



Élaboration d'un manuel de production de Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) pour l'alimentation des poules pondeuses en Polynésie française et fourniture de 5 kits

Rapport final

TETOHU Jade (Technival/Institut Louis Malardé)

OCTOBRE 2021



Le projet régional océanien des territoires pour la gestion durable des écosystèmes, PROTEGE, est un projet intégré qui vise à réduire la vulnérabilité des écosystèmes face aux impacts du changement climatique en accroissant les capacités d'adaptation et la résilience. Il cible des activités de gestion, de conservation et d'utilisation durables de la diversité biologique et de ses éléments en y associant la ressource en eau. Il est financé par le 11^{ème} Fonds européen de développement (FED) au bénéfice des territoires de la Nouvelle-Calédonie, de la Polynésie française, de Pitcairn et de Wallis et Futuna.

L'objectif général du projet est de construire un développement durable et résilient des économies des pays et territoires d'Outre-mer (PTOM) face au changement climatique en s'appuyant sur la biodiversité et les ressources naturelles renouvelables.

Le premier objectif spécifique vise à renforcer la durabilité, l'adaptation au changement climatique et l'autonomie des principales filières du secteur primaire. Il est décliné en deux thèmes :

- Thème 1 : la transition agro-écologique est opérée pour une agriculture, notamment biologique, adaptée au changement climatique et respectueuse de la biodiversité ; les ressources forestières sont gérées de manière intégrée et durable.
 - Thème 2 : les ressources récifo-lagonaires et l'aquaculture sont gérées de manière durable, intégrée et adaptée aux économies insulaires et au changement climatique.

Le second objectif spécifique veut renforcer la sécurité des services écosystémiques en préservant la ressource en eau et la biodiversité. Il se décline également en 2 thèmes :

- Thème 3 : l'eau est gérée de manière intégrée et adaptée au changement climatique
- Thème 4 : les espèces exotiques envahissantes sont gérées pour renforcer la protection, la résilience et la restauration des services écosystémiques et de la biodiversité terrestre.

La gestion du projet a été confiée à la Communauté du Pacifique (CPS) pour les thèmes 1, 2 et 3 et au programme régional océanien pour l'environnement (PROE) pour le thème 4, par le biais d'une convention de délégation signée le 26 octobre 2018 entre l'Union européenne, la CPS et le PROE. La mise en œuvre du projet est prévue sur 4 ans.

Ce rapport est cité comme suit :

TETOHU Jade, BOSSIN Hervé, Jean-Paul PEILLEX (2021). Élaboration d'un manuel de production de Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) pour l'alimentation des poules pondeuses en Polynésie française et fourniture de 5 kits. Rapport technique. Tahiti (35p)

Cette publication a été produite avec le soutien financier de l'Union européenne. Son contenu relève de la seule responsabilité de la société Technival et ne reflète pas nécessairement les opinions de l'Union européenne.

Partenaires

Ce projet résulte d'un contrat de prestation de services entre la Communauté de Pacifique et Technival. L'équipe de coordination est composée :

- Du prestataire, Technival, par le biais de trois membres.
 - o Cyrille BACHELERY, directeur général,
 - o Jade TETOHU étudiante de l'Université de Polynésie française, au sein de l'UMR 241 EIO réalisant sa thèse au sein de l'École doctorale du Pacifique,
 - o sous la direction de Hervé BOSSIN, directeur du laboratoire d'entomologie médicale de l'Institut Louis Malardé,
- De représentants de la Direction de l'Agriculture, Valérie ANTRAS et Julie GRANDGIRARD,
- De l'animatrice PROTEGE au sein de la Direction de l'Agriculture, Karynn MI YOU,
- De la coordonnatrice territoriale PROTEGE pour la Polynésie française, Aurélie THOMASSIN,
- Du coordonnateur régional PROTEGE Agriculture et Foresterie, Clément GANDET.



Remerciements

Le bon déroulement et la concrétisation de ce projet ont été possibles grâce à la participation active de plusieurs acteurs. Technival adresse ses remerciements à tous ceux qui ont contribué à cette étude et plus particulièrement :

Aux cinq aviculteurs volontaires pour faire partie des exploitations pilotes, chez qui les prototypes des kits d'élevages de larves de BSF ont été installés. Merci pour votre confiance, pour vos retours constructifs et pour le temps que vous avez consacré à ce projet. Une pensée particulière pour l'aviculteur A qui a montré une implication exemplaire, merci pour ces échanges riches d'enseignements et cette participation effective.

Aux représentants de la Direction de l'Agriculture, pour l'expertise apportée, pour les discussions enrichissantes et pour la pertinence des conseils qui ont permis d'améliorer la qualité de ce travail.

Au Laboratoire d'Entomologie Médicale (LEM) de l'Institut Louis Malardé, qui héberge le pilote de production de larves de BSF, fruit du partenariat public-privé entre l'Institut Louis Malardé et Technival. Pour la contribution à l'encadrement scientifique de cette étude et le soutien matériel apporté.

Table des matières

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Introduction | 8 |
| 1.1. Contexte de l'étude | 8 |
| 1.2. Objectifs de l'étude | 9 |
| 2. La mouche soldat noire..... | 10 |
| 2.1. Biologie de l'insecte..... | 10 |
| 2.2. Intérêt de la BSF | 12 |
| 2.2.1. Problématiques alimentaires | 12 |
| 2.2.2. Gestion des déchets | 13 |
| 3. Méthodologie | 13 |
| 3.1. Identification et typologie des exploitations pilotes..... | 13 |
| 3.2. Conception du kit de production de larves de BSF..... | 14 |
| 3.2.1. Méthode QQQQCPC | 14 |
| 3.2.2. Expression fonctionnelle du besoin..... | 15 |
| 4. Détermination des paramètres de production des larves | 16 |
| 4.1. Prototype..... | 16 |
| 4.2. Déchets et maintien de la production de larves de BSF..... | 17 |
| 4.3. Rendements de production..... | 17 |
| 5. Evaluation de la qualité intrinsèque des larves de BSF et de son impact sur les élevages de poules et leur productivité..... | 18 |
| 5.1. Les besoins nutritionnels des poules pondeuses | 18 |
| 5.2. Analyses nutritionnelles des larves de BSF..... | 19 |
| 5.3. Test d'appétence des larves de BSF chez les poules pondeuses..... | 22 |
| 5.3.1. Situation initiale..... | 22 |
| 5.3.2. Calcul de la ration | 23 |
| 5.3.3. Résultats | 24 |
| 5.3.4. Conclusion | 25 |
| 6. Bilan de l'action..... | 25 |

Résumé exécutif

| | |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Titre de l'étude | Élaboration d'un manuel de production de Black Soldier Fly (<i>Hermetia illucens</i>) pour l'alimentation des poules pondeuses en Polynésie française et fourniture de 5 kits |
| Auteurs | TETOHU Jade, BOSSIN Hervé, Jean-Paul PEILLEX |
| Collaborateurs | ANTRAS Valérie |
| Editeurs | GRANDGIRARD Julie, MI YOU Karynn |
| Année d'édition du rapport | 2021 |

| | |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Objectifs | <p>Détermination des paramètres de production des larves de BSF sur trois à cinq sites pilotes de Tahiti sélectionnés par la DAG</p> <p>Évaluation de la qualité intrinsèque des larves produites et des impacts de cet aliment sur les élevages de poules et leur production</p> <p>Rédaction d'un manuel de production de larves de BSF et le développement de kits</p> |
| Contexte | <p>Dans le cadre du thème 1 du programme PROTEGE, la DAG et la société Technival travaillent en collaboration pour développer la production artisanale de larves de BSF chez les petits éleveurs de volailles à travers un kit d'élevage. Les larves de BSF produites à partir des déchets de l'exploitation viendront compléter l'alimentation des poules pondeuses. Cette production locale d'insectes directement par l'éleveur de volailles est un modèle d'économie circulaire en circuit court et de développement durable.</p> |
| Méthodologie | <p>Cinq exploitations pilotes sont choisies par la DAG pour participer au projet. Un kit de production de larves de BSF est développé et distribué au sein des exploitations pour être mis en test. Le bon fonctionnement du kit est suivi par l'aviculteur qui l'alimente à partir des déchets de son exploitation. Des tests d'appétence sont réalisés au sein d'un élevage pour mesurer l'influence des larves de BSF sur la santé et la production des poules. Des analyses nutritionnelles des larves sont réalisées et confrontées aux besoins nutritifs des poules pondeuses. A partir du retour d'expérience des aviculteurs, un guide d'élevage est développé pour rendre accessible la production artisanale de larves de BSF chez les petits éleveurs de Tahiti et des îles.</p> |

| | | | |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------|
| <p>Résultats et conclusions</p> | <p>Le kit testé par les aviculteurs assure une production de larves de BSF et permet de maintenir un élevage dans le temps, mais la méthode de récolte n'est pas optimale. Des modifications ont donc été apportées pour proposer une seconde version du kit.</p> <p>Les valeurs nutritionnelles des larves de BSF sont particulièrement intéressantes pour l'alimentation des poules pondeuses puisque les besoins en protéines, lipides et acides aminés essentiels (méthionine et lysine) sont couverts. Néanmoins pour proposer un ingrédient complet et adapté à l'alimentation des poules pondeuses, il sera nécessaire de se pencher sur les aspects de transformation des larves de BSF et de formulation en nutrition animale.</p> <p>L'utilisation du kit dans les petits élevages de poules pondeuses est adapté pour les cheptels de petite taille et essentiellement en complément d'alimentation. En revanche, pour nourrir un cheptel d'une ou plusieurs centaines de poules pondeuses, la capacité de production d'un kit BSF devient limitante. Le passage à une unité de production intermédiaire devient alors incontournable pour produire plusieurs dizaines de kilogrammes de larves et ainsi dégrader plusieurs centaines de kilogrammes de déchets.</p> <p>Les tests d'appétence réalisés se sont montrés encourageants mais des biais dans l'exécution du pilote nécessitent de compléter ces essais par des tests complémentaires ou des répliques.</p> | | |
| <p>Limites de l'étude</p> | <p>Le kit de production de larves de BSF permet de récolter des larves à un certain stade (12-14 semaines, stade de prénymphe). Si les éleveurs souhaitent récolter des larves à un stade plus précoce, il est nécessaire d'ajouter une étape de tamisage, pour séparer les larves du substrat.</p> <p>Le profil nutritionnel de la larve de BSF est dépendant d'une part de l'alimentation au cours de la croissance larvaire et d'autre part du stade de récolte des larves. L'approfondissement de ces aspects à travers l'analyse des taux de protéines, lipides et acides aminés à différents stades et suivant différents régimes alimentaires des larves de BSF serait pertinent afin de mieux évaluer la qualité nutritive des larves produites.</p> | | |
| <p>Evolutions</p> | <p>3</p> | <p>Date de la version</p> | <p>29/11/2021</p> |

1. Introduction

1.1. Contexte de l'étude

Ce projet s'inscrit dans le thème 1 du programme PROTEGE « Agriculture et foresterie » qui a pour objectif d'appuyer la transition agro-écologique vers une agriculture biologique, adaptée au changement climatique et respectueuse de la biodiversité, et de gérer les ressources forestières de manière intégrée et durable.

La volonté de la Direction de l'Agriculture (DAG) de soutenir le développement de petits élevages de poules pondeuses (300-500 animaux) sur l'ensemble de la Polynésie française est en parfaite adéquation avec les attendus du thème 1 pour renforcer la viabilité technique des systèmes agro-écologiques et lever les freins au développement de l'agriculture biologique. En effet, la DAG souhaite développer une production locale, dans l'idéal en agriculture biologique, en s'appuyant sur des circuits courts et en valorisant des ressources présentes sur les différentes îles.

La mouche soldat noire (*Hermetia illucens*) ou Black Soldier Fly (BSF) est un insecte cosmopolite. Originaire du continent Américain, on la retrouve aujourd'hui dans le monde entier, et jusqu'en Polynésie française. Les larves de BSF sont doublement intéressantes car elles assurent une bioconversion rapide d'une grande variété de biodéchets (tourteaux de coprah, déchets alimentaires, déchets de poissons, etc.) et sont riches en protéines (42% environ) et en lipides (35% environ) ce qui en fait un aliment de choix pour l'aviculture, l'aquaculture et d'autres filières de production animale. Outre les larves, le résidu de bioconversion forme un engrais organique idéal pour fertiliser les plantes. Enfin, l'exosquelette de cet insecte est riche en chitine (Soetemans et al., 2020), molécule très recherchée, aux applications multiples dans des domaines industriels très variés (cosmétique, santé, industrie du vin, etc.).

À Tahiti, la BSF est au cœur du programme de recherche Rao Puha d'économie circulaire, lauréat du financement « Recherche & Innovation 2020 » de la Délégation à la Recherche. Ces travaux sont le fruit d'un partenariat public-privé entre la société Technival et le laboratoire d'entomologie médicale de l'Institut Louis Malardé. Avec un pilote d'élevage de larves de BSF situé à Paea, la doctorante TETOHU Jade de l'Université de Polynésie française réalise sa thèse sur la valorisation industrielle d'un procédé de production de larves de BSF par bioconversion de déchets agricoles et agro-industriels pour l'alimentation animale.

Dans le cadre du thème 1 du programme PROTEGE, la DAG et la société Technival travaillent en collaboration pour développer la production artisanale de larves de BSF chez les petits éleveurs de volailles à travers un kit d'élevage. Les larves de BSF produites à partir des déchets de l'exploitation viendront compléter l'alimentation des poules pondeuses. Cette production locale d'insectes directement par l'éleveur de volailles est un modèle d'économie circulaire en circuit court et de développement durable.

1.2. Objectifs de l'étude

L'objectif à terme est de produire un guide à l'attention des petites exploitations de poules pondeuses, permettant de produire en totale autonomie son élevage de larves de BSF pour l'alimentation de leurs cheptels. Le guide sera accompagné d'un kit BSF permettant à l'éleveur d'initier sa production de larves d'insectes à petite échelle. Pour parvenir à cet objectif, le projet s'articule autour de trois volets :

- La détermination des paramètres de production des larves de BSF sur trois à cinq sites pilotes de Tahiti sélectionnés par la DAG,
- L'évaluation de la qualité intrinsèque des larves produites et des impacts de cet aliment sur les élevages de poules et leur production,
- La rédaction d'un manuel de production de larves de BSF et le développement de kits.

2. La mouche soldat noire

2.1. Biologie de l'insecte

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

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

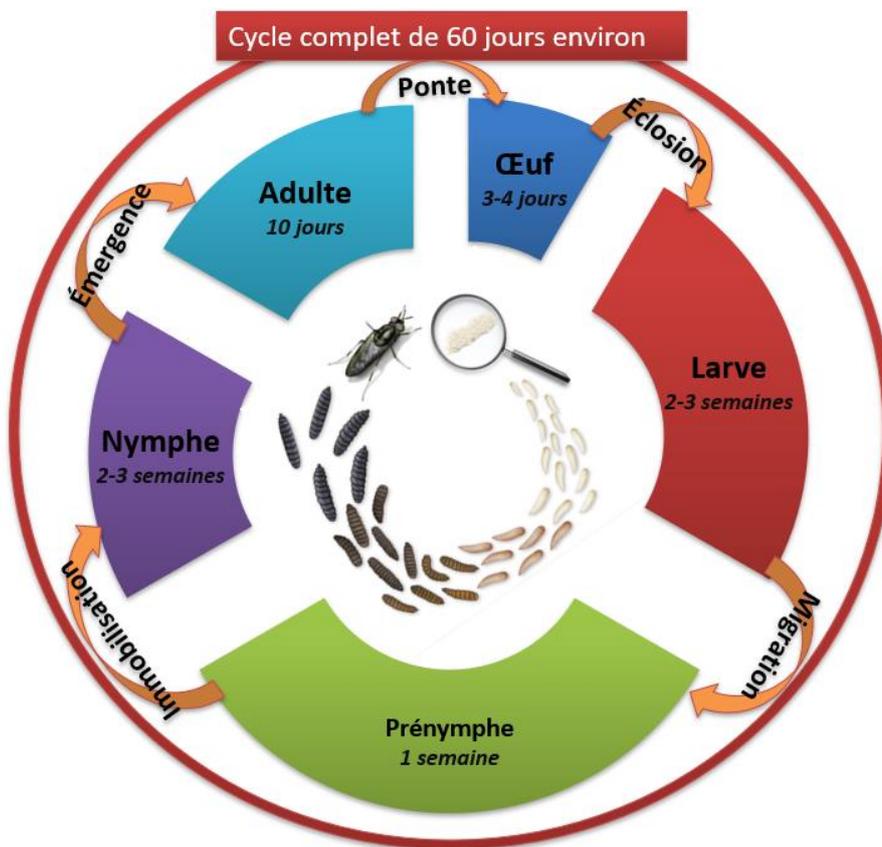


Figure 1 : Cycle de vie de la BSF, illustration tirée et adaptée de <http://uniquebiotechnology.com/>

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



Figure 2 : Pontes de BSF observée à l'œil nu et à la loupe binoculaire (Gx30) © J.TETOHU, TECHNIVAL

Les larves de BSF sont voraces et passent toute leur vie de larve à se nourrir. C'est pendant cette période que les réserves de graisse et de protéines sont stockées (Barragan-Fonseca et al., 2017). Au moment de l'éclosion, la larve est blanche et mesure quelques millimètres, au cours de sa croissance, elle pourra mesurer jusqu'à 27mm et sa couleur va progressivement s'assombrir (Figure 3). Dans des conditions optimales d'alimentation, la croissance des larves dure deux semaines, néanmoins la larve de BSF est un organisme résilient qui a la capacité de prolonger son cycle de vie lorsque les conditions ne sont pas favorables (Dortmans et al., 2017).



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

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

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

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



Figure 4 : Photos de BSF adultes (gauche), femelle BSF en train de pondre (droite) © J.TETOHU, TECHNIVAL

2.2. Intérêt de la BSF

Les larves de BSF sont en mesure d'apporter des solutions prometteuses aux défis de l'agriculture moderne que sont les coûts élevés de l'alimentation animale et le traitement de grandes quantités de déchets animaux et végétaux (Bullock et al., 2013).

2.2.1. Problématiques alimentaires

Sous les effets combinés de la croissance démographique et de l'élévation du niveau de vie, les besoins de l'humanité en protéines augmentent. Les ressources se faisant rares, le prix des matières premières pour l'alimentation animale est en hausse ces dernières années, ce qui peut représenter jusqu'à 70% des coûts des systèmes de production animale (van Huis, 2013). Dans le contexte local, ces limites sont amplifiées par le caractère insulaire qui soumet la Polynésie à des délais d'acheminement, des coûts et des difficultés d'approvisionnement.

Les principaux ingrédients utilisés dans l'alimentation animale incluent aujourd'hui le soja, les farines et l'huile de poisson, plusieurs céréales, les farines de poisson étant la principale source de protéines. Or aujourd'hui, la culture du soja nécessite des terres dont la disponibilité est réduite à l'échelle mondiale (Masuda & Goldsmith, 2009), tandis que la surexploitation marine altère directement l'abondance et la diversité des poissons dont sont extraits farines et huiles (Tacon & Metian, 2008).

Pour surmonter ces limites, des efforts de recherches sont déployés pour diversifier les sources de protéines animales, tout en minimisant l'utilisation des ressources naturelles (Godfray et al., 2010). La BSF est donc à l'étude comme une source alternative viable et durable de protéines et autres molécules d'intérêts pour l'alimentation animale.

2.2.2. Gestion des déchets

Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, 1,3 milliard de tonnes de nourriture sont gaspillées par an (FAO, 2011). Ces déchets alimentaires entraînent une augmentation des émissions nocives dans les décharges (méthane, dioxyde de carbone). En plus des déchets alimentaires, la décomposition du fumier dans les structures d'élevage est un contributeur majeur à la production de substances telles que l'ammoniac. L'ensemble de ces substances représentent une menace potentielle pour la santé humaine (FAO, 2013).

Au vu de ses performances en matière de dégradation et de bioconversion, la larve de BSF est ainsi considérée comme un insecte d'intérêt économique important pour la gestion de fumiers, de déchets alimentaires et d'autres types de déchets agro-industriels (Barragan-Fonseca et al., 2017; Li et al., 2011). A ce jour, les valeurs nutritionnelles des larves de BSF sont considérées prometteuses comme aliments de haute qualité, en particulier pour les animaux de production (DeFoliart, 1989; Veldkamp et al., 2012). De plus, les larves de BSF contiennent de hauts niveaux d'acide laurique, qui a un effet antimicrobien sur les pathogènes intestinaux (Kim et al., 2020). Elles ont donc la capacité de réduire les pathogènes comme *Escherichia coli* et *Salmonella spp.* dans les fumiers (Erickson et al., 2004; Lalander et al., 2013) et de prévenir la colonisation de *Musca Domestica* (Furman et al., 1959).

Enfin, le résidu obtenu après la digestion des déchets par les larves de BSF peut être utilisé comme amendement organique naturel pour fertiliser les cultures.

Produite à l'échelle industrielle en Polynésie, la BSF apparaîtrait comme une biotechnologie innovante, permettant d'appuyer la transition d'une économie d'importation vers une économie durable. La mise en place de petites unités de production de larves de BSF encourage les circuits courts de valorisation et de traitement des déchets. Ce projet pilote s'appuie sur la participation des petites exploitations de poules pondeuses pour tester le potentiel de valorisation des larves de BSF pour la gestion des déchets et comme complément nutritif pour l'alimentation des cheptels de poules pondeuses.

3. Méthodologie

3.1. Identification et typologie des exploitations pilotes

En collaboration avec la DAG, 5 aviculteurs ont été identifiés et invités à participer à la présente étude, afin d'installer un pilote d'élevage de larves de BSF dans leur exploitation.

Une première rencontre a eu lieu au sein de l'exploitation de chaque aviculteur. Ce premier échange a permis de présenter les divers intervenants de l'action, d'exposer les objectifs du projet aux exploitants tout en évaluant leur degré de motivation au cours d'une discussion informelle. Cet entretien, guidé par un questionnaire (Annexe 1), a fourni les éléments nécessaires pour établir la typologie de chaque exploitation : type d'élevage, nombre de poules pondeuses, productivité de l'exploitation. L'objectif étant de trouver sur place les ressources nutritives requises pour la production des larves de BSF, un travail d'identification de déchets pouvant être utilisés pour la croissance larvaire a été réalisé (Figure 5). Par ailleurs, les besoins nutritionnels des poules pondeuses ont également été abordés lors de cet échange, basé sur l'expérience de l'aviculteur et de ses habitudes concernant le nourrissage de son cheptel. L'ensemble de ces informations est référencé dans une base de données (Annexe 2).

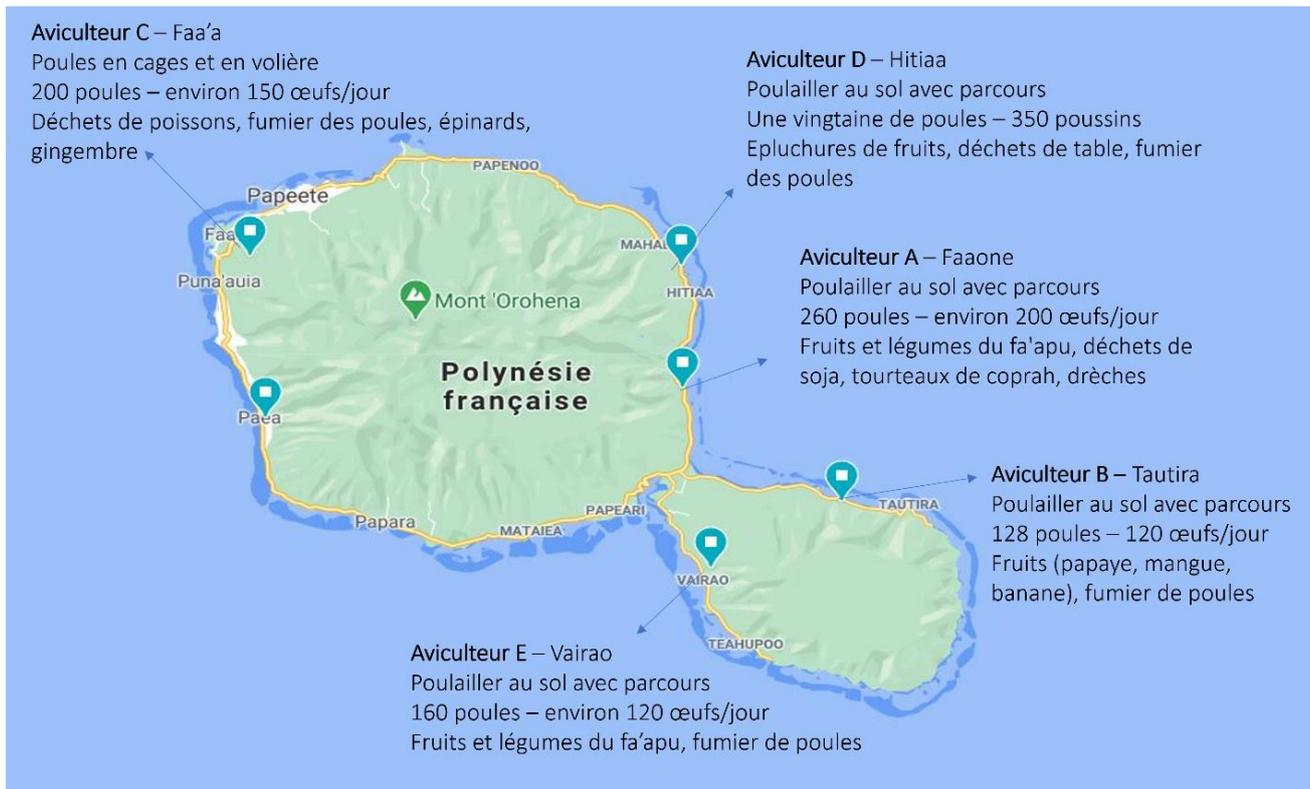


Figure 5 : Répartition géographique des exploitations participant au projet et principales informations recueillies. Google Maps, Données cartographiques 2021, consulté le 16 avril 2021.

Les échanges avec les différents aviculteurs ont permis de connaître leurs attentes vis-à-vis de ce projet. Les coûts liés à l’alimentation de leur élevage restent une charge importante dans le fonctionnement de leur exploitation. La possibilité d’obtenir un complément d’alimentation pour leur cheptel, en produisant une ressource à partir de déchets d’exploitation et sans induire de dépenses supplémentaires, a suscité la curiosité des participants. Enfin ces discussions ont contribué à affiner les objectifs et les contraintes auxquels le kit de production de larves de BSF doit répondre.

3.2. Conception du kit de production de larves de BSF

3.2.1. Méthode QQQQPC

Afin de synthétiser les informations essentielles sur la situation initiale du projet, la méthode QQQQPC a été appliquée. QQQQPC est l’acronyme de quoi, qui, où, quand, comment, pourquoi et combien. Il s’agit d’une méthode de questionnement à caractère logique et systématique. Cette méthode permet d’analyser le contexte, les causes potentielles d’un problème afin de proposer une solution adaptée.

Tableau 1 : Questionnement QQQQPC dans le cadre du développement du kit de production de larves de BSF

De quel besoin s’agit-il ?

Une recherche d’alternative pour l’alimentation des élevages de volailles

| | |
|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Quelles sont les personnes concernées par ce besoin ? | Les petits éleveurs de poules pondeuses |
| Quelle est la zone d'étude ? | Tahiti et ses îles |
| Quand s'exprime ce besoin ? | Durant la période d'élevage |
| Dans quel(s) cas est ressenti ce besoin ? | Lorsque le prix et l'approvisionnement des aliments est un facteur limitant Lorsque l'éleveur veut s'inscrire dans une démarche biologique |
| Quelles sont les raisons qui ont fait apparaître ce besoin ? | L'isolement des îles Les coûts élevés des aliments La dépendance vis-à-vis de l'approvisionnement des aliments |
| Combien de personnes sont concernées par ce besoin ? | Tous les éleveurs |

3.2.2. Expression fonctionnelle du besoin

Tableau 2 : Cahier des charges fonctionnel du kit de production de larves de BSF

| | <i>Fonctions et contraintes</i> | <i>Critères</i> | <i>Niveaux</i> |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| FP1 | Doit permettre de produire des larves de BSF | Quantité de larves | 1 000 – 30 000 larves |
| FP2 | Doit constituer un élevage de larves | Présence d'un bac de croissance | Matière plastique |
| C1 | Doit empêcher les nuisibles (chats, rongeurs, oiseaux) de consommer les larves | Système fermé | Structure solide |
| C2 | Doit être accessible aux femelles sauvages | Présence de points d'accès | <5 perforations par face latérale |
| C3 | Doit permettre le captage des œufs | Présence de pondoirs | <2 planchettes en bois superposées |
| C4 | Doit protéger l'élevage de larves de la pluie | Système fermé | Couvercle imperméable, solide |
| C5 | Doit nécessiter peu de travaux | Installation et entretien | Simple et rapide |
| C6 | Doit être facile à fabriquer dans les îles | Matériaux | Recyclage de fûts ou de bidons, utilisation de bois ou matériaux peu onéreux |
| C7 | Doit permettre de récolter les larves | Sortie des larves possible Compartment de récolte | Revêtement plastique Propre et sec |

Le kit a été conçu et réalisé de façon à répondre aux fonctions et aux contraintes présentées dans le tableau 2. La fonction principale (FP) du kit est de produire des larves de BSF. Sachant qu'une femelle sauvage dépose ses œufs par amas allant de 500 à 1000 œufs, on peut définir comme objectif de démarrage une production de 1000 larves (entre une et trois pontes sauvages) lors de la première semaine. Si les femelles continuent à pondre quelques amas de manière quotidienne, la quantité d'œufs et donc de larves va augmenter de manière exponentielle. En exploitant la base de données de Technival sur le poids des pontes sauvages récoltées chaque jour sur le site du pilote d'élevage de BSF à Paea, il est tout à fait raisonnable d'attendre 3000 nouveaux œufs chaque jour. Il faut donc que le kit soit en mesure d'accueillir plusieurs milliers voire dizaines de milliers de larves avant d'arriver au moment de la récolte. La conception du kit a également dû tenir compte de certaines contraintes (C1 à C7) définies d'une part sur l'expérience et l'expertise acquises par Technival mais également en prenant en considération les besoins des aviculteurs partenaires, tout en s'inscrivant dans un modèle de fabrication artisanal et abordable.

4. Détermination des paramètres de production des larves

4.1. Prototype



Figure 6 : Photos du prototype de kit BSF vu de l'extérieur (gauche) et vu de l'intérieur (droite) © J.TETOHU, TECHNIVAL

Le prototype se présente comme un grand bac de croissance qui accueille la nourriture destinée aux larves (Figure 6). Ce substrat nutritif constitue le milieu de vie des larves, mais il joue également le rôle d'attracteur olfactif. Il permet d'attirer les femelles sauvages et leur procure un environnement favorable à la ponte ainsi qu'à la croissance larvaire. Sur la nourriture est placée une paire de pondeurs pour recueillir les œufs déposés par les femelles BSF sauvages. En effet, la BSF étant naturellement présente sur l'île de Tahiti, le kit de production larvaire prévoit la récolte de pontes de BSF sauvages à partir du réservoir naturel, directement au sein de l'exploitation de chaque éleveur. Le bac de croissance est muni d'un couvercle, pour isoler la nourriture de l'eau de pluie et limiter l'accès aux rongeurs, oiseaux ou autres sources de nuisances. Le couvercle comporte plusieurs petites ouvertures, permettant le passage des femelles BSF sauvages et leur donnant accès aux pondeurs. Deux rampes sont installées dans le bac de croissance pour évaluer et exploiter la capacité d'autorécolte des larves de BSF. Il conviendra de placer un récipient sous chacune d'elle pour collecter les larves au stade de prénymphe, qui cherchent à fuir le substrat alimentaire pour un endroit propre et sec.

Lors de la mise en service du kit faite avec l'apiculteur, le bac de croissance estensemencé par des larves de BSF fournies par Technival. Des larves de BSF de quelques jours sont ainsi placées dans le kit avec les déchets de l'exploitation pour démarrer l'élevage et pour que la BSF s'impose vis-à-vis des autres espèces de mouches en présence. Cette étape permet de réduire la nuisance relative aux autres espèces de mouches.

4.2. Déchets et maintien de la production de larves de BSF

La productivité et le bon fonctionnement du kit sont suivis par les éleveurs qui remplissent de manière hebdomadaire une fiche d'information (Annexe 3). Cette expérience s'est montrée très intéressante par la diversité des déchets d'exploitation utilisés d'un site pilote à l'autre.

Les résidus de coco râpé utilisés par l'apiculteur A apparaissent comme le meilleur attracteur olfactif pour pousser les femelles BSF sauvages à la ponte et donc maximiser la quantité d'œufs sur les pondoirs. Avec ce substrat, le maintien des pontes a été assuré tout au long de l'essai, garantissant une production de larves en continu. Le coco râpé a l'avantage de ne pas être compact et fournit ainsi aux larves un environnement suffisamment ventilé, idéal pour leur bon développement. Les déchets utilisés par l'apiculteur A étaient constitués à 90% de coco râpé, le reste étant complété par des résidus de tofu et quelques fruits. Il a de lui-même ajouté des planchettes en bois pour augmenter les sites de pontes disponibles ce qui n'a fait qu'augmenter ses capacités de production.

L'apiculteur C a quant à lui expérimenté les déchets de poissons comme substrat de croissance larvaire. C'est un substrat que la larve de BSF apprécie mais avec le désavantage d'attirer massivement d'autres espèces de mouches, parasites. Il a alors remplacé ce substrat par des feuilles d'épinards mélangées aux fientes des poules. Ceci a permis de maintenir des pontes sauvages régulières, en réduisant la nuisance des autres mouches. Les larves de BSF n'utilisant pas les rampes d'autorécolte mises à leur disposition, l'apiculteur C attendait la nuit tombée pour ouvrir le kit et ramasser avec une écope les larves qui se trouvaient alors à la surface du substrat.

L'apiculteur D a eu plus de difficultés à maintenir une production constante. Les pommes cythères initialement utilisées comme déchets pour alimenter les larves n'ont pas permis de recueillir de pontes sauvages interrompant ainsi le cycle de production. Par ailleurs, le fumier de poules a été utilisé en quantité trop faible pour fournir suffisamment de nourriture aux larves (trop de copeaux et pas assez de fientes, seulement une dizaine de poules dans le poulailler au moment de la phase de test du kit). Un changement de substrat a permis d'améliorer grandement la récolte d'œufs ainsi que la production de larves en rajoutant des fruits (banane, potiron, papaye).

Enfin, l'apiculteur E a principalement nourri ses larves de BSF avec des fruits et des légumes, substrat très performant aussi bien pour attirer les femelles sauvages que pour la croissance larvaire, mais qui a le désavantage de produire beaucoup de jus, ce qui a tendance à rendre le substrat pâteux.

4.3. Rendements de production

Les rampes initialement prévues pour l'autorécolte des larves de BSF ne se sont pas montrées performantes, ce qui a rendu difficile voire impossible l'estimation de la quantité de larves présentes dans les kits. Il s'agit d'ailleurs de l'inconvénient majeur des systèmes de production de larves de BSF en continu qui utilisent le système d'autorécolte : la capacité de production ne peut pas être évaluée avec précision et les larves

récoltées sont essentiellement des prénymphe ; la récolte à un stade précoce n'est pas possible sauf récolte manuelle fastidieuse.

En effet, des œufs sont pondus chaque jour par les BSF sauvages, et donnent des larves nouvellement nées 4 jours plus tard. La quantité de larves augmente donc de jour en jour, jusqu'aux premières « évasions » liées au comportement d'autorécolte, au stade de prénymphe. A partir de ce moment, de nouvelles larves issues des pontes les plus récentes peuplent le substrat tandis que les prénymphe cherchent à en sortir. Pour avoir une idée précise de la quantité de larves au sein du bac chaque jour, il faudrait être en mesure de peser chaque nouvelle ponte et de dénombrer le nombre de prénymphe obtenues par autorécolte. Même si nous n'avons pas eu accès à ces indicateurs au cours de cette expérience, il est possible de réaliser une estimation.

Par exemple, l'observation des pondoirs de l'agriculteur A permet d'estimer que sur les 2 premières semaines de test, plus d'un gramme d'œufs de BSF a été pondu dans le kit, soit l'équivalent de 30 000 larves au total. Au cours de la croissance, le poids larvaire peut atteindre 150mg, ainsi ces 30 000 individus donneront au stade de prénymphe l'équivalent de 4,5-5kg de biomasse larvaire. A ce rythme, on peut estimer qu'un fonctionnement en continu à partir de ce kit permet de produire environ 2 à 2,5kg de larves par semaine.

En plus de sa capacité à coloniser une grande variété de matière organique, la larve de BSF possède un système digestif robuste et un appétit féroce, qui lui permettent de transformer jusqu'à 500mg par larve et par jour de déchets organiques en biomasse (Nyakeri et al., 2019). Dans les systèmes de production de larves de BSF, la ration journalière permettant d'obtenir un compromis entre la croissance larvaire et la dégradation du substrat est de l'ordre de 100mg/larve/jour. En d'autres termes, pour produire 1kg de biomasse larvaire au stade de prénymphe (21 jours), les larves pourront consommer jusqu'à 14kg de matière organique, laissant un résidu pouvant être directement utilisé pour amender les cultures.

5. Evaluation de la qualité intrinsèque des larves de BSF et de son impact sur les élevages de poules et leur productivité

Les insectes font partie intégrante de l'alimentation naturelle des poulets (Bovera et al., 2016). La présence d'insectes au sein d'un élevage donne ainsi aux poulets l'opportunité d'exprimer leur comportement naturel (Star et al., 2020), avec notamment une stimulation dans la recherche de nourriture et peut contribuer positivement au bien-être animal. Les larves de BSF sont à l'étude pour le remplacement total ou partiel du soja dans l'alimentation des poulets de chair (Kim et al., 2020; Murawska et al., 2021) et des poules pondeuses (Kawasaki et al., 2019; Mwaniki et al., 2020).

5.1. Les besoins nutritionnels des poules pondeuses

Une alimentation appropriée est une condition indispensable pour la production constante d'œufs chez les poules pondeuses. En effet, la régularité et l'équilibre de leur alimentation conditionne la courbe de ponte. Chaque poule doit avoir accès quotidiennement à une ration suffisante. Même si les poules sont omnivores, il est important de leur fournir tous les jours 100 à 150g d'un aliment complet spécialement formulé pour leurs besoins, afin de garantir la bonne santé des poules et l'obtention d'œufs de bonne qualité.

Les aliments pour poules pondeuses distribués sur le territoire sont formulés à base de céréales (blé, maïs), protéines végétales (tourteaux, graines de légumineuses comme le soja), protéines animales, graisses animales, huiles végétales, acides aminés et mélanges de vitamines et oligoéléments. Les caractéristiques nutritives sont de l'ordre de 15 à 18% de protéines brutes, 6% de matières grasses, 4% de cellulose brute, 0,4%

de sel et 4% de calcium.

Un taux de protéines de bonne qualité est fondamental dans l'alimentation des poules pondeuses, ainsi que les apports en acides aminés essentiels tels que la lysine (0,76 à 0,79% requis) et la méthionine (0,37 à 0,39% requis). Le taux de calcium doit être d'au moins 3% sinon la coquille des œufs sera trop fragile.

5.2. Analyses nutritionnelles des larves de BSF

Avec un taux protéique de l'ordre de 42% et un taux lipidique de l'ordre de 35%, les valeurs nutritionnelles des larves de BSF sont dépendantes du type de biodéchet digéré (Figure 7). Les données suivantes restent néanmoins à considérer avec précaution puisque plusieurs biais existent tels que les méthodes d'extraction ou encore le stade larvaire auquel les analyses sont réalisées, paramètres qui peuvent différer d'une expérience à une autre.

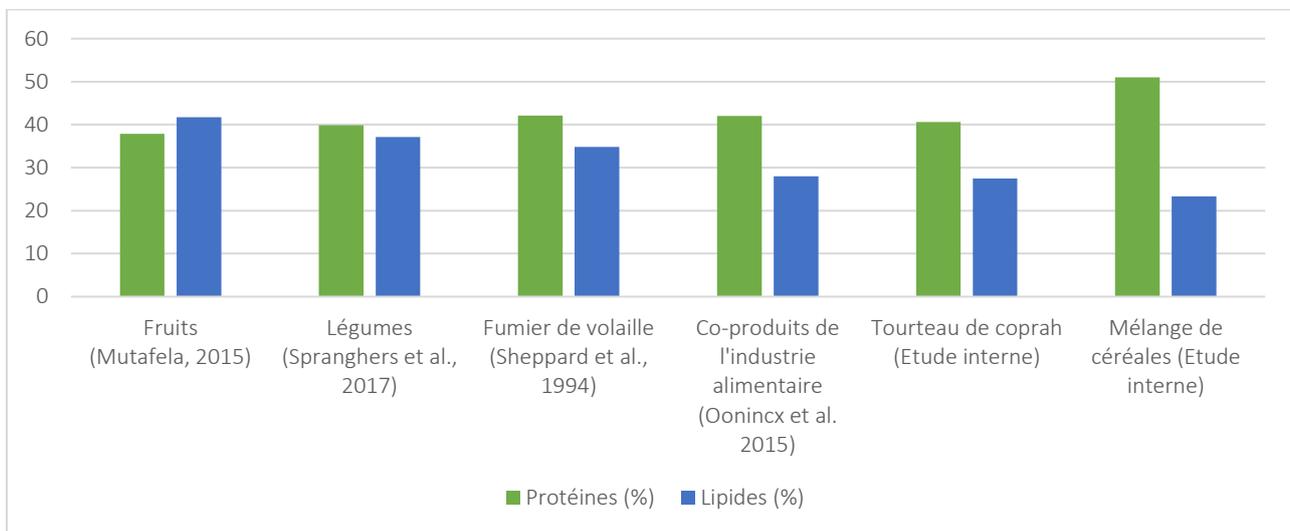


Figure 7: Pourcentage moyen de protéines et lipides par poids sec de farine de larve de BSF suivant le substrat de croissance larvaire. Données extraites de Wang & Shelomi, (2017), complétées par une étude interne.

Les larves produites au sein du pilote de production en conditions de laboratoire ont été analysées par le Centre d'Analyses Industrielles et de Recherche Appliquée pour le Pacifique (CAIRAP).

Tableau 3 : Paramètres physico-chimiques des larves de BSF (Taux de protéines et de lipides exprimés en pourcentages de matière sèche)

| Substrat de croissance | Mélange de céréales | Tourteaux de coprah |
|------------------------|---------------------|-------------------------------|
| | Larves de 10 jours | Prénymphes (environ 20 jours) |
| Stade des larves | | |
| Matière sèche (%) | 29,6 | 34,5 |
| Matière minérale (%) | 2,6 | 1,9 |
| Protéines (%) | 51,0 | 40,6 |
| Lipides (%) | 23,3 | 27,5 |

Les résultats de ces analyses indiquent dans un premier temps que 100g de matière sèche de larves de BSF peuvent apporter entre 40 et 50g de protéines et entre 23 et 28g de lipides. Comme indiqué précédemment, 100g d'aliment industriel pour poules pondeuses apportent entre 15 et 17g de protéines et environ 6g de lipides. En comparaison, 100g de farine de soja apportent environ 45g de protéines et 2g de lipides (Bovera et al., 2015) et 100g de farine de poisson fournissent environ 66g de protéines et 11g de lipides (Cummins et al., 2017). D'un point de vue apports nutritionnels, ces données suggèrent que la larve de BSF s'inscrit comme un candidat idéal pour le remplacement partiel ou total des farines de soja ou de poisson.

Le profil d'acides aminés des larves élevées au laboratoire a également été déterminé au CAIRAP. Le tableau 4 confronte le résultat de cette analyse aux valeurs de la bibliographie.

Tableau 4 : Comparaison du profil d'acides aminés dans la biomasse larvaire de la BSF et dans la farine de soja et farine de poisson (Exprimé en pourcentage de matière sèche)

| Échantillon | Larves BSF | Larves BSF | Farine de soja | Farine de poisson |
|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|--------------------|--------------------|
| Stade | 10 jours | 17 jours | - | - |
| Substrat de croissance | Mélange de céréales | Déchets organiques ménagers | - | - |
| Source | Etude interne réalisée au CAIRAP | (Kawasaki et al., 2019) | (Liu et al., 2017) | (Liu et al., 2017) |
| <i>Tryptophane total</i> | 0,41 | 0,53 | - | - |
| <i>Hydroxyproline</i> | <0,07 | - | - | - |
| <i>Ornithine</i> | 0,13 | - | - | - |
| <i>Thréonine</i> | 1,10 | 1,42 | 1,8 | 2,9 |
| <i>Acide aspartique total</i> | 2,84 | 3,43 | - | - |
| <i>Sérine totale</i> | 1,11 | 1,62 | 1,8 | 1,9 |
| <i>Lysine totale</i> | 1,89 | 2,22 | 2,8 | 4,8 |
| <i>Valine totale</i> | 2,06 | 2,25 | 4,1 | 3,1 |
| <i>Proline totale</i> | 1,86 | 2,16 | 1,6 | - |
| <i>Alanine totale</i> | 2,94 | 2,45 | 3,0 | 3,6 |
| <i>Phénylalanine totale</i> | 1,45 | 1,51 | 2,3 | 2,6 |
| <i>Isoleucine totale</i> | 1,32 | 1,57 | 4,6 | 2,6 |
| <i>Glycine totale</i> | 1,76 | 1,90 | 3,7 | 0,9 |
| <i>Tyrosine totale</i> | 1,66 | 2,30 | 1,2 | 1,9 |
| <i>Arginine totale</i> | 1,02 | 1,94 | 6,2 | 3,4 |
| <i>Leucine totale</i> | 2,09 | 2,59 | 4,6 | 3,3 |
| <i>Histidine totale</i> | 0,70 | 1,32 | 2,5 | 1,4 |
| <i>Acide glutamique total</i> | 4,16 | 3,99 | 1,8 | 2,7 |
| <i>Méthionine</i> | 0,36 | 0,58 | 3,2 | 1,6 |
| <i>Cystéine + Cystine</i> | 0,16 | 0,28 | - | - |

Le tableau 4 indique que les taux de lysine (1,9-2,2%) et méthionine (0,4-0,6%) dans la biomasse larvaire sont prometteurs pour être utilisés dans l'alimentation des poules pondeuses, bien que retrouvés dans de plus faibles quantités que dans la farine de soja ou la farine de poisson.

Enfin, une étude menée par Liu et al., (2017) a montré une forte variation des profils nutritionnels (Figure 8) et des taux d'acides aminés essentiels (Figure 9) au cours des différentes phases du cycle de vie de la BSF.

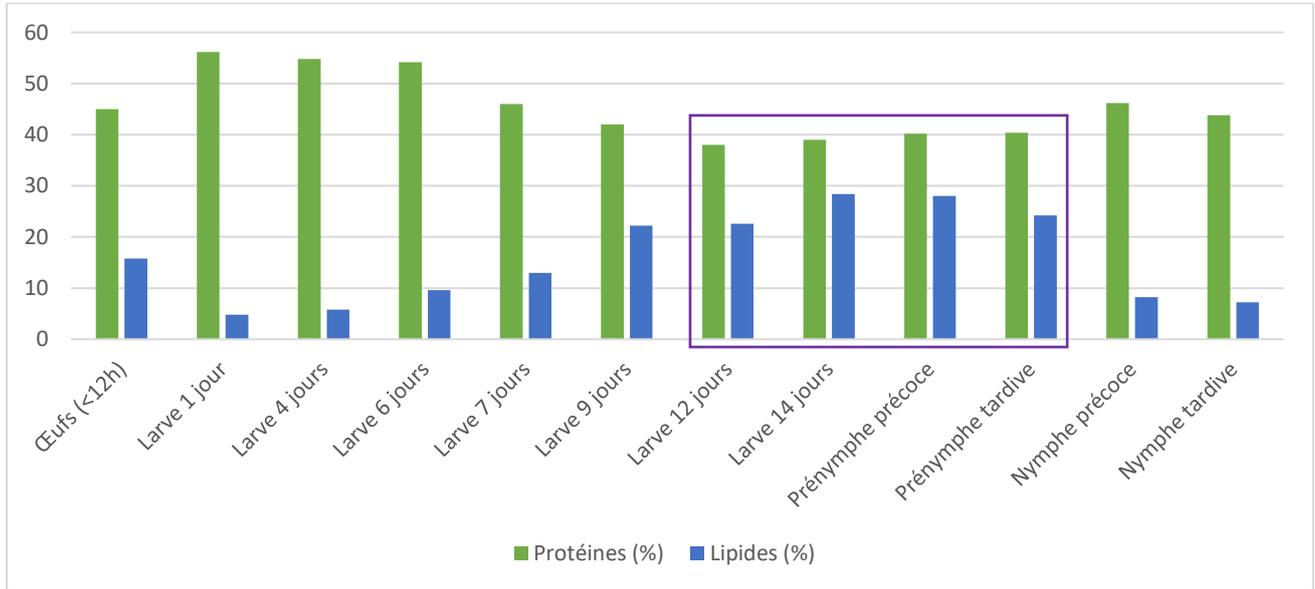


Figure 8 : Pourcentage moyen de protéines et lipides de la BSF à différentes phases de son cycle de vie. Données extraites de Liu et al., (2017).

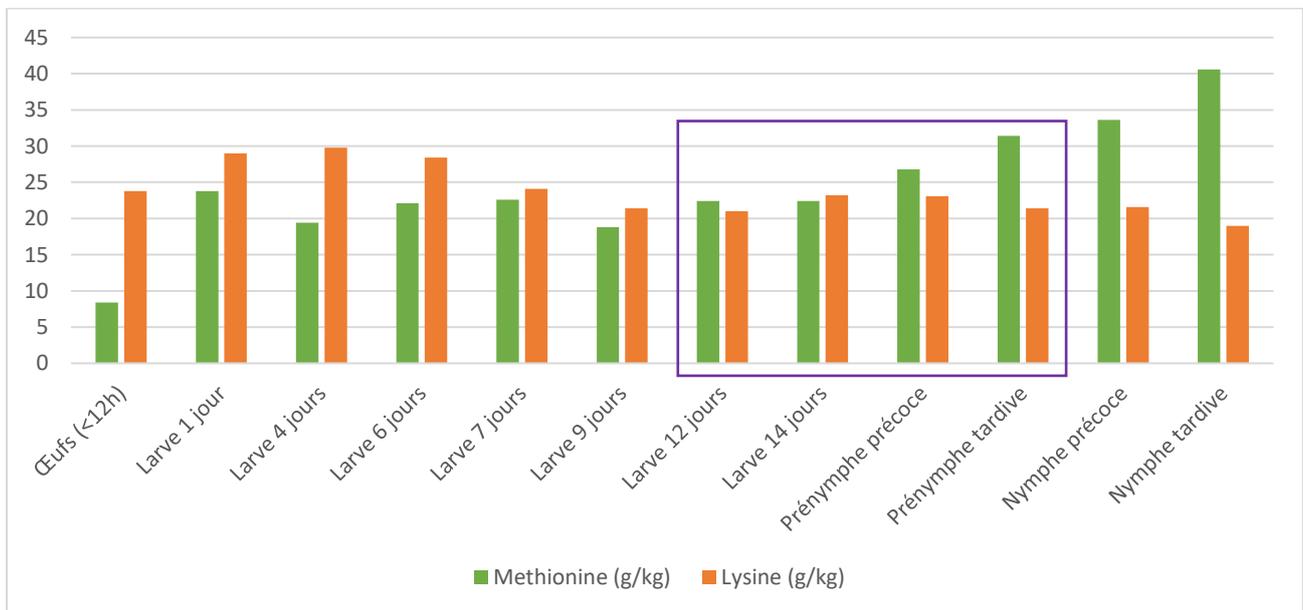


Figure 9 : Taux moyens (g/kg) de méthionine et de lysine à différentes phases du cycle de vie de la BSF. Données extraites de Liu et al., (2017).

Les larves récoltées à partir du kit de production sont essentiellement des larves de 12-14 jours et des prénymphe (précoces et tardives). Sur ces stades spécifiques, les taux de protéines et lipides sont intéressants au même titre que les taux de méthionine et lysine puisque la biomasse larvaire en est relativement riche. L'idéal sur ces stades, serait d'extraire d'une part les protéines sous forme de farine, d'autre part les lipides sous forme d'huile, et de les intégrer à la formulation à un aliment complet de manière à substituer une partie des farines de soja, tout en répondant au cahier des charges des besoins nutritionnels des poules pondeuses.

Star et al. (2020) a montré que les larves de BSF pouvaient remplacer avec succès le soja dans l'alimentation de poules pondeuses âgées, en combinaison avec des protéines végétales. L'inclusion de farine de larves de BSF dans l'alimentation des poules pondeuses a également eu un impact positif sur le plumage et l'état du bec des poules concernées. Par ailleurs, une étude de Patterson et al. (2021) a montré que la substitution de l'huile de soja par de l'huile de BSF était possible à des taux d'inclusion de 4,5% sans impacter la production d'œufs ni sa qualité. Ils ont également montré qu'une substitution de la farine et de l'huile de soja par de la farine de larves de BSF à un taux d'inclusion de 24% réduisait le poids corporel et la production d'œufs des poules pondeuses, tandis qu'un taux d'inclusion de 16% était plus adapté, car sans impact négatif sur les performances des poules pondeuses.

Le chapitre précédent (4. Détermination des paramètres de production des larves) a permis d'estimer la capacité de production du kit BSF à environ 2kg de larves fraîches par semaine, soit en moyenne 286g de larves fraîches par jour. Ces 286g de matière fraîche correspondent à 97g de matière sèche (34% de matière sèche dans la biomasse larvaire) dont 40g de protéines (41g de protéines pour 100g de matière sèche de biomasse larvaire). A titre d'exemple, dans le cas où les 286g de larves de BSF sont utilisés pour couvrir tous les besoins en protéines des poules pondeuses (l'équivalent de 18 à 19g de protéines), il est possible de nourrir 2 poules chaque jour. D'autre part, dans le cas où les 286g de larves de BSF sont utilisés pour couvrir 10% des apports en protéines des poules pondeuses, il est possible de nourrir une vingtaine de poules chaque jour.

A ce titre, l'utilisation du kit dans les petits élevages de poules pondeuses est adapté pour les cheptels de petite taille et essentiellement en complément d'alimentation. Pour augmenter la capacité de production en larves fraîches, il devient nécessaire d'augmenter le nombre de bacs de croissance, autrement dit le nombre de kits. En d'autres termes, pour nourrir un cheptel d'une ou plusieurs centaines de poules pondeuses, la capacité de production d'un kit BSF devient limitante. Le passage à une unité de production intermédiaire devient alors incontournable pour produire plusieurs dizaines de kilogrammes de larves et ainsi dégrader plusieurs centaines de kilogrammes de déchets. Une unité de ce type est justement implantée à Paea. En effet, un pilote de production de larves de BSF a vu le jour suite au partenariat public-privé reliant la société Technival au Laboratoire d'Entomologie Médicale (LEM) de l'Institut Louis Malardé. C'est par ailleurs ce pilote de production qui a assuré l'approvisionnement en larves de BSF pour réaliser les tests d'appétences présentés ci-après.

5.3. Test d'appétence des larves de BSF chez les poules pondeuses

L'appétence des larves de BSF chez les poules pondeuses a été testée chez l'un des aviculteurs participant au projet.

5.3.1. Situation initiale

Lors de notre première rencontre, le cheptel de l'aviculteur A est composé de 260 poules pondeuses âgées d'un an et demi, élevées dans un poulailler au sol avec parcours. Sa production est d'environ 200 œufs par jours, ce qui correspond à un taux de ponte journalier d'environ 0,77 œuf/poule. L'alimentation du cheptel est assez variée. En effet, le cheptel est nourri sur la base d'un granulé commercial rationné à environ

100g/poule/jour. L'alimentation est ensuite complétée par des tourteaux (coprah et soja), du sable, parfois des fruits (noni, potiron, concombre) et des drèches de blé, en fonction des jours et de ce que l'aviculteur a à sa disposition. Dans le parcours, les poules ont également accès à des larves (de BSF ou d'autres mouches) et à des vers de terre. Ces poules ont donc l'habitude d'avoir accès à un régime modulable et s'en accommodent. L'aviculteur a différents critères pour s'assurer de la bonne santé de ses poules : la ponte, la forme physique des poules, la couleur de la crête, la qualité du plumage et également l'absence de comportement de cannibalisme. Pour les besoins de l'expérience, quelques aménagements ont eu lieu sur son exploitation, afin de diviser son poulailler et le parcours des poules en deux parties égales (Figure 10).

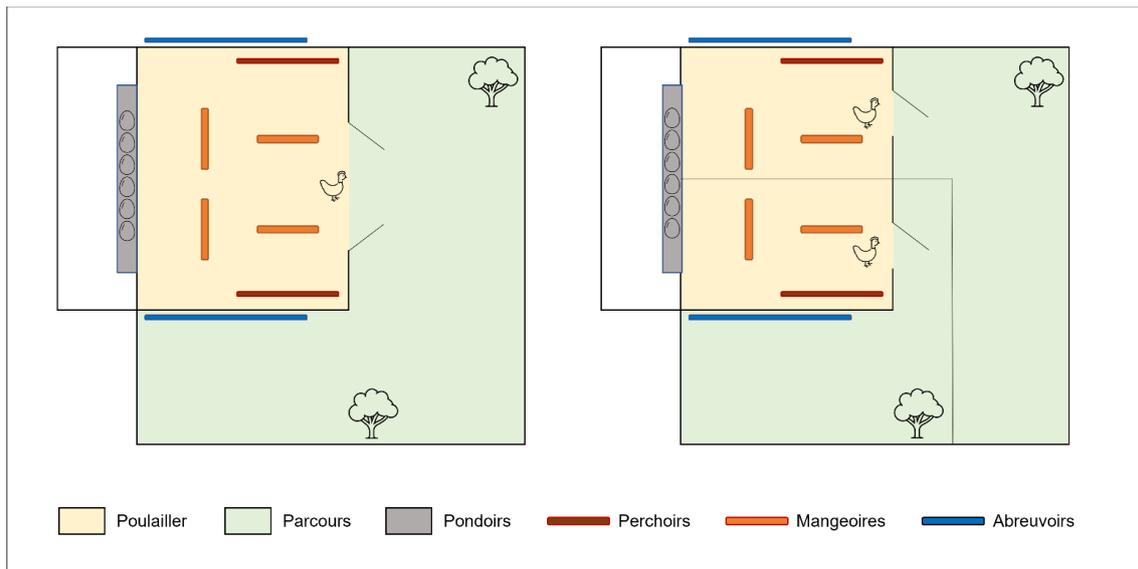


Figure 10 : Schéma de l'exploitation de l'aviculteur A avant (gauche) et après (droite) les aménagements pour effectuer les tests d'appétence sur ses poules pondeuses

5.3.2. Calcul de la ration

Au moment de l'expérience, six mois après la première visite, le cheptel compte alors 226 poules âgées de deux ans. Chaque jour, ce sont 25kg de granulés industriels à 17% de protéines qui sont mis à disposition des 226 poules. La ration a donc un peu évolué, elle est désormais de 110g/poule/jour. Le cheptel a été partagé en deux lots de 113 poules placés chacun dans l'une des sections du poulailler, un lot témoin avec une alimentation basée uniquement sur le granulé industriel et un lot expérimental comportant des larves de BSF.

L'idée initiale était de substituer 12% des protéines par des larves de BSF pour le lot expérimental, sur la base des études précédemment menées dans la littérature. Le calcul de la quantité de larves de BSF nécessaires pour les besoins de l'expérience est détaillé dans le tableau suivant.

Tableau 5 : Détermination de la quantité de larves de BSF à fournir pour les besoins des tests d'appétence

| | |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------|
| Ration journalière par poule (g) | 110 |
| Taux de protéines dans l'aliment (%) | 17 |
| Protéines dans la ration (g) | $0,17 \times 110 = 18,7$ |
| Taux d'inclusion des larves de BSF (%) | 12 |
| Masse de protéines correspondante (g) | $0,12 \times 18,7 = 2,244$ |
| Taux de protéines dans les larves de BSF (% de MS) | 41 |
| Matière sèche dans les larves de BSF (%) | 35 |

| | | |
|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------|---------|
| Masse de larves de BSF nécessaires (g/poule) | $2,244 / (0,41 * 0,35) = 15,6$ | |
| Nombre de poules à nourrir | 113 | |
| Masse de larves de BSF pour nourrir 113 poules (g) | 1767 | ≈ 1,8kg |
| Masse de protéines à apporter avec le granulé industriel (g) | $18,7 \times (1 - 0,12) = 16,5$ | |
| Masse de granulé correspondant | $16,5 / 0,17 = 96,8$ | |
| Masse de granulé pour nourrir 113 poules (g) | $96,8 \times 113 = 10\,938$ | ≈ 11kg |

Au final, ce sont 35 sacs de 1,8kg de larves de BSF qui ont été livrés chez l'aviculteur A. Technival était en charge de l'approvisionnement en larves de BSF, nourries sur tourteaux de coprah et récoltées à environ 20 jours, qui sont fournies sous forme congelée. Le régime expérimental devait donc être composé de 11kg de granulé industriel et de 1,8kg de larves de BSF par jour pour les 113 poules du lot expérimental, tandis que les 113 poules du lot témoin devaient être nourries exclusivement avec 12,5kg de granulé industriel chaque jour (ration maintenue à 110g/jour/poule). En réalité, chaque lot de poules a reçu chaque jour 12,5kg de granulé industriel, et le lot expérimental a reçu les larves de BSF en supplément.

Ces tests ont débuté à la fin du mois de mars 2021, et se sont étendus sur une durée de 5 semaines. Tout au long de l'expérience, la santé physique des poules, leur comportement ainsi que la qualité des pontes sont suivis par l'aviculteur.

5.3.3. Résultats

Au cours de cette expérience, une mortalité plus importante des poules a été observée au sein du lot témoin (Tableau 6). La mortalité au sein des élevages de poules pondeuses est un facteur que les éleveurs peinent à maîtriser et parfois à comprendre. D'après leur expérience, les pics de mortalité sont souvent observés lorsqu'un élément vient perturber les habitudes des poules. Les poules sont très sensibles aux changements, aussi bien de leur alimentation que de leur environnement. Afin d'éviter tout biais expérimental, la séparation du poulailler et du parcours a été initiée 2 semaines avant les tests d'appétence, tout en laissant un passage ouvert entre les deux poulaillers. 10 jours avant le début des tests, le cheptel a été divisé en deux lots de 113 poules, et le passage entre les deux poulaillers condamné. Les poules ont donc eu dix jours pour s'acclimater à leur nouvel environnement avant de commencer l'expérience. Malgré ces précautions, la mortalité du lot témoin est élevée comparée à la mortalité observée par l'aviculteur dans les conditions habituelles d'élevage de son cheptel.

Tableau 6 : Suivi de la mortalité et des indicateurs de ponte avec une alimentation classique (aliment commercial) et une alimentation supplémentée en larves de BSF chez les poules pondeuses.

| Paramètres | Lot expérimental (BSF) | Lot témoin |
|------------------------------------------------------|------------------------|-------------|
| Mortalité (%) | 3 | 10 |
| Poids moyen d'un œuf (g) | 66 ± 2 | 66 ± 5 |
| Taux de ponte (œuf/poule/jour) | 0,63 ± 0,06 | 0,44 ± 0,13 |
| Nombre total d'œufs pondus | 2486 | 1611 |
| Pourcentage d'œufs moyens (53-63g) pondus (%) | 48 | 52 |
| Pourcentage d'œufs gros (63-73g) pondus (%) | 45 | 42 |
| Pourcentage d'œufs jumbo (>73g) pondus (%) | 8 | 6 |

Le poids moyen des œufs n'a pas été impacté par cette expérience, en revanche le taux de ponte est plus élevé au sein du lot expérimental. Dans les deux cas, les poules sont nourries à satiété (leur mangeoire n'est jamais vide). D'après l'aviculteur qui a suivi cette expérience, les poules du lot expérimental étaient très friandes des larves de BSF et attendaient chaque jour leur ration avec impatience. Les larves étaient préalablement mélangées à leur nourriture commerciale avant d'être distribuées dans la mangeoire, de ce fait, les poules étaient stimulées et cherchaient les larves sous la nourriture. Il est donc possible que les poules du lot expérimental aient augmenté leur ration journalière de granulés commerciaux, au cours de leur activité de recherche de larves. Au total, sur la durée de l'expérience, les poules du lot expérimental ont pondu 875 œufs de plus que le lot témoin (+54%), soit près de 40 plateaux supplémentaires de 20 œufs.

On remarque néanmoins que le taux de ponte du lot témoin est déficitaire par rapport aux résultats attendus (0,44 œufs par poule en moyenne contre 0,77 œufs par poule dans les conditions de production normales). Cette observation peut être reliée à une prise alimentaire diminuée. Pour rappel, les poules de l'aviculteur A étaient habituées à recevoir une alimentation variée, complétée par des tourteaux, des fruits ou autres types d'aliments. Le fait d'avoir retiré ces ressources pour les besoins de l'expérience a impacté la production des poules du lot témoin qui se sont retrouvées troublées par la modification de leurs habitudes alimentaires. De plus, les aménagements effectués pour séparer la structure d'élevage a eu des répercussions sur une bonne partie du cheptel, qui s'est vu perturbé voire affaibli.

5.3.4. Conclusion

Les résultats de ces tests d'appétence sont encourageants mais ils mériteraient d'être confortés par des répétitions dans les mêmes conditions voire par des tests menés différemment. Le projet prévoyait de mener les mêmes tests d'appétence au sein de l'exploitation de l'aviculteur B, avec un cheptel deux fois plus petit. Pour des raisons indépendantes de notre volonté ces tests n'ont finalement pas eu lieu.

En terme de recommandations pour la suite, il serait plus adapté de ne pas imposer aux poules de perturbations liées à leur poulailler et de privilégier des essais en différé. Par exemple, accumuler pendant 5 semaines des données liées à la santé et la productivité du cheptel en conditions normales d'élevage (lot témoin), puis d'introduire la larve de BSF dans l'alimentation sur les 5 semaines suivantes et de relever les mêmes données (lot expérimental). L'inconvénient de cette configuration, est que les conditions environnementales peuvent être différentes d'une semaine à l'autre et ainsi impacter la santé ou la productivité des poules. Dans ces conditions expérimentales, il serait intéressant de tester des taux d'inclusion croissants de larves de BSF dans l'alimentation et d'observer jusqu'à quel seuil il est possible d'augmenter ce taux tout en observant un maintien des performances de pontes des poules.

Il serait également pertinent de pouvoir suivre de plus près la santé physique des poules en relevant notamment leur poids, la qualité de leur plumage et de leur crête, tout en surveillant les comportements agressifs ou de cannibalisme. Ce suivi n'a pas pu être réalisé dans le cadre de ces essais en raison du grand nombre d'individus dans chaque lot. Un cheptel plus petit serait plus adapté, le mieux serait même de pouvoir reconnaître chaque poule afin de faire un suivi individuel.

6. Bilan de l'action

Pour rappel, ce projet a vocation à soutenir les petits élevages de poules pondeuses de Tahiti et de ses îles, en particulier en mettant à la portée des éleveurs un moyen de compléter l'alimentation de leur cheptel en leur accordant un peu plus d'indépendance vis-à-vis des aliments importés. La larve de BSF est au cœur de

cette étude puisqu'elle est utilisée comme outil de bioconversion afin de transformer les déchets d'exploitation en ressources nutritives à travers la biomasse larvaire riche en protéines, lipides et acides aminés.

Une première version du kit de production de larves de BSF a donc été développée et installée dans les exploitations pilotes des éleveurs de poules pondeuses. Chaque éleveur alimentait le kit avec les déchets présents sur son site, produits par ses activités annexes. Le kit de production a été conçu de manière à nécessiter le moins d'entretien possible, avec un approvisionnement naturels en œufs de BSF assuré par les femelles BSF sauvages, qui pondent directement dans le kit. Les larves devaient être collectées en exploitant leur comportement d'autorécolte, lié à la fuite du substrat d'alimentation au stade de prénymphe. Des rampes ont donc été installées au sein du kit, pour que les larves les empruntent et tombent dans un récipient de collecte.

La mise en test de ce kit au sein des sites pilotes a montré l'inefficacité de ce système de récolte, ce qui a rendu difficile voire impossible le suivi du rendement de production en larve de BSF des différents kits. Le prototype a donc été repensé en fin de projet (Figure 11) afin d'améliorer cet aspect du kit : les rampes ont été retirées et un bac en plastique qui fait office de bac de croissance a été placé au fond du fût. La nourriture est placée directement dans le bac en plastique, et les pondoirs sont posés au-dessus. Avec un revêtement en plastique, les larves ont plus de facilité à s'extraire de ce bac. Par ailleurs, peu importe le chemin qu'elles emprunteront pour fuir leur nourriture, elles se retrouveront nécessairement dans la partie inférieure du fût qui fait office de collecteur. Les larves peuvent alors être ramassées à la main ou avec une écope. Il est également possible de prévoir des orifices dans le fond du bac de transfert, pour que les larves tombent au sol, à la portée des poules. Ces modes de récoltes ont été privilégiés puisqu'ils ne nécessitent pas l'intervention de l'éleveur. Il est également possible de récupérer les larves en les séparant du substrat de croissance (par tamisage par exemple) mais cette étape prend du temps et nécessite du matériel supplémentaire.



Figure 11 : Photo du prototype de BSF adapté (gauche) et des œufs pondus par les femelles sauvages © J.TETOHU, TECHNIVAL

La variété de déchets d'exploitation utilisés par les éleveurs pour alimenter leur kit a permis de voir les avantages et les inconvénients de chaque catégorie de déchets. Le coco râpé constitue à la fois un très bon

attracteur olfactif pour attirer les femelles sauvages et garantir un approvisionnement en œufs, mais aussi un bon substrat de croissance larvaire. Les fruits et les légumes sont également de bons candidats, aussi bien pour la ponte que pour la croissance larvaire, mais ils ont le désavantage de libérer beaucoup d'eau. Les déchets soumis au processus de fermentation dans le bac de croissance vont produire un jus qui risque alors de s'accumuler au fond du bac. Dans ce cas, il est préférable de perforer le fond du bac afin que le jus s'écoule (il est également possible de mettre un réservoir pour collecter et réutiliser ce jus). Le fumier est également un substrat apprécié des BSF, mais il doit contenir suffisamment de fientes (par rapport à la quantité de paille) pour que les larves puissent s'alimenter correctement. Enfin les déchets d'animaux tels que les déchets de poisson ont le désavantage d'attirer massivement d'autres espèces de mouches ou de nuisibles susceptibles de parasiter ou de contaminer l'élevage de larves de BSF.

Les larves récoltées avec le kit de production sont des larves qui ont entre 2 et 3 semaines (larves de 12-14 jours et prénymphe précoces et tardives). Les profils nutritionnels de ces stades sont intéressants pour l'alimentation animale car riches en protéines et lipides, et couvrent les besoins en acides aminés essentiels notamment pour l'alimentation des poules pondeuses. La littérature montre cependant que le profil nutritionnel ainsi que les profils d'acides aminés dans la biomasse larvaire sont dépendants d'une part de la nature du substrat de croissance larvaire, et d'autre part du stade de récolte des larves de BSF. Dans les petits élevages, il est possible de distribuer des larves fraîches ou congelées produites à partir du kit aux poules pondeuses pour leur apporter des compléments nutritionnels comme l'ont montré les tests d'appétence réalisés chez l'aviculteur A. En revanche, pour des élevages de grande taille, la capacité de production du kit est insuffisante pour couvrir les besoins nutritionnels de l'ensemble du cheptel. Il devient alors nécessaire d'installer une unité de production beaucoup plus conséquente, avec notamment:

- une capacité de production importante,
- une stabilité dans la quantité et la qualité des larves produites
- un processus de transformation afin d'en extraire les protéines, lipides, acides aminés ou autres molécules d'intérêt, afin de les inclure dans la formulation d'un aliment complet, conçu sur mesure en fonction des besoins des filières de l'alimentation animale (crevettes, poissons, poules pondeuses, porcs).

Ce processus de valorisation et de transformation de la biomasse larvaire en vue de son intégration dans la filière de l'alimentation animale constitue un axe à part entière du programme Rao Puha. Les travaux de recherche du programme Rao Puha ont vocation à permettre la valorisation industrielle du procédé de bioconversion de la matière organique par les larves de BSF à travers la création d'une unité de production industrielle de larves de BSF, pour soutenir la filière de l'alimentation animale en Polynésie française et pour appuyer la transition d'une économie d'importation vers une économie circulaire et durable.

Pour les petits éleveurs et dans le cadre d'une production au sein de l'exploitation, les aspects de formulation d'aliments font notamment l'objet d'un projet dans le cadre du programme PROTEGE intitulé « Réalisation d'outils de formulation d'aliment pour les poules pondeuses et les porcs ». Avec comme objectifs une meilleure connaissance des valeurs nutritionnelles des ressources locales et l'élaboration d'un outil d'aide à la formulation d'aliments, ce projet est complémentaire à la présente étude, pour proposer aux éleveurs des aliments alternatifs, produits localement et adaptés aux besoins physiologiques des filières visées.

Références

Bibliographie :

- Barragan-Fonseca, K. B., Dicke, M., & van Loon, J. J. A. (2017). Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed - a review. *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(2), 105–120. <https://doi.org/10.3920/JIFF2016.0055>
- Barros, L. M., Gutjahr, A. L. N., Ferreira- Keppler, R. L., & Martins, R. T. (2019). Morphological description of the immature stages of *Hermetia illucens* (Linnaeus, 1758) (Diptera: Stratiomyidae). *Microscopy Research and Technique*, 82(3), 178–189. <https://doi.org/10.1002/jemt.23127>
- Bertinetti, C., Samayoa, A. C., & Hwang, S. Y. (2019). Effects of feeding adults of *hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) on longevity, oviposition, and egg hatchability: Insights into optimizing egg production. *Journal of Insect Science*, 19(1), 1–7. <https://doi.org/10.1093/jisesa/iez001>
- Bovera, F., Loponte, R., Marono, S., Piccolo, G., Parisi, G., Iaconisi, V., Gasco, L., & Nizza, A. (2016). Use of *Tenebrio molitor* larvae meal as protein source in broiler diet: Effect on growth performance, nutrient digestibility, and carcass and meat traits. *Journal of Animal Science*, 94(2), 639–647. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9201>
- Bovera, F., Piccolo, G., Gasco, L., Marono, S., Loponte, R., Vassalotti, G., Mastellone, V., Lombardi, P., Attia, Y. A., & Nizza, A. (2015). Yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor*, L.) as a possible alternative to soybean meal in broiler diets. *British Poultry Science*, 56(5), 569–575. <https://doi.org/10.1080/00071668.2015.1080815>
- Bullock, N., Chapin, E., Evans, A., Elder, B., Givens, M., Jeffay, N., Pierce, B., & Robison, W. (2013). The black soldier fly How- to- guide. *BioSystems Design Blog*, 12. <http://hdl.handle.net/2027/umn.31951000441419j>
- Cummins, V. C., Rawles, S. D., Thompson, K. R., Velasquez, A., Kobayashi, Y., Hager, J., & Webster, C. D. (2017). Evaluation of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal as partial or total replacement of marine fish meal in practical diets for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture*, 473, 337–344. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.02.022>
- DeFoliart, G. R. (1989). The Human Use of Insects as Food and as Animal Feed. *Bulletin of the Entomological Society of America*, 35(1), 22–36. <https://doi.org/10.1093/besa/35.1.22>
- Dortmans, B., Diener, S., Verstappen, B., & Zurbrügg, C. (2017). *Black Soldier Fly Biowaste Processing*. <https://doi.org/10.1117/12.464354>
- Erickson, M. C., Islam, M., Sheppard, C., Liao, J., & Doyle, M. P. (2004). Reduction of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enterica* serovar enteritidis in chicken manure by larvae of the black soldier fly. *Journal of Food Protection*, 67(4), 685–690. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-67.4.685>
- FAO. (2011). Global Food losses and food waste: Extent, causes and prevention. In *Food Loss and Food Waste: Causes and Solutions*. <https://doi.org/10.4337/9781788975391>
- FAO. (2013). Food wastage footprint : impacts on natural resources : summary report, FAO, Rome, Italy. In *Fao*. www.fao.org/publications
- Furman, D. P., Young, R. D., & Catts, P. E. (1959). *Hermetia illucens* (Linnaeus) as a Factor in the Natural Control of *Musca domestica* Linnaeus. *Journal of Economic Entomology*, 52(5), 917–921. <https://doi.org/10.1093/JEE/52.5.917>
- Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., & Haddad, L. (2010). Food security: The challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327(February). <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2018.02.030>
- Kawasaki, K., Hashimoto, Y., Hori, A., Kawasaki, T., Hirayasu, H., Iwase, S. I., Hashizume, A., Ido, A., Miura, C., Miura, T., Nakamura, S., Seyama, T., Matsumoto, Y., Kasai, K., & Fujitani, Y. (2019). Evaluation of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae and pre-pupae raised on household organic waste, as potential ingredients for poultry feed. *Animals*, 9(3). <https://doi.org/10.3390/ani9030098>
- Kim, B., Bang, H. T., Kim, K. H., Kim, M. J., Jeong, J. Y., Chun, J. L., & Ji, S. Y. (2020). Evaluation of black soldier fly larvae oil as a dietary fat source in broiler chicken diets. *Journal of Animal Science and Technology*,

- 62(2), 187–197. <https://doi.org/10.5187/jast.2020.62.2.187>
- Lalander, C., Diener, S., Magri, M. E., Zurbrügg, C., Lindström, A., & Vinnerås, B. (2013). Faecal sludge management with the larvae of the black soldier fly (*Hermetia illucens*) - From a hygiene aspect. *Science of the Total Environment*, 458–460(May), 312–318. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.04.033>
- Li, Q., Zheng, L., Cai, H., Garza, E., Yu, Z., & Zhou, S. (2011). From organic waste to biodiesel: Black soldier fly, *Hermetia illucens*, makes it feasible. *Fuel*, 90(4), 1545–1548. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2010.11.016>
- Liu, X., Chen, X., Wang, H., Yang, Q., Ur Rehman, K., Li, W., Cai, M., Li, Q., Mazza, L., Zhang, J., Yu, Z., & Zheng, L. (2017). Dynamic changes of nutrient composition throughout the entire life cycle of black soldier fly. *PLoS ONE*, 12(8), 1–21. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182601>
- Masuda, T., & Goldsmith, P. D. (2009). World soybean production: Area harvested, yield, and long-term projections. *International Food and Agribusiness Management Review*, 12(4), 143–162. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.92573>
- Murawska, D., Daszkiewicz, T., Sobotka, W., Gesek, M., Witkowska, D., Matusevičius, P., & Bakula, T. (2021). Partial and total replacement of soybean meal with full-fat black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal in broiler chicken diets: Impact on growth performance, carcass quality and meat quality. *Animals*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/ani11092715>
- Mwaniki, Z., Shoveller, A. K., Huber, L. A., & Kiarie, E. G. (2020). Complete replacement of soybean meal with defatted black soldier fly larvae meal in Shaver White hens feeding program (28–43 wks of age): impact on egg production, egg quality, organ weight, and apparent retention of components. *Poultry Science*, 99(2), 959–965. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.10.032>
- Nyakeri, E. M., Ayieko, M. A., Amimo, F. A., Salum, H., & Ogola, H. J. O. (2019). An optimal feeding strategy for black soldier fly larvae biomass production and faecal sludge reduction. *Journal of Insects as Food and Feed*, 5(3), 201–213. <https://doi.org/10.3920/JIFF2018.0017>
- Patterson, P. H., Acar, N., Ferguson, A. D., Trimble, L. D., Sciubba, H. B., & Koutsos, E. A. (2021). The impact of dietary Black Soldier Fly larvae oil and meal on laying hen performance and egg quality. *Poultry Science*, 100(8), 101272. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101272>
- Soetemans, L., Uyttebroek, M., & Bastiaens, L. (2020). Characteristics of chitin extracted from black soldier fly in different life stages. *International Journal of Biological Macromolecules*, 165, 3206–3214. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.11.041>
- Star, L., Arsiwalla, T., Molist, F., Leushuis, R., Dalim, M., & Paul, A. (2020). Gradual provision of live black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae to older laying hens: Effect on production performance, egg quality, feather condition and behavior. *Animals*, 10(2). <https://doi.org/10.3390/ani10020216>
- Tacon, A. G. J., & Metian, M. (2008). Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects. *Aquaculture*, 285(1–4), 146–158. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.08.015>
- Tomberlin, J. K., Sheppard, D. C., & Joyce, J. A. (2002). Selected Life-History Traits of Black Soldier Flies (Diptera: Stratiomyidae) Reared on Three Artificial Diets. *Annals of the Entomological Society of America*, 95(3), 379–386. [https://doi.org/10.1603/0013-8746\(2002\)095\[0379:slhtob\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1603/0013-8746(2002)095[0379:slhtob]2.0.co;2)
- van Huis, A. (2013). Potential of Insects as Food and Feed in Assuring Food Security. *Annual Review of Entomology*, 58(1), 563–583. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153704>
- Veldkamp, T., van Duinkerken, G., van Huis, A., Ottevanger, E., Bosch, G., & van Boekel, T. (2012). Insects as a sustainable feed ingredient in pig and poultry diets : a feasibility study = Insecten als duurzame diervoedergrondstof in varkens- en pluimveevoeders : een haalbaarheidsstudie. *Food Chemistry*, 50, 192–195. <http://www.livestockresearch.wur.nl>
- Wang, Y.-S., & Shelomi, M. (2017). Review of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as Animal Feed and Human Food. *Foods*, 6(10), 91. <https://doi.org/10.3390/foods6100091>

Webographie :

Tom Levitt. « Grub's up: why maggot meals are a hit on one UK chicken farm ». *The Guardian*, 2020 [En ligne] <https://amp-theguardian-com.cnd.ampproject.org> (12 avril 2021)

Table des illustrations

Figure 1 : Cycle de vie de la BSF, illustration tirée et adaptée de <http://uniquebiotechnology.com/>

Figure 2 : Pontes de BSF observée à l'œil nu et à la loupe binoculaire (Gx30) © J.TETOHU, TECHNIVAL

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

Figure 4 : Photo de BSF adultes © J.TETOHU, TECHNIVAL

Figure 5 : Répartition géographique des exploitations participant au projet et principales informations recueillies. Google Maps, Données cartographiques 2021, consulté le 16 avril 2021.

Figure 6 : Photos du prototype de kit BSF vu de l'extérieur (gauche) et vu de l'intérieur (droite) © J.TETOHU, TECHNIVAL

Figure 7 : Pourcentage moyen de protéines et lipides par poids sec de farine de larve de BSF suivant le substrat de croissance larvaire. Données extraites de Wang & Shelomi, (2017), complétées par une étude interne.

Figure 8 : Pourcentage moyen de protéines et lipides de la BSF à différentes phases de son cycle de vie. Données extraites de Liu et al., (2017).

Figure 9 : Taux moyens (g/kg) de méthionine et de lysine à différentes phases du cycle de vie de la BSF. Données extraites de Liu et al., (2017)

Figure 10 : Schéma de l'exploitation de l'aviculteur A avant (gauche) et après (droite) les aménagements pour effectuer les tests d'appétence sur ses poules pondeuses

Figure 11 : Photo du prototype de BSF adapté (gauche) et des œufs pondus par les femelles sauvages © J.TETOHU, TECHNIVAL

Tableau 1 : Questionnement QQQCPC dans le cadre du développement du kit de production de larves de BSF

Tableau 2 : Cahier des charges fonctionnel du kit de production de larves de BSF

Tableau 3 : Paramètres physico-chimiques des larves de BSF (Taux de protéines et de lipides exprimés en pourcentages de matière sèche)

Tableau 4 : Comparaison du profil d'acides aminés dans la biomasse larvaire de la BSF et dans la farine de soja et farine de poisson (Exprimé en pourcentage de matière sèche)

Tableau 5 : Détermination de la quantité de larves de BSF à fournir pour les besoins des tests d'appétence

Tableau 6 : Suivi de la mortalité et des indicateurs de ponte avec une alimentation classique (aliment commercial) et une alimentation supplémentée en larves de BSF chez les poules pondeuses.

Annexes

Annexe 1 : Questionnaire d'évaluation des sites pilotes

| Informations générales | | | |
|-------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------|
| Nom et prénom de l'interlocuteur | | | |
| Statut de l'exploitation | <input type="checkbox"/> Société | <input type="checkbox"/> Nom propre | |
| Nom de la société | | | |
| Position GPS | | | |
| Densité d'habitation ou activités | <input type="checkbox"/> Faible | <input type="checkbox"/> Moyenne | <input type="checkbox"/> Forte |
| Couvert végétal autour de l'exploitation | <input type="checkbox"/> Faible | <input type="checkbox"/> Moyenne | <input type="checkbox"/> Forte |
| Présence de BSF | <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> Non | <input type="checkbox"/> Probable |
| Description de l'exploitation | | | |
| Type d'élevage | <input type="checkbox"/> Plein air | <input type="checkbox"/> Batterie | <input type="checkbox"/> Poulailler au sol |
| Démarche biologique | <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> Non | |
| Nombre de poules | | | |
| Capacité à diviser le cheptel | <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> Non | |
| Si oui, en combien de groupes d'individus | | | |
| Production d'œufs | | | |
| Critères de bonne santé des poules | | | |
| Paramètres mesurés production | | | |
| Présence d'un congélateur sur site | <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> Non | |
| Alimentation et production | | | |
| Nourriture donnée aux poules | | | |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| Ration journalière | |
| Fournisseur | |
| Composition et valeurs nutritionnelles | |
| Durée d'élevage d'une poule | |
| Raison de l'élevage | |
| Devenir des poules après production | |
| Devenir des fientes | |
| Gisement potentiel de nourriture pour larves de BSF | |
| Autres activités sur l'exploitation | |
| Présence de déchets agricoles valorisables (fumier de volaille, fumier résultant d'un autre type d'élevage, déchets de cuisine, déchets de fruits et légumes liés à une activité agricole) | |
| Dans quelles quantités | |
| A quelle fréquence | |
| Pendant quelle période | |
| Motivations de l'exploitant | |
| Quel est son objectif avec ce test (amélioration de la production [taille, poids, quantité d'œufs], de la qualité, image de la marque, modèle biologique) | |
| Temps qu'il est prêt à consacrer au projet | |
| Nombre de poules pour faire les tests | |
| Attentes de l'exploitant | |
| Commentaires : | |

Annexe 2 : Base de données regroupant les réponses au questionnaire

| <i>Aviculteur</i> | <i>A</i> | <i>B</i> | <i>C</i> | <i>D</i> | <i>E</i> |
|-------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Commune | Faaone | Tautira | Faaa | Hitiaa | Vairao |
| Densité habitation | Faible | Moyenne | Moyenne | Faible | Faible |
| Couvert végétal | Fort | Fort | Moyen | Fort | Fort |
| Présence bsf | Oui | Probable | Oui | Probable | Oui |
| Nombre de poules | 260 | 130 | 200 | 20 | 300 |
| Production d'œufs/jour | 200 | 120 | 150 | - | 120 |
| Type élevage | Poulailler avec parcours | Poulailler avec parcours | Cage et volière | Poulailler avec parcours | Poulailler avec parcours |
| Critère santé | Plumage, crête, cannibalisme, ponte | Plumage et comportement | Plumage | Plumage | Plumage |
| Nourriture | Granulé industriel, tourteau coprah, fruits, drèches | Granulé industriel | Granulé industriel | Granulé industriel, riz, pain, restes de cantine | Granulé industriel, tourteau de coprah, de maïs concassé |
| Ration (g/jour/poule) | 100 | 130 | ad libitum | - | 100 |
| Fournisseur | TNB | TNB | TNB | Polynésie Market | TNB |
| Devenir fientes | Amendement cultures | Amendement cultures | Amendement cultures | - | Composteur |

| | | | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------|----------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Autres activités | Potager, chèvres, chevaux, vaches, cochons | Potager | Epinards et gingembre | Chèvres, lapins, veau | Moutons, apiculture, potager |
| Ressource déchets | Fruits du potager, résidu soja, tourteau coprah, drèches | Fruits | Déchets poisson et fumier poules | Epluchures, restes de table | Ecart de tri (fruits et légumes) |
| Temps à consacrer (0 : très peu de temps, 1 : peu de temps, 2 : disponible) | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 |
| Nombre de poules mobilisables | 130 | 60 | 50 | 10 | 10 |

Annexe 3 : Données à relever une fois par semaine par l'aviculteur pour évaluer le bon fonctionnement du kit de production larvaire

| Date | Présence d'œufs de BSF sur les pondoirs | Présence de larves de BSF dans le bac de croissance | Présence d'autres larves dans le bac de croissance | Possibilité d'autorécolte des larves de BSF via la rampe | Nourriture donnée aux larves durant la semaine |
|------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| | <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non | |
| | <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non | |
| | <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non | |
| | <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non | |
| | <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non | |
| | <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non | |
| | <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non | |
| | <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non | |