, lieu. Finalement nous avons commandé et réceptionné les larves ayant des solutions qui pouvaient être mise en œuvre rapidement. Les larves nous été fournis par une société spécialiste de solution industrielle basée en Belgique et qui porte le nom de Reptiligne spécialisé dans la ventes d'aliments de larves d'incestes pour reptile et autres. Nous sommes le mercredi 17/01/2018 il fait très froid et on a beaucoup de vent. La température extérieure est de 13°C.

Le bac est couvert et placé dans le laboratoire qui affiche une température ambiante de 13°C la journée et 10°C au petit matin. Dans un coin supérieur un espace aménagée qui est repli régulièrement de larves prêtes à ce transformer en mouche pour relancer des cycles. Dans un autre bac de la zone supérieure des bacs en plastiques les pontes et collecte d'œufs. (Figure 13: pondoir des larves)



Figure 13: Pondoirs de larves de mouche soldat noir

Deux rampes en bouteille d'eau inclinées installées en dessous permettent que les larves s'auto-collectent.(figure 15 rampe de collecte de larves).

Inspection journalier et tout va bien, même si la température extérieure a sévèrement chuté en dessous de 20°C. les larves sont actives et remontent à la surface. Beaucoup de moucheron mais dues à la présence de fruits récupérés au self.

Deux semaine plus tard plus aucun mouvement dans le bac. Les larves sont enfouis et ne bougent plus du tout. Un essai d'une larve réchauffée dans une main permet d'espérer qu'elles ne sont pas mortes mais juste tétanisées de froid.Le froid est complètement redescendu nous avons peur qu'ils soit mort de choc thermique.

Pour la reproduction et l'éclosion théoriquement sur le papier, les larves auraient dues être mortes. Le délais de l'éclosion a été dépassé depuis de nombreuses semaines. Quand, surprise Les éclosions se sont enchaîner sur pratiquement deux mois entiers.D'abord une mouche ensuite deux .... Echec du premier essai





Fin février beaucoup de larves sont mortes et quelques reproduction et donc production d'œufs.

conclusion partiel

-Chocs thermique due aux variations de température

-manque d'oxygènes

-fortes ardeur de putréfaction due aux déchets organiques et présence de moucheron . Mais l'échec ne repose pas uniquement sur ces faits extérieurs. Il faut maintenir une température plus haute pour la reproduction et des conditions de luminosité meilleure.

En revanche la densité de population peut être très nettement supérieure au stade larvaire. Il sera intéressant de comparer justement les volumes nécessaires entre les deux systèmes entre capacité de traitement de déchets et développement de population pour prélèvement.

La construction et la mise au point des installations des BSF est nettement plus pointue que pour les vers de farine. De plus le système étant beaucoup moins développé, nous essayons de garder un protocole le plus standard que possible. Enfin, la maintenance de BSF demande beaucoup plus d'attention en quantité, une présence plus régulière et incontournable. Le système est plus exigeant.

2ème essaie sur la BSF

Température standardisé entre 24°C et 28°C

Cycle clôturé en 50 jours

Larve récolté pour plus de 500 grammes

Essaie réussi

### **b) Production de ver farine**

Nous avons mis en place sur deux boîte de 500g soit un kg de vers farine.



Figure 14: Bacs des vers de farine

Les recherches sur le ténébrion meunier (*Tenebrio molitor*) montrent un ratio de conversion allant de 2,2 à 5,3 alors que pour le grillon domestique (*Acheta domesticus*) on observe des valeurs oscillant entre 1,08 et 4,5 (Halloran et al., 2016). Ces données restent relativement basses, mais permettent de comprendre l'importance des conditions d'élevage des insectes et qu'il y a place à optimisation. La larve est composée de presque 50% de protéines (Finke, 2002) et peut être nourrie seulement avec du son de blé (produit moins cher que la farine). La productivité qui en résulte est acceptable. Nos résultats lors de l'expériences ont prouvés que nous pouvons utilisé de la farine de blé 45 ,l'indice de conversion à été calculé en faisant une expérience sous dix jours de 100 grammes de ténébrion meunier nourris avec 100g de farine de blé.

L'indice de conversion est un indicateur couramment utilisé dans tous les types d'élevages, aquacoles ou non, de même que dans le milieu de la recherche. Il permet de donner une idée de l'efficacité alimentaire d'un aliment ou d'une stratégie alimentaire. Au sens mathématique du terme, l'I.C. est l'inverse de l'efficacité alimentaire.

Les vers de farine (comme *Tenebrio molitor*) sont déjà élevés à l'échelle industrielle. Ils peuvent être élevés sur des déchets de faible valeur nutritive et donnés comme nourriture à des poulets de chair. Ramos Elorduy et al. (2002) ont élevé des larves de *T. molitor* sur plusieurs déchets secs de diverses origines. Ils ont testé trois concentrations de larves (0, 5 et 10 pour cent en poids sec) dans un aliment de base à 19 pour cent de protéines constitué d'un mélange de farines de sorgho et de soja, pour évaluer l'ingestion des aliments, les gains de poids et l'efficacité des aliments. Après 15 jours, il n'y avait pas de différence significative entre les traitements. Les vers de farine sont une alternative prometteuse aux sources conventionnelles de protéines, particulièrement aux farines de soja.

La formule générale de l'I.C. est :  $I.C. = \text{aliment distribué (kg)} / \text{gain de masse corporelle (kg)}$ .

Voici quelques résultats

100g de farine  
 reste 36.7 g farine 10jours ,farine ingérée 63,3 =0,0633  
 100g de ténébrion  
 134.7g de tenebrio, gain de poids 34,7=0,0347  
 Lot1 IC=1,82  
 2  
 Reste 47.6g farine , farine ingéré 52,4 en 10jours  
 134,4 g de tenebrio ,gain de poids 34,4  
 Lot 2 IC2=1,52

Production du ténébrion au laboratoire

Difficulté de production

Transformation et processus d'alimentation

Inconvenant et rôle de la chitine dans la digestibilité

Nous avons menés des expériences



Date d'arrivée des larve de mouche soldat noir 17 janvier

Ver de farine 25 janvier

#### **4.1 Enjeux environnementaux**

En premier pour la production d'insectes nous avons les enjeux environnementaux qui sert à comprendre l'impact sur l'environnement, la question d'émission de gaz à effet de serre en comparaison avec les autres types d'élevages, la consommation d'énergie, l'utilisation de l'espace, la consommation d'eau et la gestion des matières résiduelles. Ensuite ensuite l'aspect de la conversion alimentaire suivi d'une analyse comparative qui permettra d'évaluer la différence entre la production d'insectes et la production d'autres types de protéines. Enfin, l'aspect de l'importation par rapport à la production locale et du bien-être animal seront rapidement analysés. Selon la FAO (2006), l'élevage du bétail mobilise 70 pour cent des terres à usage agricole. Avec une demande globale pour les produits de l'élevage qui devrait plus que doubler entre 2000 et 2050 (de 229 millions à 465 millions de tonnes), répondre à cette demande nécessite des solutions innovantes. De même, la production et la consommation de poissons se sont considérablement accrues durant les cinq dernières décennies.

L'opportunité est très grande d'utiliser les insectes pour contribuer à répondre à cette demande croissante en produits à base de viande et en remplacement des farines et des huiles de poisson.

Les équipements d'élevage à grande échelle du bétail et des poissons sont économiquement viables, au moins à court terme, en raison de leur forte productivité. Cependant, ces équipements entraînent des coûts environnementaux énormes (Tilman et al., 2002; Fiala, 2008). Le fumier, par exemple, pollue les eaux de surface et souterraines avec des éléments nutritifs ou toxiques (métaux lourds) et pathogènes (Tilman et al., 2002; Thorne, 2007). Le stockage et l'épandage du fumier contribuent à l'émission de grandes quantités d'ammoniaque qui a des effets acidifiants sur les écosystèmes. En outre, tout accroissement de la production animale demandera plus d'aliments et de terres de culture et provoquera une déforestation supplémentaire. L'Amazonie est un bon exemple: les pâturages occupent maintenant 70 pour cent de ce qui était autrefois une forêt, et les cultures fourragères occupent une grande partie des terres restantes (Steinfeld et al., 2006).

En 2010, Sachs (2010) a soutenu que l'agriculture était la cause anthropique principale du changement climatique et que le monde avait besoin de nouvelles technologies agricoles et de nouveaux modèles de consommation reposant sur des régimes alimentaires plus sains et plus durables. Nourrir les populations futures nécessitera le développement de sources alternatives de protéines, telles que la viande cultivée, les algues, les haricots, les champignons et les insectes.

Consommer des insectes offre de nombreux avantages:

- Ils ont une capacité élevée de conversion des aliments (capacité d'un animal à convertir un poids donné d'aliments en masse corporelle, représentée en kg d'aliment par kg de gain de poids de l'animal).
- Ils peuvent être élevés sur des sous-produits organiques, réduisant ainsi la contamination de l'environnement tout en valorisant les déchets.
- Ils émettent relativement peu de GES et relativement peu d'ammoniaque. • Ils demandent significativement moins d'eau que le bétail.
- Il y a peu de questions relatives au bien-être animal, bien que le point jusqu'auquel la douleur est ressentie par les insectes soit inconnu.
- Ils présentent un faible risque de transmission d'infections zoonotiques.

#### 4.2 Utilisation de l'espace par l'élevage d'insecte

**Tableau1: Espace requis pour la production de viande et pour la production de protéines (porc, poulet, bœuf, lait et œufs) (adapté de : de Vries et de Boer, 2010)**

Source Pour 1 kg de viande (ou lait ou œufs) (m <sup>2</sup> ) Pour 1 kg de protéines (m <sup>2</sup> )		
<b>Porc</b>	8,9-12,1	47-64
<b>Poulet</b>	8,1-9,9	42-52
<b>Bœuf</b>	27-49	144-258
<b>Lait</b>	1,1-2	35-59
<b>Œufs</b>	4,5-6,2	35-48

Oninx et Boer (2012) ont effectué la comparaison avec l'espace nécessaire pour le ténébrions. Ils ont calculé de leur côté qu'un espace de 3,6 m<sup>2</sup> est requis pour la production d'un kilogramme de ténébrions meuniers. De ce chiffre, 85 % sont issus de la production du grain et 14 % de la production des carottes. La production des insectes eux-mêmes demande donc uniquement 1 % de cet espace. Pour la production d'un kilogramme de protéines, l'espace requis est de 18 m<sup>2</sup>.

#### 4.3 Utilisation Consommation d'eau

D'un point de vue écologique, le bœuf est surclassé sur presque tous les aspects. Produire 1kg de vers de farine entraîne l'émission de 10 à 100 fois moins de gaz à effet de serre que produire 1kg de bœuf. Le méthane, 86 fois plus puissant que le CO<sub>2</sub> en matière de réchauffement et massivement produit par les vaches, est peu produit par les vers de farine et encore moins par les grillons. Leur rendement en biomasse est également plus intéressant : il ne leur faut que 1,1kg de nourriture pour produire 1kg de criquet, alors qu'il en faut 10kg pour obtenir 1kg bœuf ! Enfin, la différence dans la consommation d'eau est écrasante : 1kg de bœuf englouti 13500 litres d'eau au cours de sa production. A comparer aux 10 litres demandés par les grillons pour la même quantité. L'élevage d'insectes se présente donc comme une solution écologique.

#### **4.4 Enjeux législatifs**

Afin de contrôler la qualité des aliments et ainsi assurer la santé des citoyens, les paliers de gouvernement mettent en place des lois et règlements.

Le Règlement (UE) 2015/2283, qui abroge le Règlement (CE) n° 258/97 et qui est d'application depuis le 1er janvier 2018, définit que tous les produits à base d'insectes (pas seulement les parties d'insectes ou des extraits, mais aussi les insectes entiers et leurs préparations) sont considérés comme Novel Food, en raison de l'absence de preuve de consommation significative dans l'Union européenne avant le 15 mai 1997. Au Canada, la compétence de réglementer les aliments est partagée entre le gouvernement fédéral, provincial et, dans une certaine mesure, municipal. Le gouvernement fédéral, à travers Santé Canada et l'ACIA, est responsable de légiférer les importations et exportations d'aliments ainsi que les aliments nouveaux alors que le gouvernement provincial se charge de réglementer l'agriculture et la transformation des aliments. Les producteurs d'insectes, doivent respecter les lois et règlements qui s'appliquent pour eux. Toutefois, les lois et règlements à respecter ne sont pas tout à fait les mêmes dans le cas où les insectes sont produits pour l'alimentation humaine, animale ou pour d'autres utilisations. C'est pourquoi, dans cette section, en plus de voir la législation qui s'applique pour la production d'insectes pour la consommation humaine, un bref aperçu sera fait de celle qui s'applique pour les autres utilisations. Une revue canadienne et internationale des enjeux législatifs a aussi été effectuée pour mieux comprendre les avantages et les défis particuliers de l'essor de ce secteur au Québec comparativement à l'internationale (Lähteenmäki-Uutelala et al., 2017).

##### **4.5.1 Législation pour la production d'insectes destinés à la consommation humaine**

Pour rappel, avant le 1er janvier 2018, une politique de tolérance avait été mise en place afin de permettre la mise sur le marché de 10 espèces d'insectes. La sécurité alimentaire de ces 10 espèces a été évaluée dans un avis commun du Comité scientifique de l'AFSCA et du Conseil supérieur de la Santé. La mise sur le marché d'insectes entiers et de produits à base d'insectes entiers est soumise aux principes généraux de la législation alimentaire, notamment : l'application des bonnes pratiques d'hygiène, la traçabilité, la notification obligatoire, l'étiquetage et la mise en place d'un système d'autocontrôle basé sur les principes HACCP. Au Canada, les insectes sont considérés comme des aliments en vertu de la Loi sur les aliments et drogues qui définit un aliment comme « [...] tout article fabriqué, vendu ou présenté comme pouvant servir de nourriture ou de boisson à l'être humain, la gomme à mâcher ainsi que tout ingrédient pouvant être mélangé avec un aliment à quelque fin que ce soit » (Loi sur les aliments et drogues). De plus, les insectes sont considérés comme des

aliments nouveaux. Dans la définition des aliments nouveaux de Santé Canada, on mentionne les aliments n'ayant pas d'antécédent d'innocuité, les aliments ayant subi un nouveau procédé, les aliments qui ont été génétiquement modifiés et les aliments dérivés des biotechnologies (Santé Canada, 2016b). Or, les insectes peuvent potentiellement faire partie des aliments dérivés des biotechnologies. Toutefois, les insectes peuvent aussi démontrer un antécédent d'innocuité. En effet, on dit qu'un aliment a un antécédent d'innocuité « lorsque, depuis bon nombre de générations, elle fait partie continue du régime d'une population humaine vaste et génétiquement diverse, où cette substance est consommée selon des méthodes et des niveaux auxquels on s'attend au Canada » (Santé Canada, 2006).

Or, pour deux types d'insectes, les vers de farine (ténébrions meuniers) et les grillons et leurs dérivés, un antécédent d'innocuité aurait été démontré et ils ne sont donc plus considérés comme des aliments nouveaux (S. Plante, communication personnelle, 2 décembre 2016). D'ailleurs, la production de ces types d'insectes est une industrie de code 11299 « Tous les autres types d'élevage » du système de classification des industries de l'Amérique du Nord (SCIAN) (Statistique Canada, 2016b). Pour les autres espèces d'insectes, s'il n'est pas possible de démontrer un antécédent d'innocuité, ils doivent nécessairement subir une évaluation de l'innocuité avant d'entrer sur le marché canadien. C'est le personnel de la Section des aliments nouveaux de concert avec leurs homologues du Bureau d'innocuité des produits chimiques et du Bureau des sciences de la nutrition qui évalue la salubrité des aliments nouveaux (Santé Canada, 2007).

Actuellement, pour les insectes, les évaluations d'innocuité se font au cas par cas selon les demandes de l'industrie. Reste que dans tous les cas, les insectes et produits d'insectes que les producteurs veulent vendre doivent répondre aux normes d'évaluation de Santé Canada.

L'ACIA, de son côté, doit s'assurer que la vente de produits d'insectes se fasse de manière conforme à la Loi sur les aliments et drogues et son Règlement sur les aliments et drogues. Dans la Loi sur les aliments et drogues, les sections 4, 5 et 7 doivent être respectées pour la vente d'insectes comestibles. En gros, ces sections disent qu'il est interdit de vendre des produits impropres à la consommation, qu'il est interdit d'emballer un produit de manière frauduleuse (p. ex. en cachant des informations) et qu'il est interdit de fabriquer des produits dans des conditions non hygiéniques (Loi sur les aliments et drogues). Dans le Règlement sur les aliments et drogues, la vente d'insectes comestibles doit répondre aux divisions 1 et 28 de la partie B du règlement. Le règlement établit les normes de composition, de concentration, d'activité, de pureté, de qualité ou autres propriétés des aliments (Règlement sur les aliments et drogues). La division 1 de la partie B concerne les aliments alors que la division 28 fait référence à ce qui a été mentionné plus haut sur les aliments nouveaux. L'ACIA se charge également de faire respecter la Loi sur l'emballage et l'étiquetage des produits de consommation et de son règlement. Cette loi et ce règlement établissent les normes d'emballage et d'étiquetage. L'ACIA a mis en place un outil de référence pour l'industrie concernant l'étiquetage des aliments. Cet outil disponible en ligne stipule l'information sur tous les aspects de l'étiquetage, dont la langue, le nom du produit, la quantité nette, la liste des ingrédients, le pays d'origine, l'étiquetage nutritionnel, les renseignements sur l'entreprise, etc. (ACIA, 2016). Enfin, dans le cas des importateurs d'insectes, ceux-ci doivent respecter la Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction (CITES). C'est l'ACIA qui se charge de délivrer les permis d'importation en vertu de la Loi sur la protection des végétaux et de son règlement.



Les producteurs d'insectes doivent également respecter la législation québécoise. Au Québec, la Loi sur les produits alimentaires définit un aliment comme étant « tout ce qui peut servir à la nourriture de l'homme ou des animaux » (Loi sur les produits alimentaires). Les insectes sont ainsi considérés comme des aliments et sont donc assujettis aux prescriptions de la Loi sur les produits alimentaires et à son Règlement sur les aliments. C'est le MAPAQ qui est en charge de l'application de cette loi et de ce règlement. Dans ce règlement, on retrouve les normes quant à l'innocuité du produit, à la salubrité des locaux et de l'équipement, à l'hygiène du personnel, à l'identification des produits et aux conditions de préparation (Règlement sur les aliments). Une grande partie de cette réglementation s'adresse majoritairement aux transformateurs d'aliments.

En vertu de la Loi sur les producteurs agricoles, les producteurs d'insectes sont considérés, au Québec, comme des producteurs agricoles à moins que la production agricole visant à être mise sur le marché ne soit pas supérieure à 5 000\$ (Loi sur les producteurs agricoles). Or, les producteurs agricoles, et donc les producteurs d'insectes, ne sont pas obligés de suivre une formation en hygiène et salubrité des aliments

(MAPAQ, 2015b). C'est toutefois différent pour les transformateurs d'aliments qui eux sont obligés de suivre cette formation. Pour ceux désirant effectuer de la vente au détail, il est nécessaire d'obtenir un permis de vente au détail du MAPAQ (MAPAQ, 2016b). Enfin, les producteurs d'insectes doivent également respecter les règlements municipaux. À cet effet, c'est le règlement de zonage qui découpe le territoire en zones dont les usages sont ensuite déterminés (MAMOT, 2010). Or, bien que la production d'insectes soit considérée comme une activité agricole au Québec, chaque municipalité peut classer ce type d'activité différemment. À Sherbrooke, la Ville a indiqué à Sonia Plante que sa production de grillons était considérée comme une industrie lourde de type meunerie et que les locaux pour ce type d'industrie étaient situés dans le quartier industriel de la ville. Toutefois, à Ascot Corner, ville voisine, ces activités sont considérées comme de l'industriel léger et les zones disponibles sont plus accessibles (S. Plante, communication personnelle, 2 décembre 2016). Il faut donc vérifier la réglementation de chaque municipalité. En dehors de ces lois, aucune spécification n'encadre les méthodes de production même.

### 3.5.2 Législation pour les autres utilisations des insectes

Les humains produisent aussi des insectes à d'autres fins que pour la consommation humaine. Leur valeur nutritionnelle les rend intéressants pour l'alimentation des animaux d'élevage et en pisciculture. C'est aussi une voie intéressante pour la nourriture des animaux de compagnie. De plus, des recherches tentent de promouvoir l'utilisation des insectes pour valoriser les matières organiques résiduelles.

Profiter des propriétés nutritionnelles des insectes pour les incorporer dans la nourriture des animaux d'élevage et des poissons est une autre grande utilisation qu'on veut faire des insectes. Comme pour les insectes dédiés à la consommation humaine, les insectes produits comme aliment pour le bétail doivent respecter des normes de salubrité et d'innocuité. C'est l'ACIA qui prend en charge la Loi sur les aliments du bétail et son Règlement de 1983 sur les aliments du bétail. On y retrouve la notion d'aliment nouveau, qui s'applique aux aliments n'ayant pas d'antécédent d'utilisation sûr. Comme aucune politique n'existe pour favoriser les insectes dans

l'alimentation animale, chaque insecte, procédé et entreprise doit être enregistré indépendamment. Il existe actuellement une seule autorisation d'utilisation d'insectes comme aliment nouveau pour le bétail. Elle s'applique aux larves de mouches soldat noires (*Hermetia illucens*) entières séchées qui peuvent être utilisées pour nourrir les poulets. C'est l'entreprise Enterra Feed de Colombie-Britannique qui a reçu cette autorisation (Enterra Feed, 2016b).

Il n'y a aucune restriction quant à l'utilisation d'insectes dans l'alimentation des animaux de compagnie. Entomo Farms et Wilder & Harrier produisent déjà des croquettes pour chien à base de farine de criquet. Pour le faire, il est nécessaire de se conformer au Règlement sur la santé des animaux. De surcroît, il est préférable de se référer au Guide sur l'étiquetage et la publicité concernant les aliments pour animaux familiers pour l'étiquetage des produits. Autrement, c'est l'ACIA qui est responsable de gérer l'importation de nourriture pour animaux de compagnie.

Finalement, la valorisation des matières organiques résiduelles avec les insectes permet de réduire la quantité de résidus organiques envoyés à l'enfouissement. Mieux encore, valoriser les matières organiques résiduelles à l'aide des insectes qu'on peut ensuite utiliser comme aliment pour le bétail réfère à ce qu'on appelle du « surcyclage » (upcycling en anglais). La gestion des matières résiduelles est une compétence provinciale sous la responsabilité du MDDELCC et de Recyc-Québec.

**Tableau2: Comparaisons des de la facilité d'élevages en Afrique de l'Ouest et l'Europe**

Enjeux Favorable		Défavorable Raisons		Afrique	Europe
<b>Enjeux environnementaux</b>	?		+ Excellente performance environnementale globale	Condition favorable de l'environnement	Difficulté de l'environnement
<b>Enjeux sociaux</b>		?	- Encore trop peu répandue ± Ouverture lente à la pratique	-Acceptabilité culturelle (Insectes mangé en Afrique)	-Difficultés d'acceptabilité social
<b>Enjeux nutritionnels</b>	?		+ Valeurs nutritionnelles intéressantes + Peu de dangers	Plus dans le food pour soulager la malnutrition des enfants	Utilisé comme Apéro
<b>Enjeux économiques</b>		?	- Financement difficile - Prix trop élevé pour attirer les consommateurs et disponibilité limitée des produits - Peu de publicité + Potentiel de marché présent et tendance favorable	Coût de main d'oeuvre et des matières premières favorable	Coût élevé des infrastructures et main d'oeuvres
<b>Enjeux législatifs</b>	?	?	- Pas de volonté politique favorisante + Pas d'obstacles majeurs	Pas d'obstacles particulier, vue la flexibilité de la réglementation	Réglementation très stricte et non flexible
<b>Enjeux techniques</b>	?	?	+ Méthodes de production simples - Besoin d'amélioration des performances	Possibilités d'utilisés des sous produits agricoles de types diversifiés	Restrictions sur les sous produits agricole à utiliser dans l'élevage d'insectes

#### 4.4 La chitine

La chitine est une substance polymère comparable à la cellulose mais azotée puisqu'il s'agit d'un acétylglucosamine (poly  $\beta$  1,4 n-acétylglucosamine). Elle entre, notamment, dans la composition du tégument des arthropodes (insectes et des crustacés), des nématodes, ainsi que dans celle de la paroi des eumycètes.

**Digestion de la chitine** La chitine est un polysaccharide aminé tellement répandu dans la nature (Jeuniaux, 1963, 1982) que l'on peut prédire que tous les animaux sont susceptibles de trouver de la chitine dans leur nourriture, à l'exception de ceux dont le régime alimentaire est rigoureusement spécialisé, c'est-à-dire les sténophages phytophages stricts, les xylophages, les herbivores proprement dits, les granivores, les prédateurs exclusifs de Vertébrés, les ecto- et les endoparasites. Parmi les poissons, peu d'espèces ont un régime alimentaire aussi hautement spécialisé. Mais il est évident que c'est dans le cas des poissons insectivores, ou dans celui des poissons marins prédateurs de crustacés que la quantité de chitine de la nourriture est réellement importante, au point de représenter parfois près de la moitié du poids sec de la matière organique ingérée. La digestion de la chitine nécessite l'intervention d'une chitinase (poly 1,4- $\beta$ - 2-acetamido-2-deoxy-D-glucoside glucanohydrolase, E.N. : 3.2.1.14), dont l'activité hydrolytique est complétée par les  $\beta$ -N-acétylglucosaminidases, ou chitobiasés. Notons que certains lysozymes (mucopeptide N-acetylmuramoyl hydrolase, E.N. : 3.2.1.17) sont susceptibles de manifester une activité chitinolytique, beaucoup plus évidente sur certains dérivés de la chitine comme la glycol-chitine que sur la chitine elle-même. C'est en 1961 (Jeuniaux, 1961) qu'une authentique chitinase a été découverte pour la première fois dans le système digestif des vertébrés, en particulier chez le Poisson rouge *Garassius auratus*. Depuis lors, les nombreux travaux réalisés sur ce sujet permettent d'affirmer que la chitinase fait partie de l'arsenal enzymatique digestif de la grande majorité des poissons (Jeuniaux, 1963; Okutani et Kimata, 1964 a, b; Okutani, 1966; Okutani et al., 1967; Micha et al., 1973a; Goodrich et Morita, 1977b; Fänge et al., 1979). Bien que, pour certains auteurs, la flore bactérienne intestinale soit considérée comme la source de ces chitinases ( Goodrich et Morita, 1977a, b), l'origine glandulaire de ces hydrolases peut être considérée comme démontrée pour la plupart des Vertébrés, sur la base d'expériences réalisées sur tissu isolé et perfusé ( Dandrifosse et al., 1965; Dandrifosse et Schoffeniels, 1967). L'activité en fonction du pH permet de distinguer deux types de chitinases (Micha et al., 1973 a, b; Jeuniaux et al., 1982). Les chitinases du type I présentent un pH optimum relativement élevé, voisin de 4 ou 5, et leur activité est fortement inhibée en dessous de pH 2(1). Elles sont sécrétées soit par toute la muqueuse intestinale, chez les Poissons sans estomac, soit par le pancréas, les caeca pyloriques et/ou la muqueuse

intestinale, chez les autres espèces. Elles peuvent aussi faire complètement défaut (Fig. 3). Les chitinases du type II présentent un pH optimum voisin de 2-3 (pH 1,25 chez *Coryphaenoides rupestris* : Fänge et al., 1979), et leur activité reste relativement élevée à pH 2, c'est-à-dire dans les conditions qui prévalent dans le chyme gastrique (2). Ces chitinases de type II sont précisément sécrétées par la muqueuse gastrique, chez beaucoup d'espèces. Elles peuvent cependant faire défaut : on connaît bon nombre d'espèces qui ne peuvent compter que sur le pancréas ou la muqueuse intestinale comme source de chitinases digestives. On voit donc que la localisation du site de sécrétion varie considérablement. La figure 3, d'après Micha (1966) est un essai de représentation des diverses tendances évolutives, dans lequel on considère que la situation primitive correspond à celle observée aujourd'hui chez les poissons sans estomac comme *Carassius auratus*. L'examen de la figure 3 montre également que la présence de chitinase dans le tube digestif des poissons est un cas très général, et que les espèces dépourvues de cet enzyme constituent l'exception. L'absence de chitinase chez la Lotte *Blennius pholis* peut être interprétée comme une perte consécutive à l'adaptation à un régime carnivore dépourvu de chitine. Il est plus difficile d'expliquer le manque de chitinase chez la Blennie et chez *Tilapia macrochir*. Conclusion Sur le plan de l'arsenal enzymatique digestif, les poissons apparaissent comme remarquablement équipés pour la digestion de chitine. Us jouent certainement un rôle capable de digérer les  $\beta$ -1,3 glucoanes qui constituent les polysaccharides de réserve d'un grand nombre d'espèces de protistes et d'algues. Par contre, les Poissons semblent incapables de digérer la cellulose, et ne participent donc aucunement au recyclage du carbone de cet abondant polysaccharide. Sachant que les chitinases, les laminarinases et les cellulases sont abondamment répandues chez les Invertébrés, on ne peut expliquer les particularités de leur distribution chez les Poissons qu'en invoquant la possibilité d'une perte définitive du gène commandant la biosynthèse de la cellulase chez les ancêtres des Poissons, peut être consécutivement à l'adoption d'un régime alimentaire carnivore ou insectivore

## 5. RECOMMANDATIONS

Voici les recommandations qui sont proposées afin de pallier aux aspects plus défavorables de l'industrie des insectes et favoriser son déploiement. Les recommandations sont réparties selon les parties prenantes qui devraient les prendre en charge.

### 5.1 Aux gouvernements

Les recommandations suivantes ciblent directement les deux paliers de gouvernement.

- Développer des programmes de financement et de subvention pour le démarrage d'entreprise dans ce secteur

Le but est de faciliter et favoriser l'entrepreneuriat dans ce domaine afin de faire augmenter le nombre d'entreprises. Le financement étant actuellement un frein au développement de l'industrie, une aide additionnelle du gouvernement aurait l'effet inverse. Beaucoup de producteurs et de transformateurs se font approcher par des entrepreneurs qui ont un projet avec les insectes, mais il est plutôt rare de voir un de ces projets se concrétiser.

- Définir un encadrement spécifique des conditions d'élevage et de production des insectes et de leurs produits permettant de garantir la maîtrise des risques sanitaires

Vu que la production d'insectes n'est actuellement pas réglementée, les différentes méthodes de production peuvent présenter des risques mal caractérisés. L'élaboration de directives et de normes sanitaires à respecter pour les producteurs, en fonction des espèces, viendrait diminuer les risques de contamination et dangers pour la santé. Selon le sondage, un encadrement des pratiques d'élevage par les gouvernements serait favorisé par rapport à une autoréglementation de l'industrie.

- Procéder à l'évaluation d'innocuité de plus d'espèces d'insectes afin d'ouvrir le marché  
Puisque les insectes sont considérés comme des aliments nouveaux au Canada, il est nécessaire de prouver pour chaque espèce qu'un antécédent d'innocuité existe. Pour un producteur d'insectes désirant démarrer son élevage, les démarches nécessaires pour y parvenir sont complexes et demandent beaucoup de temps et de recherches. Cette façon de faire limite l'expansion du marché des insectes. Afin d'avoir l'effet contraire, Santé Canada pourrait soutenir financièrement et techniquement les entrepreneurs désirant effectuer ce genre d'analyse pour d'autres espèces. Cela encouragerait plus d'entrepreneurs à se lancer dans ce domaine et permettrait une diversification dans l'industrie. Une liste des espèces approuvées pour la consommation humaine pourrait être développée.
- Statuer sur la question du bien-être des insectes et mettre en place des balises de référence  
La question du bien-être animal des insectes est encore ambiguë et cela mène à différentes pratiques d'élevages pouvant affecter le bien-être des insectes. Pour remédier à la situation, la question doit être tranchée, à l'aide de recherches démontrées pour pouvoir mettre en place des balises de référence claires. On entend par là des indications sur la densité d'insectes par volume d'espace, sur le type de mise à mort, etc.
- Fixer des mesures de prévention du risque allergique pour les consommateurs et en milieu d'élevage

Le risque allergique est bien présent pour les consommateurs en plus des risques de développement d'allergies en milieu de production. La mise en place de mesures de prévention au risque allergique dans ces deux milieux permettrait de limiter les dangers qui y sont reliés.

## 5.2 Aux producteurs

Les recommandations qui suivent s'adressent aux producteurs d'insectes.

- Évaluer les régimes alimentaires permettant l'atteinte de valeurs nutritives désirées  
Comme les valeurs nutritives des insectes dépendent grandement de leur alimentation, des tests alimentaires permettraient sans aucun doute d'améliorer certains teneurs nutritives des insectes afin d'atteindre des objectifs particuliers (p. ex. des insectes à très forte teneur en protéines, ou en fer, ou d'un certain goût, etc.). Dans l'évaluation des différents aliments, il faut toujours que ce soit fait dans l'optique, actuellement, d'un coût raisonnable, bien que les résultats du sondage n'aient pas suggéré que le coût soit une forte limite pour les consommateurs sondés, et d'une qualité acceptable. L'élevage d'insectes sur des résidus organiques pour l'alimentation animale doit également faire l'objet de recherches afin d'évaluer les types de résidus acceptables et les dangers associés.
- Développer des procédés de production automatisés permettant une diminution des coûts  
Étant donné que les techniques de production actuelles nécessitent beaucoup de

manipulations humaines et ne sont que peu automatisées, cela engendre des coûts importants qui sont ensuite répercutés sur les produits. Le développement de procédés automatisés accélérant la production permettra de réduire les coûts et ainsi augmenter les marges de profit. Il peut s'agir de systèmes d'abreuvoirs pour les insectes, de systèmes permettant le nettoyage des cuves (ou du sol, dépendamment du type de production), de transport des œufs, etc.

- Tester les conditions d'élevage optimales  
Évaluer, pour chaque espèce, les conditions d'élevage qui sont optimales pour la performance de la production. Il s'agit d'influencer la température, l'éclairage, l'humidité, les lieux de pontes, etc. jusqu'à une performance optimale qui sera par la suite répétée.

### 5.3 Aux transformateurs

- Voici la recommandation qui vise les transformateurs de produits à base d'insectes.
- Développer une offre de produits plus alléchante pour les consommateurs  
Étant donné qu'on ne retrouve que peu de produits d'insectes sur le marché, cela rend difficile d'intégrer les insectes dans l'alimentation. La farine d'insectes et les insectes entiers rôtis ne constituent pas une offre de produits suffisamment attirante pour les consommateurs. Une augmentation du nombre de produits à base d'insectes aurait un effet bénéfique pour faire croître la popularité de ce type de produits. Des essais visant la production de produits différents, comme des pâtes alimentaires, des sauces tomates, des pâtisseries, des confiseries, des chips, etc. seraient nécessaires. Il existe déjà une variété assez importante de produits à travers le monde. Une comparaison avec ces autres produits devrait pouvoir être faite en gardant en tête que selon les réponses au sondage, les produits où les insectes sont invisibles ont plus de chances d'être essayés.

### 5.4 À l'ensemble des acteurs de l'industrie

Ces recommandations doivent être prises en compte par les acteurs de l'industrie, qui est majoritairement constituée des producteurs et des transformateurs.

- Créer un regroupement des entreprises dans l'industrie des insectes dédiés à l'alimentation animale et humaine

Au même titre que les nombreux groupement dans différents domaine se veut un regroupement des acteurs de l'industrie des insectes pour la représenter devant les instances gouvernementales, un regroupement des acteurs de l'industrie des insectes destinés à l'alimentation humaine permettrait de faciliter le développement du marché. Une collaboration entre les acteurs, qui sont encore peu nombreux, permettra de diversifier l'offre et de favoriser un déploiement de l'industrie à plus grande échelle en même temps. En travaillant ensemble, les parties prenantes de l'industrie devrait trouver des solutions afin d'arriver à réduire le prix des produits. Il faudrait également tenter de distribuer les produits dans les magasins grande surface qui sont fréquentés par la majorité des consommateurs, comme les épiceries.

- Augmenter l'information, la sensibilisation et l'éducation du public par différentes approches  
Afin de faire connaître plus largement les avantages des insectes et les produits qui en sont issus, il est nécessaire d'entreprendre des démarches de publicité de masse. Il s'agit d'informer une plus grande partie de la population sur ce nouveau segment de marché et les

avantages qu'il procure. Plusieurs façons d'y arriver existent : déploiement publicitaire, participation à des événements, partage dans les réseaux sociaux, appel aux médias, etc. Il est certain que ce genre de programme implique des coûts qui peuvent être importants, mais en rassemblant les différents acteurs du domaine, cela ouvre plus grand le champ des possibilités. Il s'agit d'ailleurs d'un objectif de la NAEIC. Les informations délivrées dans les messages

devraient toucher, comme c'est déjà le cas, aux avantages environnementaux des insectes et à leurs valeurs nutritionnelles intéressantes, mais aussi au goût des insectes, qui n'est pas déplaisant, et aux nombreux usages qu'on peut en faire. Le but est de transformer l'image négative qu'ont les gens des insectes.

- Effectuer une analyse de cycle de vie dans le contexte Béninois avec les paramètres pertinents Afin d'obtenir une meilleure idée des impacts environnementaux d'une production d'insectes au Bénin l'ACV devrait tenir compte de l'ensemble des paramètres pertinents. Ainsi, elle devrait se pencher sur la production des espèces d'insectes les plus produites, soit les mouches domestiques et les mouche soldat noires. L'ACV doit prendre en compte un régime alimentaire adapté aux insectes et dont le prix des aliments reste raisonnable. De plus, les techniques de production actuelles doivent être prises en compte avec les sources d'énergies locales (hydroélectricité). Un contexte d'analyse où la production est de grande échelle permettra également d'obtenir des données plus réalistes. Il pourrait également être intéressant d'intégrer la phase de conditionnement et de transformation des insectes dans l'ACV pour obtenir un tableau complet de la situation. Enfin, la liste des impacts qui sont évalués devrait être exhaustive, comme Smetana (2016). Idéalement, de multiples ACV devraient être faites pour établir les espèces, le régime alimentaire et les conditions optimales de production permettant le moins d'impacts sur l'environnement.

#### **IV. CONCLUSION**

De part et d'autres dans le monde l'industrie de l'insecte prend de l'ampleur et il paraît évident de trouver d'autres source de protéines durables.L'émergente industrie des insectes présente un potentiel intéressant pour l'alimentation. Confrontée à un futur où l'agriculture et les denrées alimentaires peuvent devenir des enjeux importants, l'industrie des insectes présente une solution attrayante. Les éléments soulevés dans cet essai tendent en effet à démontrer que les insectes peuvent faire partie de la solution.

Les différents objectifs formulés n'ont pas été atteints à travers les chapitres du travail. Un survol de la problématique actuelle a permis de comprendre que l'industrie des insectes est une industrie émergente qui n'est pas encore exploités a sa juste valeur. Même si les insectes sont utilisés pour différents autres usages particuliers, l'insecte comme aliment ne plaît pas à tout le monde. Toutefois, ailleurs sur la planète et pour beaucoup de gens, les insectes font partie de la diète quotidienne et sont consommés avec plaisir. Cependant, dans les pays d'Amérique du Sud, d'Asie, d'Afrique et d'Océanie, les insectes font partie de la culture et constituent, pour certains, une source d'aliments de subsistance importante.

Les parties prenantes reliées à l'industrie des insectes sont nombreuses et chacune présente un degré d'importance différent. Les deux parties prenantes centrales sont les producteurs



d'insectes et les transformateurs de produits à base d'insectes. Ce sont les piliers centraux qui cherchent à développer l'industrie. Ensuite, des parties prenantes principales gravitent autour, comme les différents organismes gouvernementaux qui appliquent des lois qu'il est nécessaire de respecter. Les consommateurs et les détaillants sont également principaux, car ce sont eux qui permettent à l'industrie d'exister. D'autres parties prenantes viennent ensuite influencer l'industrie, comme les financiers et les fournisseurs.

L'analyse des enjeux liés à l'industrie des insectes a permis l'atteinte de l'objectif principal du travail. L'analyse des enjeux environnementaux, malgré bien des limites, démontre une empreinte environnementale des insectes plus faible que pour la viande conventionnelle et soutient la considération des insectes comme intéressants pour l'environnement. Certaines questions éthiques peuvent encore être posées, mais, à priori, le constat est favorable. Les enjeux sociaux permettent de comprendre que malgré une relation historique négative avec les insectes en France, les gens tendent à s'ouvrir aux nouvelles pratiques et à l'idée de manger des insectes. Toutefois, avant d'observer un réel changement d'habitude et d'attitude, il faudra encore du temps. Les gens perçoivent les avantages que procurent les insectes, mais ne sont pas encore suffisamment attirés par eux. D'un point de vue nutritionnel, les insectes sont très intéressants et méritent qu'on leur donne plus de place, notamment en ce qui a trait à leur teneur en protéines et en matières grasses. En plus, les valeurs nutritives des insectes peuvent être améliorées de différentes façons, comme en modifiant les aliments qui leurs sont donnés. Les insectes présentent également relativement peu de dangers pour la santé. D'un point de vue économique, il existe encore des difficultés, même si le potentiel de marché est réel et que les insectes s'inscrivent dans la tendance alimentaire actuelle en France qui est aux produits exotiques. Toutefois, l'industrie est trop nouvelle et les financiers la perçoivent comme encore trop risquée. Cela freine les entrepreneurs qui veulent se lancer dans ce domaine et qui doivent trouver du financement par d'autres alternatives. Plusieurs se sont d'ailleurs tournés vers le sociofinancement. Le marketing et la communication entourant l'industrie des insectes sont encore peu importants et cela n'est pas favorable à son expansion. De surcroît, le prix des produits est très élevé, souvent plus que le double des produits aux valeurs nutritives similaires, et il est difficile de trouver les endroits où se procurer des produits à base d'insectes. L'aspect législatif n'est pas vraiment un frein en France, mais ne favorise pas non plus l'industrie. Il y a dix espèces d'insectes qui sont considérées comme de nouveaux aliments et doivent démontrer un antécédent d'innocuité ou être évaluées. Il n'y a pas de normes qui encadrent la production d'insectes à proprement dit, seulement des normes de salubrité et d'hygiène pour la transformation. Les enjeux techniques démontrent que les productions d'insectes peuvent présenter certaines caractéristiques communes, comme le contrôle des conditions d'élevage, mais que les méthodes actuelles pourraient être améliorées grâce à l'automatisation des procédés d'alimentation, de récolte et de transformation afin de diminuer les coûts. Il existe certaines espèces d'insectes qui sont d'ailleurs plus favorables à la production industrielle, comme les ténébrions meuniers (*Tenebrio molitor*) et la black soldier fly (*Hemertia illucens*).

L'analyse des enjeux a permis d'identifier lesquels sont favorables et lesquels sont défavorables à l'industrie des insectes tout en permettant de cibler les points faibles actuels de l'industrie. Les enjeux environnementaux et nutritionnels sont favorables au déploiement de l'industrie des insectes alors que les enjeux sociaux et les enjeux économiques sont encore défavorables. Les enjeux législatifs et les enjeux techniques ne sont ni favorables ni défavorables.

Afin d'améliorer ces résultats, des recommandations sont faites à différentes parties prenantes de l'industrie, majoritairement aux gouvernements, aux producteurs et aux transformateurs. Ces recommandations ciblent les points faibles de l'industrie et devraient permettre d'en accélérer la croissance. Parmi celles-ci, une vise à faciliter l'accès à du financement pour les entreprises de ce secteur, une autre propose d'augmenter l'offre de produits transformés aux consommateurs alors qu'une autre met de l'avant la possibilité d'évaluer l'innocuité de plus d'espèces d'insectes.

L'ensemble de cette analyse apparaît pertinent dans une optique de raréfaction des ressources naturelles nécessaires à la production agricole et une augmentation de la demande en nourriture. L'option des insectes comme alternative à la viande est intéressante et semble engendrer moins d'impacts sur l'environnement. Mais ne serait-il pas mieux d'éliminer complètement la viande de son alimentation et se tourner uniquement vers les plantes?

## RÉFÉRENCES

ANSES. (2015). AVIS de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à : « la valorisation des insectes dans l'alimentation et l'état des lieux des connaissances scientifiques sur les risques sanitaires en lien avec la consommation des insectes ». ANSES, section Avis – Rapport – Publication – Rapports sur saisine. Repéré à <https://www.anses.fr/fr/system/files/BIORISK2014sa0153.pdf>

Enterra Feed. (s.d.). Enterra Feed Corporation: Renewable Food for Animals and Plants. *Recycling council of British Columbia*. Repéré à [http://www.rcbc.ca/files/u7/RCBC2015\\_EnterraLeung.pdf](http://www.rcbc.ca/files/u7/RCBC2015_EnterraLeung.pdf)

Entomo Farm. (2015a). Une ferme à insectes unique. *Entomo Farm, section À propos*. Repéré à <http://entomo.farm/entomo-farm/eleveur-insectes-france/>

FAO. (2009d). 2050 : 2,3 milliards de bouches de plus à nourrir. *FAO, section Médias – Nouvelles*. Repéré à <http://www.fao.org/news/story/fr/item/35656/icode/>

FAO. (2014). Insectes comestibles: Perspectives pour la sécurité alimentaire et l'alimentation animale. *FAO, section Publications*. Repéré à <http://www.fao.org/3/a-i3253f.pdf>

FAO, Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (2013) Insectes comestibles, perspectives pour la sécurité alimentaire et l'alimentation animale. <http://www.fao.org/3/a-i3253f.pdf> E-ISBN 978-92-5-207596-7

FAO. 2016. La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2016. Contribuer à la sécurité alimentaire et à la nutrition de tous. Rome. 224 pages.

Zheng, L., Li, Q., Zhang, J., Yu, Z. 2012. Double the biodiesel yield : Rearing black soldier fly larvae, *Hermetia illucens*, on solid residual fraction of restaurant waste after grease extraction for biodiesel production. *Renewable Energy* 41 (2012) 75-79.

Surendra, K.C., Olivier, R., Tomberlin, J.K., Jha, R. 2016. Bioconversion of organic wastes into biodiesel and animal feed via insect farming. *Renewable Energy* 25 (3026) 197-202.

Ghaly, A.E., Alkoaik, F.N. 2009. The yellow mealworm as a novel source of protein. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences* 4 (4): 319-331.

Rumpold, B.A., Schlüder, O. 2015. Insect-based protein sources and their potential for human consumption: Nutritional composition and processing. *Animal Frontiers* 5 (2): 20-24.

Li, L., Liu, H. 2013. Feasibility of feeding yellow mealworm (*Tenebrio molitor* L.) in bioregenerative life support systems as a source of animal protein for humans. *Acta Astronautica* 92 (1) 103-109.

Ramos-Elorduy, J., González, E.A., Hernandez, AIR., Pino, J.M. 2002. Use of *Tenebrio molitor* to recycle organic wastes and as feed for broiler chickens. DOI <http://dx.doi.org/10.1603/0022-0493-95.1.214>. 214-220.

Yang, Y., Tang, L., Tong, L., Liu, H. 2009. Silkworms culture as a source of protein for humans in space. *Advances in Space Research* 43: 1236-1242. 12. Klasing 2000

Adeyeye, E.I., 2011. Fatty acid composition of *Zonocerus variegatus*, *Macrotermes bellicosus* and *Anacardium occidentale* kernel. *International Journal of Pharma and Bio Sciences* 2 (1).

<http://www.anapsid.org/crickets.html>

<http://www.triciaswaterdragon.com/crickets.htm#Keeping>

Finke, M.D. 2012. Complete nutrient content of four species of feeder insects. *Zoo Biology* : 1-15.

Charlton, A.J., Dickinson, M., Wakefield, M.E., Fitches, E., Kenis, M., Han, R., Zhu, F., Kone, N., Grant, M., Devic, E., Bruggeman, G., Prior, R., Smith,

R. 2015 Exploring the chemical safety of fly larvae as a source of protein for animal feed. *Journal of Insects as Food and Feed* 1 (1): 7-16.

Hwangbo, J., Hong, E.C., Jang, A., Kang, H.K., Oh, J.S., Kim, B.W., Park, B.S. (2009) Utilization of house fly-maggots, a feed supplement in the production of broilers chickens. *Journal of Environmental Biology*, 30(4): 609-614.

Téguia, A., Mpoame, M., Okourou Mba, J.A. (2002) The production performance of broiler birds as affected by the replacement of fish meal by maggot meal in the starter and finisher diets. *Tropicultura*, 20(4): 187-192.

Diener, S., Zurbrügg, C., Gutiérrez, F.R., Nguyen, D.H., Morel, A., Koottatep, T., Tockner, K. 2011. Black soldier fly larvae for organic waste treatment – Prospects and constraints. In *Proceedings of the WasteSafe , 2nd International Conference on Solid Waste Management in the Developing Countries*. Khulna, Bangladesh.

Newton, L., Sheppard, C., Watson, D.E., Burtle, G., Dove, R. (2005) Using the black soldier fly, *Hermetia illucens*, as a value-added tool for the management of swine manure. Report for Mike Williams, Director of the animal and poultry waste management center, North Carolina State University, Raleigh, NC.

Sheppard, D.C., Tomberlin, J.K., Joyce, J.A., Kiser, B.C., Sumner, S.M. 2002. Rearing methods for the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae). *Journal of Medical Entomology*, 39(4):695-698.

Bondari, K., Sheppard, D.C. 1987. Soldier fly, *Hermetia illucens* L., larvae as feed for channel catfish, *Ictalurus punctatus* (Rafinesque), and blue tilapia, *Oreochromis aureus* (Steindachner). *Aqua. Fish. Manag.*, 18: 209-220.

Hale, O.M. 1973. Dried *Hermetia illucens* larvae (Diptera: Stratiomyidae) as a feed additive for poultry. *Journal of Georgia Entomological Society*, 8: 16-20.

Newton, G.L., Booram, C.V., Barker, R.W., Hale, O.M. 1977. Dried *Hermetia illucens* larvae meal as a supplement for swine. *Journal of animal science*, 44: 395-400.

St-Hilaire, S., Sheppard, C., Tomberlin, J.K., Irving, S., Newton, L., McGuire, M.A., Mosley, E.E. 2007. Fly prepupae as a feedstuff for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Journal of the World Aquaculture Society*. 38(1): 59-67.

<http://www.telegraph.co.uk/news/worldnews/asia/china/10399929/Inside-a-Chinese-cockroach-farm.html> Page visitée le 18 janvier 2017

<http://www.latimes.com/world/la-fg-c1-china-cockroach-20131015-dto-htmlstory.html> Page visitée le 18 janvier 2017

<http://blattaria.fr/> Page visitée le 18 janvier 2017

Mushambanyi, B.M.T., Balezi, N. 2002. Utilisation des blattes et des termites comme substituts potentiels de la farine de viande dans l'alimentation des poulets de chair au Sud-Kivu, République Démocratique du Congo. *Tropicultura* 20(1): 10-16.

<https://www.health.belgium.be/fr/alimentation/securite-alimentaire/nouveaux-aliments/quest-ce-quun-nouvel-aliment>

**ANNEXES: PRODUITS VENDU A BASES D'INSECTES DANS  
L'ALIMENTATION HUMAINE UTILISÉS À TITRE COMPARATIF AVEC**



