



SCENTRE D'EXCELLENCE SOUS REGIONAL EN SCINCES DE LA
NUTRITION-EANSI (PA-EANSI)

MASTER EN SCIENCES DES ALIMENTS ET NUTRITION

Spécialité : SECURITE ALIMENTAIRE ET CHANGEMENT CLIMATIQUE



RAPPORT DE STAGE DE RECHERCHE EFFECTUE A L'ISABU

Thème : *Initiation de l'élevage de la mouche soldat noire *Hermetia illucens* (Linnaeus 1758) (Diptera : Stratiomyidae) utilisant la souche capturée localement à visée alimentation animale*

Par

MIZERO Lin

Sous l'encadrement de :

Dr. Zacharie MIBURO

DEDICACE

A mes parents,

A ma chère épouse,

A notre fils aîné,

A mes frères et sœurs,

A toute ma famille

Je dédie ce travail.

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail nous tenons à remercier toute personne qui, de près ou de loin n'a pas ménagé son effort pour contribuer à son aboutissement.

Que nos sentiments de gratitude s'adressent d'abord au Docteur Zacharie MIBURO, l'encadreur académique de ce stage, ses conseils et remarques scientifiques m'ont été constructifs.

Que nos sincères remerciements parviennent à nos éducateurs depuis l'école primaire jusqu'à l'Université du Burundi et plus particulièrement ceux qui ont contribué à la réalisation du Projet d'Appui au Centre d'Excellence Sous Régional en Sciences de la Nutrition et spécialement ceux de la filière Sécurité Alimentaire et Changement Climatique pour la formation tant humaine que scientifique qu'ils nous ont donnée.

Que nos remerciements parviennent à l'endroit de nos parents qui nous ont montré le chemin de l'école et qui n'ont pas cessé de nous soutenir tant moralement que matériellement.

Nous ne pouvons pas oublier de remercier les autorités de l'ISABU et son personnel en général de nous avoir accordé un lieu de stage dans leur noble institution afin de bien mettre en pratique nos connaissances théoriques. Particulièrement, nous adressons nos remerciements au personnel affecté dans le Programme Recherche Productions Végétales dans la Composante Recherche sur les maladies et ravageurs des cultures. La collaboration qu'ils ont montrée nous a beaucoup rassuré pour la recherche.

Nous remercions également Ingénieur Alexis MPAWENIMANA, pour son encadrement de terrain qu'il nous a assuré en nous initiant dans les secrets de la pratique de terrain, qu'il trouve ici un mot de remerciement qu'il lui convient.

Enfin nous tenons à remercier toute personne qui, de près ou de loin a témoigné toute forme d'amitié et de sympathie durant nos études. Que Dieu vous bénisse !

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Cycle de reproduction de la BSF (Source : ECHOCommunity.org).....	5
Figure 2 : Attractif formulé à base des déjections de porcs	8
Figure 3 : Sélection de meilleures pupes à mettre dans la cage	10
Figure 4 : Installation de la cage d'accouplement : A. Mise en cage des pupes avec des pondoirs au-dessus de l'attractif ainsi qu'un abreuvoir; B. Emergence des imagos.....	11
Figure 5 : Pondoirs déposés au-dessus de l'attractif dans deux endroits différents dans les enceintes de l'ISABU	12
Figure 6 : Collecte des œufs : A et B. Démontage des pondoirs et visualisation des œufs ; C. Amas d'œufs sur une latte constituant un des pondoirs ; D et E. Enlèvement des œufs sur les pondoirs et la mise sur boîtes de Pétri.....	13
Figure 7 : Incubation des œufs au-dessous d'une source de nourriture qui va assurer la survie de néonates issues de l'éclosion	14
Figure 8 : Cage d'accouplement installée à l'intérieur de la serre	15
Figure 9 : Stade larvaire à récolter basé sur la couleur	16
Figure 10 : Effectifs cumulés des individus issus de l'émergence en adultes.....	17

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Quelques paramètres à considérer lors de l'élevage	5
Tableau 2 : Exemples d'attractifs, avantages et inconvénients	7

TABLE DES MATIERES

DEDICACE.....	i
REMERCIEMENTS	ii
LISTE DES FIGURES	iii
LISTE DES TABLEAUX.....	iii
TABLE DES MATIERES	iv
0. INTRODUCTION GENERALE.....	1
0.1. Objectifs	2
0.1.1. Objectif global.....	2
0.1.2. Objectifs spécifiques	2
0.2. Articulation du travail	2
CHAPITRE I : GENERALITES SUR LA MOUCHE SOLDAT NOIRE	3
1.1. Distribution de la mouche soldat noire	3
1.2. Biologie et écologie de la mouche soldat noire.....	3
1.3. Potentialités de la MSN.....	6
1.4. Types de substrats attractifs	6
1.4.1. Efficacité des attractifs	7
1.4.2. Formulation d'un attractif	8
CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES.....	9
2.1. Description de l'ISABU	9
2.2. Production de la MSN utilisant la souche importée.....	10
2.3. Initiation de l'élevage de la MSN utilisant la souche capturée localement.....	12
2.3.1. Collecte des œufs de la MSN dans la nature	12
2.3.2. Incubation des œufs.....	14
2.4. Conditions de croissance pour la MSN	14
2.5. Température et Humidité relatives	15
2.6. Développement et Récoltes des larves	15

2.7. Estimation de la masse des larves obtenues	16
CHAPITRE III : PRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS	17
3.1. Souche importée	17
3.2. Souche locale.....	18
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	19
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	20
ANNEXE	23

0. INTRODUCTION GENERALE

Dans le contexte du changement climatique qui affecte négativement non seulement la production agricole mais aussi celle aquatique (FAO, 2022), il est crucial de penser à d'autres alternatives qui vont à l'encontre de pénurie de certains produits d'alimentation animale notamment la farine de poisson. Quelques fois, des éleveurs font recours à des sources de protéines végétales notamment le soja et d'autres plantes cultivées mais cette alternative rencontre une forte concurrence à l'alimentation humaine (Gougbedji, 2022). De plus, les produits d'origine végétale possèdent de matières non digestibles ce qui occasionne la non prise de l'aliment en l'occurrence les poissons (Naylor *et al.*, 2009). Dans ces derniers jours, la considération des insectes comestibles comme aliments ou partie des ingrédients utilisés en alimentation s'accroît de par le monde (Bußler *et al.*, 2016; Nyangena *et al.*, 2020). La mouche soldat noire (*Hermetia illucens*) est l'un des insectes réputés pour contenir une nouvelle protéine pouvant servir à l'alimentation animale (Busti *et al.*, 2023).

Cette espèce a beaucoup été étudiée et continue à l'être dans plusieurs pays d'Afrique surtout en Afrique subsaharienne. Par exemple, en Afrique de l'Ouest beaucoup d'études ont été menées sur *H. illucens* pour tester sa valeur ajoutée dans la conversion des déchets biodégradables (Gougbedji, 2022).

En Afrique de l'Est des études sur les techniques d'élevage de cette espèce sont sur une grande envergure. Cela se remarque à travers les travaux qui ont testé les potentialités des bénéfices économiques (Abro *et al.*, 2022) ; les techniques d'apprentissage automatiques pour discerner les conditions d'élevage optimal (Muinde *et al.*, 2023) ; les effets des techniques du processus traditionnel sur la qualité nutritionnelle et microbiologique des insectes utilisés dans l'alimentation (Nyangena *et al.*, 2020) ; les performances des attractifs sur la ponte (Nyakeri *et al.*, 2017).

Au Burundi, le terrain de recherche sur les modalités pratiques d'élevage et l'appréhension des potentialités de *H. illucens* est encore vierge. Ceux qui ont déjà tenté d'initier son élevage pour l'alimentation animale enregistrent des résultats ne satisfaisant faute de manque d'une documentation approfondie sur les conditions optimales d'élevage qui aboutiraient aux résultats escomptés. Dans cette optique, nous avons entrepris un travail de recherche intitulé : « *Initiation de l'élevage de la mouche soldat noire Hermetia illucens* (Linnaeus 1758) (Diptera : Stratiomyidae) en utilisant la souche capturée localement à visée alimentation animale ». ».

0.1. Objectifs

0.1.1. Objectif global

L'objectif global de notre recherche est de contribuer à la mise au clair des conditions locales optimales pour l'élevage de la mouche soldat noire qui sert de l'alimentation animale afin de disponibiliser l'aliment riche en protéines.

0.1.2. Objectifs spécifiques

Les objectifs de notre recherche sont les suivants :

- ✓ synthétiser un attractif performant pour la capture de la mouche soldat noire dans l'environnement
- ✓ montrer les conditions physiques optimales pour la croissance des larves de la mouche soldat noire

0.2. Articulation du travail

Le présent travail s'articule sur trois chapitres précédés par une introduction générale. Le premier chapitre parle des généralités sur la mouche soldat noire tout en indiquant sa distribution, biologie et écologie. Le second chapitre concerne la description de l'institution d'accueil, la méthodologie utilisée pour collecter les données ainsi que la méthode d'analyse des données.

Dans le troisième et dernier chapitre, nous parlons de la présentation des résultats, leur interprétation et discussion. Enfin, le travail se termine par une conclusion et quelques suggestions sur les conditions d'élevage de la mouche soldat noire.

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LA MOUCHE SOLDAT NOIRE

1.1. Distribution de la mouche soldat noire

Originellement native des néotropiques, on la retrouve désormais dans les régions tropicales et tempérées. Avec un peu de précision, la mouche soldat noire serait originaire des Amériques mais s'est propagée dans le monde entier en général (Tanga *et al.*, 2017) et dans les régions tropicales et subtropicales en particulier entre les latitudes 40 S et 45 N (Dortmans *et al.*, 2017). Ce changement drastique de distribution a été causé par l'activité humaine, notamment par le transport maritime. La larve de BSF est un saprophage (se nourrit de matières putréfiées), tandis que la mouche adulte consomme uniquement de l'eau (Tanga *et al.*, 2017).

1.2. Biologie et écologie de la mouche soldat noire

Les larves s'alimentent de divers déchets organiques, comme les restes d'animaux et de plantes à différents stades de décomposition ou encore les déjections d'animaux et d'humains; c'est cette versatilité dans leur source d'alimentation qui a facilité leur naturalisation dans de nouveaux habitats.

La mouche soldat noire (MSN) est un arthropode de la classe Insectes, ordre des diptères (vraies mouches, ayant deux ailes) et famille des Stratiomyidae (mouches soldats). *Hermetia illucens*, est l'une des quelques 1 500 espèces de cette famille, et appartient au genre *Hermetia* qui inclut 76 espèces. La MSN adultes émet un fort bourdonnement lorsqu'elles volent, provoquant une confusion avec les guêpes qui ne sont pas de mouches, plutôt des hyménoptères car ayant quatre ailes au lieu de deux et un dard (Chalermliamthong *et al.*, 2023). Dans la littérature spécialisée anglaise, elle est appelée « Black Soldier Fly » (BSF) (FiBL, 2023).

Hermetia illucens est généralement considéré comme un insecte bénéfique et non pas une espèce invasive, puisqu'elle ne mord et ne pique pas, et n'est pas un vecteur de maladie ou de nuisance pour l'humain. De plus, l'adulte est attiré par les odeurs nauséabondes associées aux sites d'alimentation des larves, elle ne se retrouve donc pas habituelle dans les habitations, contrairement à la mouche domestique. Elle ne fait pas partie des pestes connues dans les régions tropicales et tempérées chaudes plutôt utile pour la gestion de grandes concentrations de déchets animaux et biosolides. Les adultes ne demandent pas d'être nourris seulement l'eau suffit pour boire (Sheppard *et al.*, 2002).

De contraste couleur pouvant être jaune, vert, noir ou bleu, les BSF adultes mesurent entre 15 et 22 mm de longueur, avec une apparence métallique. Elles n'ont pas de pièces buccales

fonctionnelles adaptées pour couper et/ou broyer les aliments plutôt une partie buccale en forme d'éponge pour aspirer le liquide. Si l'aliment est solide, elles doivent le régurgiter avec de la salive afin de le liquéfier et puis faire comme les mouches domestiques. Les adultes n'ennuient pas les humains, leur activité est limitée aux accouplements et à la ponte des œufs (Tanga *et al.*, 2017). Notons que seules les femelles fréquentent les endroits connaissant les odeurs nauséabondes pour y pondre. Pourtant, elles n'entrent pas en contact avec l'attractif, elles pondent au-dessus ou à côté du déchet.

Elles ont un développement de type holométabole ce qui veut dire qu'au cours de leur cycle de vie, elles vivront une métamorphose complète, en passant des œufs aux larves, qui deviendront des pupes puis des adultes capables de voler et de se reproduire. Les mouches femelles ne pondent que s'il y a accouplement. Une femelle pond généralement entre 320 à 620 œufs, dans des crevasses sèches et proche d'odeurs de matières organiques putrescibles (Gougbedji, 2022); d'autres sources précisent qu'on peut aller jusqu'à 1200 œufs par femelle (<https://cleic.fsaa.ulaval.ca/outils/insectes> consulté le 03/12/2023 à 11h30).

Son cycle de développement est relativement court avec 5 stades larvaires (figure 1) où nous distinguons l'œuf, larve, prépupe, pupe et adulte (Rehman *et al.*, 2022). Les adultes pondent leurs œufs sur des crevasses sèches près des matières organiques en décomposition. Au bout de 4 jours, les œufs éclosent et donnent des larves qui se nourrissent sur la matière organique en passant par les 5 stades de développement évoqués (Dortmans *et al.*, 2017). Entre un stade et un autre ils subissent des mues (débarrassement de l'exosquelette). Après le cinquième stade, les larves sombrent, c'est la prépupaison : sixième stade. A ce stade, la prépupe stoppe de se nourrir et migre en quittant la source de nourriture vers un endroit sec pour arriver le stade de pupaison et devient une pupa. Après deux semaines, les mouches adulte émergent des pupes (Chalermliamthong *et al.*, 2023).

Le stade larvaire suivant dure environ 14 jours en conditions optimales, pendant lesquels la larve passe par cinq instars, qui se terminent par un stade pré-pupe. Initialement très petites (< 1 mm), les larves peuvent atteindre une longueur de 27 mm. Dans les élevages, la récolte se fait habituellement autour du jour 10 du stade larvaire, alors que les larves ont accumulé de l'énergie pour la transformation du stade suivant et avant que leur cuticule commence à durcir et à noircir (et que le stade de pré-pupe commence à consommer l'énergie emmagasinée).

Une sixième mue aboutit au stade de pupa, qui perdure d'une à deux semaines, jusqu'à l'émergence de la mouche adulte. Au stade larvaire ou au stade de pupa, la croissance peut être

délayée de plusieurs mois à des températures trop basses ou en l'absence de nourriture. Les adultes en bonne santé mesurent de 15 à 22 mm.

Le stade adulte se consacre entièrement à la reproduction. De plus, une lumière spécifique avec des longueurs d'ondes de 440 et/ou 540 nm est nécessaire pour induire l'accouplement des adultes. (<https://cleic.fsa.ulaval.ca/outils/insectes> consulté le 03/12/2023 à 11h30).

L'humidité, la température, la densité de population (Tableau 1) et le substrat alimentaire (Tableau 2) sont des facteurs importants qui affectent le cycle de vie, le poids, la composition nutritionnelle et la taille des individus.

Tableau 1 : Quelques paramètres à considérer lors de l'élevage

Paramètre	Seuil optimal	Références
Humidité	60 à 70%	(Gougbedji, 2022; Tomberlin & Sheppard, 2002)
Température	Œufs	26 - 30°C
	Larves	30°C
	Prépupes	
	Pupes	
	Adultes	26 – 27°C
Densité	Adultes	8500 individus/m ³
	Néonates	2 larves/g
Durée d'éclairage	12h	(Gougbedji, 2022)
Type de lumière	Lumière naturelle	(Gougbedji, 2022)

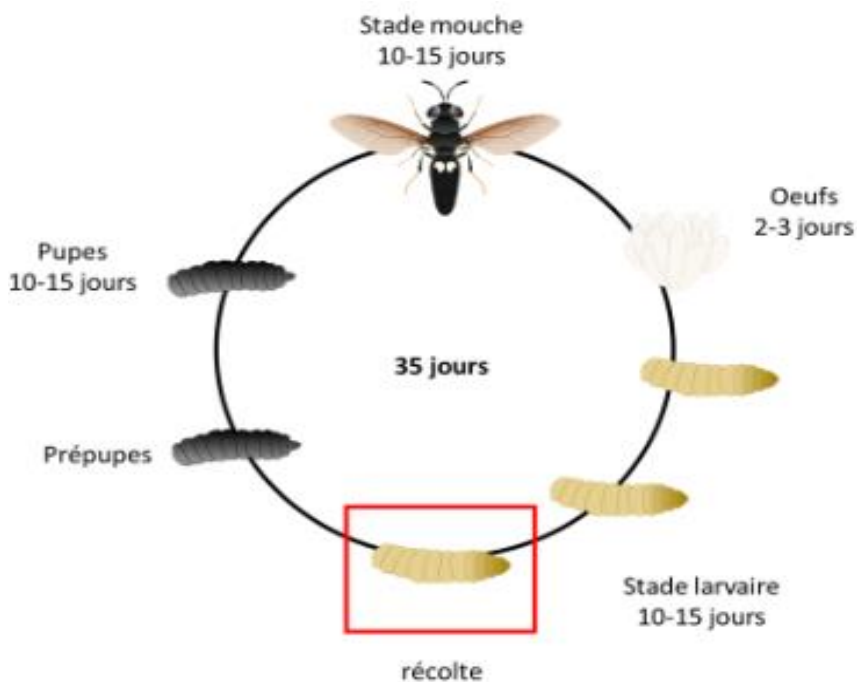


Figure 1 : Cycle de reproduction de la BSF (Source : ECHOCommunity.org)

Avec les propriétés évoquées ci-haut, la mouche soldat noire a été placée au centre de nombreuses études scientifiques, de concepts de gestion et de valorisation des déchets, ainsi que de réflexions sur la politique agricole (FiBL, 2023).

1.3. Potentialités de la MSN

Les Larves de Mouche Soldat Noire (LMSN) sont produites pour leur biomasse riche en protéines et en matières grasses qui peut être donnée en nourriture à de nombreux types de bétail (porcs, poissons, volailles, etc.). Les LMSN séchées contiennent entre 37 % et 63 % de protéines (avec des acides aminés essentiels), entre 7 % et 28 % de matières grasses et sont une riche source de vitamines et de minéraux (Chalermliamthong *et al.*, 2023). Avec leurs appétits voraces, les larves de la MSN se nourrissent de fruits en décomposition, de légumes, de carcasses d'animaux, de divers types de fumier animal, etc. Les LMSN sont de très grandes consommatrices, nécessitant 4,5 à 10 kg de déchets organiques pour produire 1 kg de biomasse larvaire. Donc, ce sont de bons convertisseurs de déchets organiques en fumure (Muinde *et al.*, 2023; Tanga *et al.*, 2017).

Dans l'objectif de disponibilité aux agri-éleveurs cette nouvelle protéine réputée (poisson, poulets, porcs, etc.), des recherches se poursuivent de par le monde sur la production de cette mouche soldat noire utilisable pour l'alimentation animale. Pour y parvenir, certains préfèrent récupérer les œufs dans la nature afin de commencer leur colonie avec les individus locaux.

D'autres commencent leur colonie avec des stades larvaires avancés notamment les pré-pupes et les pupes achetées chez les unités de production.

1.4. Types de substrats attractifs

Plusieurs substrats sont utilisés dans la formulation des attractifs des mouches notamment la fiente de volaille, les viscères et déjections animales (bovins, pors, restes de cuisine, etc.) (Mwangi, 2020a; Sankara *et al.*, 2021, 2022; Singh *et al.*, 2022). Le mélange de tous ces éléments est broyé finement pour qu'il y ait un dégagement rapide d'une odeur très piquante attractante après fermentation de quelques jours (Mwangi, 2020a).

Le tableau 1 ci-dessous donne quelques exemples de composition d'attractifs tout en soulignant leurs avantages et inconvénients.

Tableau 2 : Exemples d'attractifs, avantages et inconvénients

Type d'attractif	Avantages	Inconvénients
Fiente de volaille, autres déjections animales	Odeur attirante marquée, absorption rapide par BSFL ; Très bons substrats de croissance larvaire	Attirent aussi les autres espèces de mouches qui vont parasiter le bac de croissance ; La décomposition des déchets d'animaux dégage une odeur incommode
Résidus de Coco râpés, Résidus de soja, Résidus d'ananas	Odeur particulièrement appréciée par les femelles BSF sauvages qui ont alors tendance à venir pondre en masse = Très bon attracteur olfactif et devient par la suite une source de nourriture pour la croissance des larves	Dessèchement rapide
Déchet de cuisine, Fruit et légumes, épluchures	Très bons substrats de croissance des BSFL	Attirent aussi les autres espèces de mouches qui vont parasiter le bac de croissance ; Ce type de déchets contient 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

Source : (Technival, 2021)

1.4.1. Efficacité des attractifs

Les attractifs formulés à base des déjections animales sont plus efficaces par rapport à ceux formulés à partir des coproduits agricoles. Cela car, ceux d'origine animale émettent une odeur caractéristique pouvant attirer les mouches même à des distances longues (Hamidou *et al.*, 2021).

1.4.2. Formulation d'un attractif

Pour avoir un bon attractif, il faut un mélange de deux ou plus types de déjections animales. On les emballe et ferme hermétiquement dans un bassin plastique ne permettant pas la fuite de chaleur afin que la fermentation soit optimale. Cet attractif est alors transféré après 48h, dans un petit récipient de plus ou moins 1kg et acheminer dans un endroit ombragé pour attendre la ponte des mouches.



Figure 2 : Attractif formulé à base des déjections de porcs

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

Durant les deux mois, nous avons effectué notre stage au sein de l'Institut des Sciences Agronomiques du Burundi (ISABU). Sous l'encadrement du personnel de cet institut, les activités ont été réalisées dans les enceintes dudit institut, d'autres à l'extérieur.

2.1. Description de l'ISABU

L'ISABU est une Institution nationale sous la tutelle du Ministère de l'Environnement, de l'agriculture et de l'Elevage créée par l'ordonnance législative no B7/11 du 22 juin 1962, mandatée pour faire de la recherche agricole afin de fournir aux agriculteurs burundais un matériel animal et végétal performant ainsi que des technologies accompagnatrices appropriées. Les textes officiels qui régissent l'ISABU sont des lois, des règlements d'ordre intérieurs et le décret-loi no 1/123 du 25 juillet 1988 relative au règlement organique des établissements publics du Burundi.

a) Objectifs de l'ISABU

L'ISABU, étant une institution de recherche possède les objectifs suivants :

Dans ses objectifs, l'ISABU veut *promouvoir* la recherche agronomique en mettant à la disposition des agriculteurs un matériel animal et végétal performant et des techniques agropastorales améliorées. Il veut aussi *développer* des technologies et innovations favorisant une gestion durable et intégrée des ressources naturelles pour la production agricole. Il cherche aussi à *favoriser* l'interaction entre les acteurs clés du développement du monde à travers une promotion des chaînes de valeur.

b) Mission et Vision de l'ISABU

La mission de l'ISABU est de contribuer, en collaboration avec ses partenaires, au développement des innovations et des connaissances agricoles qui visent une amélioration du bien-être et une agriculture orientée vers le marché par l'accroissement de la productivité et la promotion des chaînes de valeur.

Sa vision est de contribuer à la mise en place d'un secteur agricole dynamique fondée sur des technologies innovantes, des connaissances et des approches qui répondent aux besoins des utilisateurs des résultats de recherche (<https://isabu.bi/> consulté le 5 janvier 2024 à 14h30).

c) Organisation de l'ISABU

L'ISABU est organisé en trois Départements dont un de recherche et deux autres d'appuis à la recherche. Le Département de recherche comporte 5 Programmes de recherche entre autres le programme Aménagement et Ecologie, Valorisation des produits de l'agriculture et l'élevage, Productions animales, Productions végétales et Systèmes agraires et économie rurale (Annexe 1).

Durant une période de deux mois, de janvier-février 2024, nous avons effectué notre stage dans le Programme de Recherche Productions Végétales, précisément dans la Composante Recherche sur les maladies et ravageurs des cultures. Dans le plan de protection des cultures contre les nuisibles, les recherches se font dans le laboratoire d'entomologie.

2.2. Production de la MSN utilisant la souche importée

Dans la collaboration de l'équipe de l'ISABU qui s'est engagée dans la production de la mouche soldat noire *Hermetia illucens* L.1758 (Diptera : Stratiomyidae), une recherche sur cette mouche utilisée dans l'alimentation animale a été abordée dans des conditions contrôlées.

a) Acquisition des pupes de démarrage

Les pupes utilisées pour commencer notre colonie sont venues de l'approvisionnement d'un particulier. Après la réception, une sélection de meilleures pupes a été effectuée (Figure 1). Cette sélection nous a donné une masse de 1,102kg, soit environ 8210 pupes. Ce nombre a été mis directement dans une cage d'accouplement où se fait même l'émergence des mouches adultes.



Figure 3 : Sélection de meilleures pupes à mettre dans la cage

b) Installation de la cage

Une cage confectionnée en tissu sous forme de moustiquaire, les pupes sélectionnées y sont acheminées. A l'intérieur de cette même installation, nous avons mis un attractif confectionné à l'aide de son de riz de fermenté et de bananes mûres (figure 4). Après trois jours, les imagos commencent à émerger en grand nombre et premières pontes surviennent dans les trois jours qui suivent leur émergence en adultes.



Figure 4 : Installation de la cage d'accouplement : A. Mise en cage des pupes avec des poids au-dessus de l'attractif ainsi qu'un abreuvoir; B. Emergence des imagos

La collecte des œufs survient au 7^{ème} jour à compter à partir du jour de l'émergence. C'est une activité qui se fait avec prudence pour ne pas les casser (Figure 6). Les œufs collectés ont été incubés dans des conditions bien contrôlées pour faciliter le suivi.

c) Evaluation du taux d'émergence

Un taux d'émergence a été estimé à partir du jour où il y a présence des individus adultes. Puisque la MSN a une durée de vie estimée de 7 à 10 jour, des cumuls qui consiste à ajouter le nombre d'individus supposés morts ont été faits dans les trois catégories d'individus adultes notamment le total des individus mâles et femelles confondus, le total des mâles et celui des femelles.

d) Transfert des larves vers les substrats de croissance

Les œufs incubés et éclos deviennent des néonates qui grandissent premièrement sur des substrats soft permettant la croissance rapide juste après l'éclosion. Pourtant, au premier stade larvaire, ils sont transférés sur d'autres substrats dits de développement. Ces substrats sont entre autres le mélange constitué par les restes de fruits comme avocats, mangues et pastèques ; les épiluchures de pomme de terre ainsi que la fumure de porcs.

2.3. Initiation de l'élevage de la MSN utilisant la souche capturée localement

2.3.1. Collecte des œufs de la MSN dans la nature

Comme nous l'avons vu la MSN aime des matières organique en décomposition, il faut de ce fait formuler des attractifs pouvant attirer les mouches à venir pondre sur nos substrats (Sankara *et al.*, 2021). A l'heure actuelle, on peut se procurer des œufs de la MSN chez les unités de production tout comme on peut initier la première colonie par soi-même à partir de la nature (Mwangi, 2020a). Pour notre cas, nous adoptons la deuxième option qui consiste à nous procurer des œufs de la BSF à travers la capture dans le milieu environnant à l'aide des attractifs appropriés. Le choix de cette option est basé sur le fait que les individus obtenus sont des individus qui seraient plus adaptés aux conditions locales.

a) Confection des pendoirs et collecte des oeufs

Les pendoirs ont été confectionnés à base de petits morceaux de bois, cartons ou encore plastiques ondulés qu'on empile les uns sur les autres. On pose alors ces blocs au-dessus d'un récipient rempli d'attractif, pour attirer la mouche soldat noire adulte à venir pondre et par conséquent recueillir les œufs (figure 5).

Pour notre cas, nous avons utilisé les pendoirs confectionnés en morceaux de bois accolés les uns sur les autres avec des cordelettes.



Figure 5 : Pendoirs déposés au-dessus de l'attractif dans deux endroits différents dans les enceintes de l'ISABU

Après le placement de cet attractif, avec l'équipe de l'ISABU qui est en train de travailler sur la recherche de la MSN, nous avons effectué une surveillance des pondoirs pour voir s'il y aurait des œufs déjà pondus.

b) Collecte et Transport des oeufs

Les pondoirs sur lesquels il y a eu de pontes ont été récupérés et amenés dans la salle calme afin de les enlever soigneusement avec des bistouris stériles et pinceaux (figure 6).



Figure 6 : Collecte des œufs : A et B. Démontage des pondoirs et visualisation des œufs ; C. Amas d'œufs sur une latte constituant un des pondoirs ; D et E. Enlèvement des œufs sur les pondoirs et la mise sur boîtes de Pétri

2.3.2. Incubation des œufs

Au-dessus d'une source de nourriture, nous avons mis les œufs sur un tamis de mailles qui permettraient le passage des néonates vers la nourriture après l'éclosion qui commence dès le troisième jour. Cette disposition évite le contact des œufs et le substrat (figure 7).

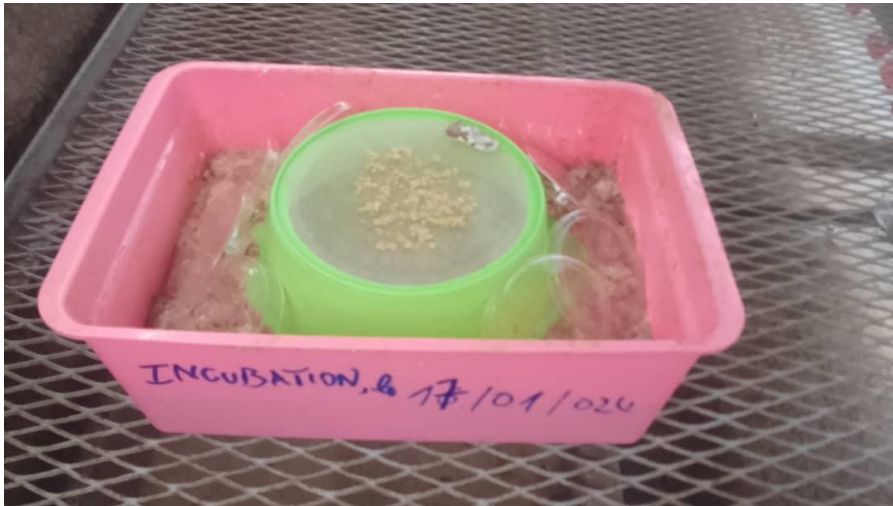


Figure 7 : Incubation des œufs au-dessous d'une source de nourriture qui va assurer la survie de néonates issues de l'éclosion

2.4. Conditions de croissance pour la MSN

Après avoir collecté les œufs dans l'environnement, il faut penser aux conditions permettant l'éclosion et la croissance optimale des larves. Parmi ces conditions, on citera le type et l'état du substrat, la température optimale, l'humidité relative, la luminosité favorable, l'exigence en alimentation selon le stade larvaire, les conditions favorables à l'accouplement, etc. A côté de ces conditions du milieu à contrôler, il faut aussi penser à installer des cages de ponte et prévoir des endroits de croissance des larves.

❖ Cages de ponte

A l'intérieur de la serre, une cage d'accouplement (Figure 7) a été installée sur les supports semi-métalliques. Les larves issues de cette étape sont laissées évoluer et émerger en adultes qui vont pondre les œufs afin de progresser dans l'augmentation de la colonie. Dans cette cage, on assiste à tous les stades de développement de la MSN depuis l'œuf jusqu'à la mouche adulte. Vu que les accouplements s'annoncent, il faut amener à nouveau l'attractif ainsi les pondoires pour récupérer de nouveaux œufs.



Figure 8 : Cage d'accouplement installée à l'intérieur de la serre

❖ Chambre de croissance des larves

La cage de ponte mise à part, on prévoit un endroit où on met de grands bassins plastiques contenant du substrat sélectionné pour assurer la croissance effective des larves.

2.5. Température et Humidité relatives

En tant qu'organismes poïkilothermes, trois paramètres abiotiques essentiels sont à surveiller lors de leur élevage en milieu contrôlé : une température moyenne de 26°C, une humidité relative (HR) entre 60 et 75% ainsi qu'une photopériode pouvant aller de 8h à 12h de lumière par jour. Ces conditions sont beaucoup à privilégier aux mouches, oeufs et les jeunes larves (FiBL, 2023; Hamidou *et al.*, 2021).

2.6. Développement et Récoltes des larves

Dans l'échéance de 2 à 3 jours les œufs éclosent (Mwangi, 2020b) et les larves se dirigent vers la source de nourriture. L'engraissement se termine avant que les larves, sous forme de pré-pupes sombres, ne cessent de s'alimenter et cherchent un endroit approprié pour la nymphose. La récolte a lieu dès que les premières pré-pupes apparaissent (au plus tard lorsque la proportion de pré-pupes atteint 20 %, vers les jours 18 à 22 du développement larvaire) (FiBL, 2023).

D'une manière générale, les larves sont récoltées quand le taux de protéine est sensiblement élevé. Cela peut être reconnu par la couleur beige ; avant la récolte les larves sont blancs.

Quand elles dépassent le stade de récolte, elles sont de couleur noire/grise et commencent à échapper la source de nourriture (substrat) (Guide, 2018).



Figure 9 : Stade larvaire à récolter basé sur la couleur

2.7. Estimation de la masse des larves obtenues

Les larves issues de l'élevage ont été pesées sur une balance de précision pour voir les quantités qu'on peut obtenir. Cela est le cas pour les deux types de souches importée et capturée localement.

CHAPITRE III : PRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS

3.1. Souche importée

a) Taux d'émergence

Sur un effectif de 8210 pupes mises dans la cage d'accouplement environ 3000 individus ont déjà émergé, soit un taux de 36,5%. Le graphique ci-dessous (figure) montre un pic ce qui signifie le taux d'émergence déjà atteint. Pourtant, il s'observe un déclin du nombre d'individus ce qui signifie que la colonie tend à se terminer puisque la durée de vie de la MSN est de 7 à 10 jours.

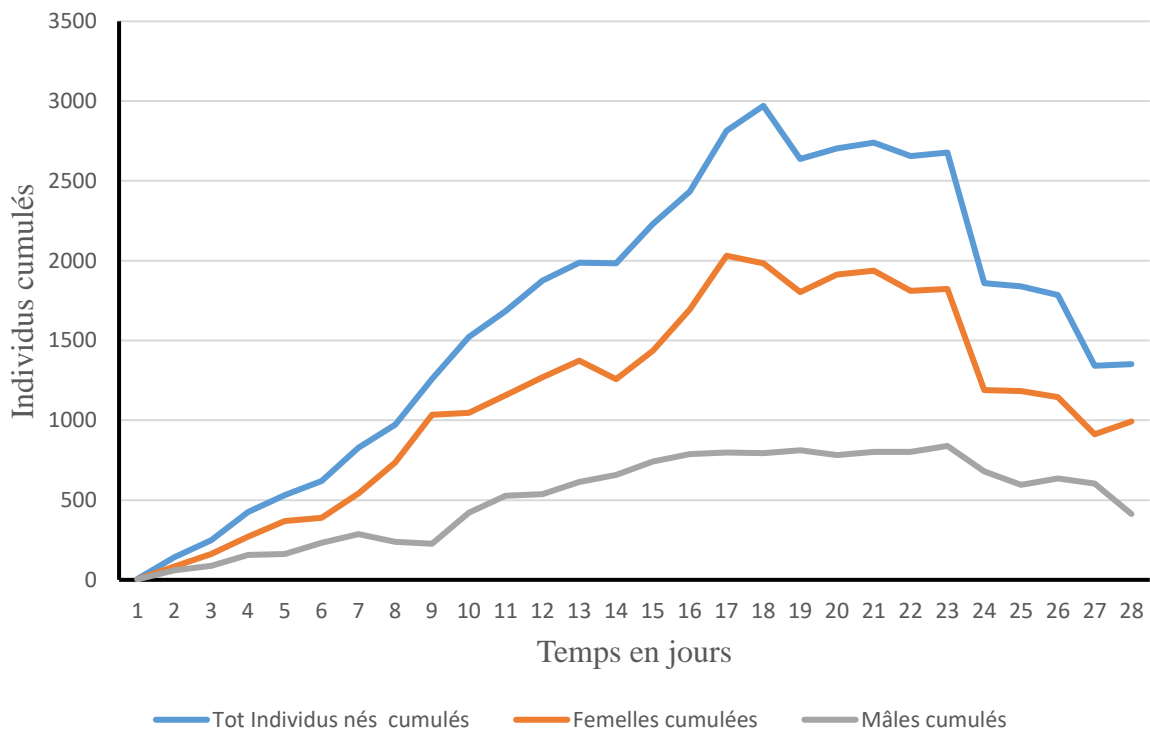


Figure 10 : Effectifs cumulés des individus issus de l'émergence en adultes

b) Rendement des œufs sur les pondoirs

Même si la colonie n'est pas encore terminée, un rendement de ponte constitué par trois récoltes a été estimé. Sur les pondoirs mis dans la cage d'accouplement : $1,6756g + 2,5746g + 2,1393g = 6,3895g$.

Selon la théorie de Booth et Sheppard (1984) une masse de 29,1mg d'œufs de la MSN peut contenir un nombre pouvant atteindre 998 œufs. Avec 6,3895g d'œufs, nous aurons le nombre qui équivaut à : $\frac{6389,5 \times 998}{29,1} = 77\ 618$ œufs.

c) Estimation de la masse des larves

En prenant comme exemple 7,6732g la masse de 100 larves développées sur l'aliment considéré comme référence, celui destiné aux jeunes volailles on pourrait obtenir une estimation de 6635,4g à partir de 77618 œufs. Signalons que la colonie était à 36,5% d'émergence, donc le rendement pourrait augmenter à la fin de la colonie.

3.2. Souche locale

a) Rendement de la ponte

Sur les pondoirs confectionnés pour deux attractifs qui ont été mis dans les jardins de l'ISABU, nous avons pu collecter environ 30 amas d'œufs ont été collectés. Alors qu'un amas d'œufs peut contenir environ 998 œufs (Booth et Sheppard, 1984). Notre récolte nous donnerait estimativement 29940 œufs (larves après éclosion).

b) Estimation de la masse des larves

Avec la balance de précision, nous avons remarqué que les individus (larves) issus de cette souche locale ont une masse considérable du fait que 20 individus donnent une masse de 2,3081g. Ce qui nous permettrait d'avoir un rendement de $(2,3081 \times 29940)/20 = 3455,22g$.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Notre étude a pour intérêt de contribuer à la recherche sur la production de la mouche soldat noire qui, dans ces derniers jours est utilisée dans l'amélioration de l'alimentation animale. Il a été remarqué que l'élevage peut être débuté à partir des pupes achetées chez un autre éleveur tout comme on peut commencer la colonie soi-même à partir de la capture dans la nature du fait que cette mouche est cosmopolite.

Etant un pays de la région tropicale, le Burundi possède des potentialités d'élever la mouche soldat noire à grande ampleur une fois le dispositif adéquat disponible. Il a été démontré que les conditions optimales peuvent être maîtrisées et maximiser la production. Au vu que la mouche soldat noire se développe mieux sur des coproduits majoritairement agricoles, son élevage est possible d'autant plus que le pays est à plus de 90% agriculteur. Il est d'ailleurs, quelques fois difficile de gérer les déchets agroalimentaires surtout ceux qui sont emmagasinés et laissés se décomposer autour des marchés. L'élevage de cette mouche contribuera à la gestion de ces déchets et par conséquent la protection de l'environnement. L'intégration effective de source de protéine dans l'alimentation animale aura un impact positif sur la disponibilité de source de protéine utile à l'alimentation humaine. Par conséquent, la sécurité alimentaire sera garantie. Alors qu'il y a des points que nous n'avons pas abordé qui pourraient donner une contribution de plus pour que la production soit maximale, nous recommandons ce qui suit :

- ▶ évaluer l'influence de types substrats sur la croissance et la survie des larves ;
- ▶ évaluer la qualité nutritionnelle des larves selon les types de substrats.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

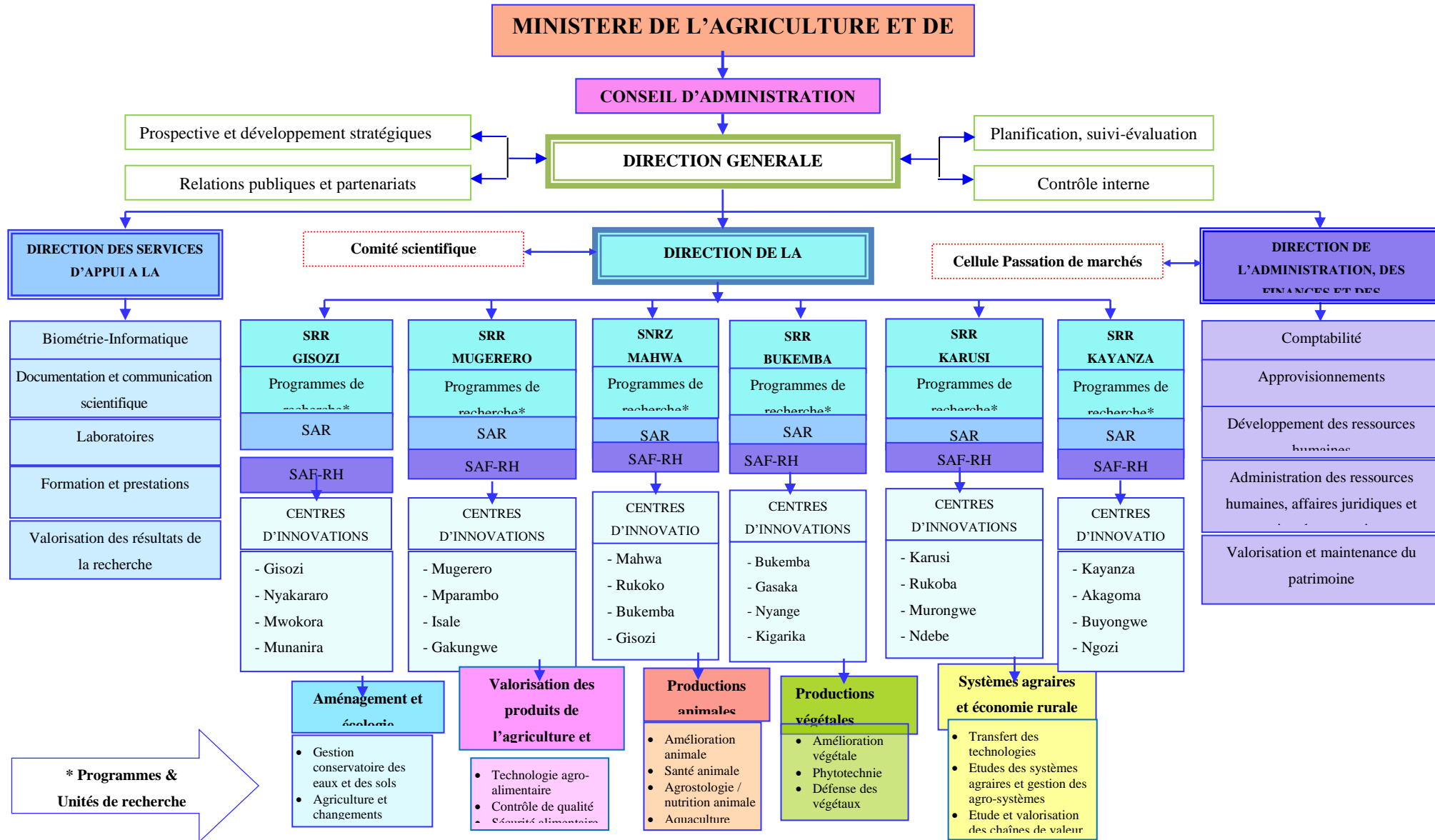
- Abro, Z., Macharia, I., Mulungu, K., Subramanian, S., Tanga, M., & Kassie, M. (2022). The potential economic benefits of insect-based feed in Uganda. *Frontiers in Insect Science*, 2:968042, 1–14. <https://doi.org/10.3389/finsc.2022.968042>
- Bußler, S., Rumpold, B. A., Jander, E., Rawel, H. M., & Schlüter, O. K. (2016). Recovery and techno-functionality of flours and proteins from two edible insect species: Meal worm (*Tenebrio molitor*) and black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Heliyon*, 2(12). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2016.e00218>
- Busti, S., Bonaldo, A., Candela, M., Scicchitano, D., Trapella, G., Brambilla, F., Guidou, C., Christophe Trespeuch, F. S., Dondi, F., Gatta, P. P., & Parma, L. (2023). *Hermetia illucens* larvae meal as an alternative protein source in practical diets for gilthead sea bream (*Sparus aurata*): A study on growth, plasma biochemistry and gut microbiota. *ELSEVIER*, 578(22). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.740093>
- Chalermliamthong, S., Trail, P., Walle, R., & Motis, T. (2023). Black Soldier Fly Larvae Production. *Echo. Technical Note*, 99.
- Dortmans, B., Diener, S., Verstappen, B., & Zurbrügg, C. (2017). *Black Soldier Fly Biowaste Processing*.
- FAO. (2022). *La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2022. Vers une transformation bleue Rome, 294p*.
- FiBL. (2023). *Fiche technique: Instructions pour l'élevage et l'engraissement de la mouche soldat noire. Production de protéines alimentaires à partir de résidus, Edition Suisse, N°1727*.
- Gougbedji, A. M. U. (2022). *Valorisation de coproduits agricoles pour l'élevage de la mouche-soldat noire, Hermetia illucens (L. 1758) visant l'alimentation du tilapia du Nil Oreochromis niloticus (L. 1758) au Bénin*. Thèse de Doctorat, Sciences agronomiques et ingénierie biologique. Université de Liège, Gembloux, 197p.
- Guide, F. (2018). *Black Soldier Fly Production*.
- Hamidou, L. I., Moussa, O. Z., Francis, F., & Caparros, M. R. (2021). Techniques de production d'asticots de mouches domestiques (*Musca domestica* L. 1758) pour l'alimentation des volailles, synthèse bibliographique. *Tropicultura*, 39(2, 1813), 1–23. <https://doi.org/10.25518/2295-8010.1813>
- Muinde, J., Tanga, C. M., Olukuru, J., Odhiambo, C., Tonnang, H. E. Z., & Senagi, K. (2023). Application of Machine Learning Techniques to Discern Optimal Rearing Conditions for

- Improved Black Soldier Fly Farming. *Insects*, 14(479).
- Mwangi, R. (2020a). *How to attract the Black Soldier Fly (Hermetia) to start your colony, ICIPE*.
- Mwangi, R. (2020b). *How to harvest eggs of the #BlackSoldierFly #HermetiaFarming (240p), Insectary*.
- Nakamura, S., Ichiki, R. T., Shimoda, M., & Morioka, S. (2016). Small-scale rearing of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae), in the laboratory: low-cost and year-round rearing. *Applied Entomology and Zoology*, 51(1), 161–166. <https://doi.org/10.1007/s13355-015-0376-1>
- Naylor, R. L., Hardy, R. W., Bureau, D. P., Chiu, A., Elliott, M., Farrell, A. P., Forster, I., Gatlin, D. M., Goldberg, R. J., Hua, K., & Nichols, P. D. (2009). Feeding aquaculture in an era of finite resources. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(36), 15103–15110. <https://doi.org/10.1073/pnas.0905235106>
- Nyakeri, E. M., Ogola, H. J. O., Amimo, F. A., & Ayieko, M. A. (2017). Comparison of the performance of different baiting attractants in the egg laying activity of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.). *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 5(6), 1583–1586.
- Nyangena, D. N., Mutungi, C., Imathiu, S., Kinyuru, J., Affognon, H., Ekesi, S., Nakimbugwe, D., & Fiaboe, K. K. M. (2020). Effects of Traditional Processing Techniques on the Nutritional and Microbiological Quality of Four East Africa. *Foods*, 9, 574.
- Sankara, F., Sankara, F., Pousga, S., & Coulibaly, K. (2021). Amélioration de techniques de production , domestiques (*Musca domestica* Linnaeus , 1758) utilisées dans l ' alimentation des volailles au Burkina Faso. *Journal of Animal & Plant Sciences (J.Anim.Plant Sci. ISSN 2071-7024)*, 50(1), 8998–9013. <https://doi.org/10.35759/JAnmPlSci.v50-1.4>
- Sankara, F., Sankara, F., Pousga, S., Jeanne, W., Bamogo, M., Coulibaly, K., Nacoulma, J. P., & Somda, I. (2022). *Influence des attractifs sur la production des larves de la mouche domestique (Musca domestica L . (1758)) pour l ' alimentation avicole dans la zone ouest du Burkina Faso Influence of attractants on the production of housefly larvae (Musca domestica . 16(June), 1217–1231.*
- 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. <https://doi.org/10.1603/0022-2585-39.4.695>
- Singh, A., Marathe, D., Raghunathan, K., & Kumari, K. (2022). Correction: Effect of different organic substrates on selected life history traits and nutritional composition of black soldier

- fly (*Hermetia illucens*) (*Environmental Entomology* (2021) DOI: 10.1093/ee/nvab135). *Environmental Entomology*, 51(3), 641. <https://doi.org/10.1093/ee/nvac025>
- Tanga, C. ., Fiaboe, K. K. M., Niassy, S., Joop, J. A. V. L., S., E., & M., D. (2017). *A field guide to commercially produce low-cost, high-quality novel protein source to supplement feeds for poultry, pig and fish industries and the valorization of organic by-products*. ICIPE, Nairobi, Kenya, 31p.
- Technival. (2021). *Guide D'Élevage De Larves De La Mouche Soldat Noire*. Communauté pacifique, Direction de l'Agriculture de la Polynésie française (DAG), France.
- Tomberlin, J. K., Adler, P. H., & Myers, H. M. (2009). Development of the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) in relation to temperature. *Environmental Entomology*, 38(3), 930–934. <https://doi.org/10.1603/022.038.0347>
- Tomberlin, J. K., & Sheppard, D. C. (2002). Factors influencing mating and oviposition of black soldier flies (Diptera: Stratiomyidae) in a colony. *Journal of Entomological Science*, 37(4), 345–352. <https://doi.org/10.18474/0749-8004-37.4.345>

ANNEXE

Annexe 1 : Organigramme de l'Institut des Sciences Agronomiques du Burundi (ISABU)



Annexe 2 : Photos montrant quelques activités



