

Sandec: Département Assainissement,
Eau et Déchets pour le Développement

Traitement des Biodéchets par la Mouche Soldat Noire

Un Guide Étape par Étape - 2^{ème} Édition



eawag
aquatic research **ooo**

Impressum

Éditeur	Eawag – Institut Fédéral Suisse des Sciences et Technologies de l’Eau Département Assainissement, Eau et Déchets pour le Développement (Sandec) Überlandstrasse 133, 8600 Dübendorf, Suisse Téléphone +41 58 765 52 86
Photo de couverture	Sirajuddin Kurniawan
Images	Eawag (sauf indication contraire)
Mise en page	Leanza Mediaproduktion GmbH
Schémas	Stefan Diener, Eawag
Revue	Moritz Gold
Traduction	Besil Center, Cotonou, Bénin
Revue de langue	Niklaus Waldvogel, Swisscontact Adeline Mertenat, Eawag Stefan Diener, Eawag
Publication	2022
Tirage	100 exemplaires imprimés
ISBN	978-3-906484-77-8
Référence Bibliographique	Dortmans B.M.A., Egger J., Diener S., Zurbrügg C. (2021) Traitement des Biodéchets par la Mouche Soldat Noire - Un Guide Étape par Étape - 2ème Édition Eawag: Institut Fédéral Suisse des Sciences et Technologies de l’Eau, Dübendorf, Suisse



Le contenu de ce document est sous licence de
Creative Commons Attribution 4.0 International



Traitement des Biodéchets par la Mouche Soldat Noire

Un Guide Étape par Étape - 2^{ème} Édition

Bram Dortmans
Julia Egger
Stefan Diener
Christian Zurbrügg

Rédigé et publié avec le soutien financier du Secrétariat d'Etat à l'économie (SECO) de la Suisse
et de la Fondation Swiss Re



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra



Swiss Re
Foundation

Département fédéral de l'économie,
de la formation et de la recherche DEFR
Secrétariat d'Etat à l'économie SECO

Traduit en français avec le soutien financier du projet *Béinclusif* de Swisscontact Bénin


swisscontact



Table des matières

Glossaire	IV
Chapitre 1 : Justification	1
1.1 Introduction Générale	1
1.2 Champ d'application et public cible	2
1.3 Parcours dans ce guide	3
Chapitre 2 : Introduction au traitement des biodéchets par la MSN	5
2.1 La Mouche Soldat Noire	5
2.2 Pourquoi la Mouche Soldat Noire ?	7
2.3 Conception du cycle de vie de la Mouche Soldat Noire	8
2.4 Mesures de sécurité et d'hygiène lors du travail avec la MSN et les biodéchets	9
Chapitre 3 : Processus d'élevage de la MSN	11
3.1 Elevage de la MSN dans un environnement contrôlé	11
3.2 Activités dans l'unité d'élevage de la MSN	16
3.3 Planification du travail et gestion des données	36
Chapitre 4 : Opération de conversion des LMSN	39
4.1 Approvisionnement en biodéchets	39
4.2 Activités dans l'unité de conversion des LMSN	45
4.3 Calendrier des travaux, suivi et collecte de données	59
Chapitre 5 : Post-traitement et commercialisation des LMSN	61
5.1 Produits commercialisables issus de la conversion des biodéchets par les LMSN	61
5.2 Activités dans l'unité de post-traitement	67
5.3 Suivi, stockage et étiquetage des produits	84
Chapitre 6 : Développement commercial	87
6.1 Analyse des coûts-recettes et de la viabilité financière	87
6.2 L'outil de modèle commercial basé sur des scénarios	88
6.3 L'outil de modélisation des coûts basé sur le Web	90
6.4 Choix du site d'une installation de traitement des déchets par la MSN	90
6.5 Créer un plan d'étage et planifier la localisation des unités pour un site MSN	91
6.6 Scénarios opérationnels et planification du travail	92
Annexes	97
Annexe A : Programme journalier de travail pour l'unité d'élevage	98
Annexe B : Programme journalier d'alimentation du bac de la pépinière de larves	101
Annexe C : Programme journalier de travail pour l'unité de conversion	102
Annexe D : Fiche de suivi des paramètres de productivité dans l'unité d'élevage	106
Annexe E : Fiche de suivi des paramètres de productivité dans l'étape de traitement de l'unité de conversion	108
Annexe F : Fiche de suivi pour l'étape de prétraitement et de l'unité de conversion	110
Annexe G : Fiche de suivi des paramètres dans l'unité de posttraitement	112
Annexe H : Dessins techniques pour les matériaux et équipements sur mesure	114
Annexe I : Liste des besoins en matériaux pour trois scénarios d'exploitation dans une installation de traitement des biodéchets par la MSN	124

Glossaire

5-DOL :	Abréviation de larves âgées de 5 jours (5-Day-Old-Larvae). Le fait de garder les larves fraîchement écloses dans un environnement contrôlé et protégé pendant cinq jours après l'éclosion augmente le taux de survie et les chances de survie et permet de compter les larves avant qu'elles ne soient ajoutées aux biodéchets.
Acides aminés :	Les acides aminés sont les éléments constitutifs des protéines et déterminent donc leur qualité. Le profil d'acides aminés de la farine de LMSN est important à prendre en compte dans les formulations d'aliments pour animaux.
Acides gras :	Composants majeurs de l'huile. La composition en acides gras détermine la qualité et l'application de l'huile MSN.
Activité de l'eau :	L'activité de l'eau est une mesure de l'eau libre dans un produit qui est disponible pour les micro-organismes. Une activité de l'eau inférieure à 0,6 inhibe la croissance de toutes les bactéries et levures.
Adulte :	Le stade de développement final après la nymphose. Chez les insectes, on l'appelle généralement "imago".
Appât/Attractif :	Substance liquide malodorante qui attire les MSN femelles pour qu'elles pondent des œufs à proximité. Habituellement, cette substance contient différentes substances odorantes comme des fruits en fermentation, des mouches mortes ou des résidus. On a également constaté que les œufs de la Mouche Soldat Noire constituent un appât. Il est donc conseillé de ne pas récolter les œufs tous les jours car les œufs déjà pondus attirent d'autres femelles.
Approvisionnement en déchets :	Un approvisionnement approprié en déchets est d'une importance cruciale pour une chaîne complète de traitement des déchets. Elle repose sur un système de collecte des déchets bien organisé qui prend en compte des itinéraires de collecte efficaces et des moyens de transport adéquats.
Assainissement :	Procédé permettant de conditionner les larves avant de les transformer en produits. Les larves sont tuées rapidement en les plongeant dans de l'eau bouillante pendant 60 secondes et sont ensuite nettoyées à l'eau froide et propre.
Bac à larves :	Le bac à larves est le bac où les larves se nourrissent de biodéchets après avoir été transférées de l'unité d'incubation. Les larves y restent de 8-DOL (larves âgées de 8 jours) jusqu'à 17-DOL (larves âgées de 17 jours), date à laquelle elles sont récoltées.
Bac d'éclosion :	Après l'éclosion, les nouveau-nés tombent dans le bac d'éclosion où elles restent et se nourrissent pendant cinq jours d'aliments nutritifs (aliments pour poulets) pour devenir des 5-DOL.
Bac de la pépinière de larves :	Dans le bac de la pépinière de larves, les 5-DOL sont nourris avec une quantité définie d'aliments nutritifs (par exemple, des aliments humides pour poulets) jusqu'à ce qu'ils se transforment en pré-pupes. Ils sont transférés dans les bacs de nymphose où les pré-pupes se transforment en pupes et finissent par émerger en tant qu'adultes pour maintenir la colonie.
Bac de nymphose :	Le bac de nymphose est rempli d'un substrat de nymphose humide (par exemple du compost, de la tourbe de coco humide, du terreau, etc.) dans lequel les pré-pupes s'enterrent pour se nymphoser.
Bac de transfert :	Collecte des pré-pupes qui rampent hors du bac de la pépinière de larves. Il contient de la tourbe de coco ou une autre substance sèche pour empêcher les pré-pupes de s'échapper.
Ballot de tasseaux :	Le moyen utilisé dans un système MSN pour collecter les œufs. Il fournit des cavités pour abriter les œufs.
Biodéchets :	Généralement, toute matière biodégradable. Dans ce contexte particulier, il ne s'agit pas des déchets riches en cellulose (par exemple, les déchets de jardin, le bois, les tontes de gazon, les feuilles, etc.), car ils ne peuvent pas être facilement digérés par les larves.
Biosystème artificiel :	Un processus biologique qui a été optimisé pour une utilisation pratique.
Blanchiment :	Le blanchiment consiste à plonger brièvement les larves dans de l'eau bouillante et à les laver ensuite à l'eau propre et froide.

Broyeur à marteaux :	Broyage et déchiquetage des matériaux en petits morceaux par des coups répétés de petits marteaux. Il ne coupe pas le matériau. La taille des particules est définie par le diamètre du tamis de sortie.
Cadre de ventilation :	Fournit un espace entre les couches de larves. Il assure l'échange d'air et, par conséquent, l'élimination de l'humidité des bacs à larves.
Cage d'amour :	La cage d'amour est une enceinte grillagée contenant une cohorte de mouches du même âge provenant des cages sombres. Dans la cage d'amour, les mouches adultes s'accouplent et les femelles pondent leurs œufs dans des ballots de tasseaux. Après une semaine, la cage d'amour est retirée et vidée.
Cage sombre :	Les mouches adultes émergent dans la cage sombre où elles restent jusqu'à leur transfert dans la cage d'amour. L'obscurité permet aux mouches de rester calmes et empêche toute activité d'accouplement.
Code de date :	Le code date permet de calculer la durée du processus en cours et s'applique aux cages et aux bacs. Il est composé de la semaine de l'année civile et du jour de la semaine (par exemple : le mardi de la semaine 8 est codé 8.2).
Compost :	Matière organique qui a été dégradée et transformée par des processus aérobies en une substance semblable au sol et qui peut être utilisée comme engrais et amendement du sol.
Conditionnement :	Préparation de la LMSN récoltée pour la vente sous forme vivante ou pour un traitement ultérieur. Le conditionnement des larves est une exigence pour augmenter la pureté et la qualité du produit.
Date de péremption :	Une date fixée au préalable après laquelle le produit ne doit plus être utilisé.
Décantation :	Procédé de purification de l'huile brute de la MSN. Versement progressif de l'huile séparée de la MSN d'un bac à un autre sans perturber les solides décantés.
Déchets alimentaires et de restaurants :	Les biodéchets provenant des restaurants sont constitués de déchets de cuisine et de déchets alimentaires. Ils ont généralement une valeur nutritionnelle plus élevée et une teneur en eau plus faible que les déchets de marché ou de transformation alimentaire.
Déchets d'abattoir :	Il s'agit des os, des organes, des sabots, du sang et des autres parties non comestibles de l'animal qui restent après que toutes les parties comestibles de l'animal ont été retirées. Il peut également s'agir du contenu des intestins des animaux abattus.
Déchets de marché :	Ces déchets sont principalement constitués de fruits et de légumes. Ils ont une forte teneur en eau (jusqu'à 95%) et sont soumis à des variations saisonnières. Les parties extérieures des légumes à feuilles peuvent avoir été exposées à des pesticides.
Déchets de transformation des aliments :	Les biodéchets provenant de l'industrie agroalimentaire. Il s'agit des morceaux de fruits, de légumes et des miettes de pain et/ou des produits laitiers. Il s'agit généralement d'une source de déchets homogène et uniforme.
Déchets organiques municipal :	La fraction organique des déchets produits par les établissements humains, qui comprennent les logements, les locaux commerciaux et industriels, les institutions (écoles, centres de santé, prisons, etc.) et les espaces publics (rues, arrêts de bus, parcs et jardins).
Déshydratant :	Substance qui absorbe l'eau et maintient ainsi un état de sécheresse.
Digestion anaérobie :	Dégradation des composés organiques par des micro-organismes en l'absence d'oxygène, conduisant à la production de biogaz.
Douche d'éclosion :	Les œufs récoltés sont placés sur un support appelé douche d'éclosion, qui est placé au-dessus d'un bac d'éclosion. Lorsque les jeunes larves éclosent, elles tombent dans le bac d'éclosion, qui est remplacé régulièrement (tous les un à trois jours).
Drêche :	Le principal déchet de la production de bière. Les restes de malt et d'adjuvants après que le moût ait extrait la plupart des sucres, des protéines et des nutriments.
Durée de conservation :	La durée pendant laquelle un produit LMSN peut être utilisé avant que sa qualité ne diminue.
Éclosion :	Le processus de sortie des jeunes larves (éclosions) de l'œuf.

Élevage :	L'installation d'élevage contient tout le cycle de vie de la MSN et produit le 5-DOL en nombre suffisant pour traiter les biodéchets entrants.
Excrément/Résidus :	Les restes après le processus de traitement. Cette substance peut être un substrat friable, semblable à de la terre, ou une boue humide. Elle nécessite une étape ultérieure de compostage pour se stabiliser, avant de pouvoir être utilisée comme amendement solide et/ou engrais.
Farine de poisson :	La farine de poisson est un ingrédient alimentaire riche en nutriments utilisé dans les régimes alimentaires des animaux d'élevage. Elle est fabriquée à partir de petits poissons marins sauvages et est une poudre obtenue après broyage, cuisson et dégraissage du poisson. La production de farine de poisson contribue de manière significative à la pêche excessive.
Four de Laboratoire :	Un four qui fournit une température uniforme. Dans le traitement des biodéchets par la MSN, il est surtout utilisé pour obtenir des échantillons de matière sèche des déchets, des résidus et des larves, et fonctionne à 105 °C.
Fractionnement :	Procédé dans lequel les MSN sont séparés en une fraction protéique (farine de MSN) et une fraction grasse (huile de MSN).
Fumier de volaille :	Fumier provenant de la production de poulets de chair ou de poules pondeuses. Les LMSN se développent bien sur ces biodéchets plutôt homogènes, mais ont tendance à rester assez petites.
Huile brute :	Fraction grasse qui résulte du pressage des larves séchées avec une presse à vis. Elle est appelée "brute" parce qu'en plus de la graisse, elle contient également des solides, qui se composent principalement de protéines et de fibres.
Incubateur :	Bac pour la première phase de la convention LMSN (de 5-DOL à 8-DOL).
Instar :	Une phase de croissance larvaire. Les LMSN passent par 5 stades (avant d'atteindre le dernier stade qui est celui de la pré-pupe).
Larve :	Le stade juvénile des insectes holométaboles. Le cycle de vie de la MSN comporte six stades larvaires, appelés instars, avant la métamorphose (transformation en mouche adulte).
Larve-Pop :	Un type de LMSN séché, qui a une forme soufflée et une texture croustillante. Le séchage par micro-ondes ou le rôtissage donne des larves pop.
Liquide de presse :	Fraction lipidique liquide après le pressage des LMSN à l'aide d'une presse à vis.
LMSN :	Les larves de la Mouche du Soldat noir.
Matière sèche :	La masse de la matière après que toute l'eau ait été retirée. Elle est généralement éterminée en maintenant un échantillon dans un four à 105 °C pendant au moins 12 heures.
Milieu à revenu faible et intermédiaire :	Bien que le traitement des biodéchets par la MSN puisse être appliqué dans le monde entier, l'installation et l'exploitation présentées dans cet ouvrage se concentrent sur les pays à revenu faible ou intermédiaire (RNB inférieur ou égal à 10'000 EUR). Ce contexte est caractérisé par de faibles coûts de main-d'œuvre et une fraction organique élevée des déchets solides municipaux.
MSN:	Mouche Soldat Noire, <i>Hermetia illucens</i> .
Nouveau-nés :	Larves qui viennent d'éclore de l'œuf. Parfois aussi appelées "nouveau-nés".
Œuf :	Une mouche femelle pond environ 500 œufs desquels les jeunes larves éclosent en quatre jours. Un œuf pèse environ 29µg.
Opération par lots :	Dans l'opération par lots, une quantité définie de déchets et de larves est ajoutée à un bac, qui est récolté après un certain temps. L'opération par lots s'oppose à l'opération continue, où les déchets et les larves sont ajoutés en continu au même bac. Un bac continu n'est vidé que lorsqu'il est plein.
Piège à fourmis :	Protège de l'invasion des fourmis. Chaque pied de table est placé dans un bac rempli d'eau et d'une goutte de détergent. Le détergent réduit la tension superficielle de l'eau.
Post-traitement :	Comprend tous les processus de transformation des larves assainies en produits tels que la farine de LMSN séchée, la farine de MSN et l'huile de MSN.

Pre-pupe :	Le dernier stade larvaire qui rampe hors des déchets pour chercher un site de nymphose sec. Par rapport aux larves, les pré-pupes ont une teneur plus élevée en chitine et sont donc moins faciles à digérer par les poissons et les poulets.
Pupe :	Pendant la nymphose, la métamorphose de la larve en mouche adulte se produit. Les LMSN se nymphosent dans leur dernière peau larvaire et la nymphose dure environ 20 jours.
Purge :	Processus de conditionnement des larves avant de les vendre vivantes. Les larves sont lavées à l'eau claire, puis laissées dans de la tourbe de coco sèche pendant quelques heures.
Réduction des déchets :	La réduction des déchets est mesurée, soit en fonction du poids humide, soit en fonction du poids sec, et compare les biodéchets entrant dans le traitement avec la biomasse restante (résidu). Selon le type de biodéchets, on peut s'attendre à une réduction des déchets comprise entre 60% et 85% en poids sec.
Solides total (TS) :	Matières solides totales. Il s'agit de la portion de matière sèche d'un matériau. Il s'agit normalement de l'analyse de la teneur en eau d'un matériau (voir "Matière sèche").
Station d'alimentation :	Une zone désignée où les déchets sont ajoutés aux larves. Il est conseillé que ce soit une zone facile à nettoyer (sol carrelé ou scellé) car les biodéchets peuvent être déversés pendant l'opération d'alimentation.
Substrat :	La matière composée de divers flux de biodéchets après le prétraitement et le conditionnement, qui est acheminée vers les LMSN.
Tamis à secousses :	Tamis qui vibre ou tremble, actionné par un entraînement excentrique. Il est utilisé avec des mailles à deux couches de 3 et 7 mm de taille pendant la récolte pour séparer les larves adultes des résidus.
Taux de Conversion de la Biomasse (BCR) :	Le Taux de Conversion de la Biomasse est la fraction de biodéchets qui est convertie en biomasse larvaire.
Teneur en eau :	Lorsqu'un échantillon (substrat, larves, résidus, etc.) est séché à 105 °C dans un four de laboratoire, toute l'eau qui s'évapore est appelée "teneur en eau". Avec les matières solides restantes ("matières solides totales"), les deux sont exprimées en pourcentage du poids humide ; elles sont égales à 100%.
Tourbe de coco :	La matière en poudre résultant du traitement de la fibre de coco. Dans ce contexte, il est surtout utilisé pour ses propriétés d'absorption de l'humidité. Il peut être remplacé par d'autres matières ayant des propriétés similaires d'absorption de l'humidité, comme le son de blé, par exemple.
Tourteau de presse :	Fraction protéique solide après pressage des LMSN à l'aide d'une presse à vis.
Valeur Actuelle Nette (NPV) :	Il s'agit de la différence entre le montant actuel des entrées de fonds et le montant actuel des sorties de fonds sur une période donnée. Dans ce guide, la NPV a été calculée sur une période de 5 ans.



Chapitre 1

Justification

1.1 Introduction générale

La gestion des déchets solides urbains est considérée comme l'un des problèmes environnementaux les plus immédiats et les plus graves auxquels sont confrontés les gouvernements urbains des pays à revenu faible ou intermédiaire. La gravité de ce défi va s'accroître à l'avenir compte tenu des tendances à l'urbanisation rapide et à la croissance de la population urbaine. En raison de la pression croissante de l'opinion publique et des préoccupations environnementales, les experts en matière de déchets du monde entier sont appelés à développer des méthodes plus durables de traitement des déchets municipaux qui intègrent le concept d'économie circulaire.

Le recyclage des déchets organiques (biodéchets) est encore assez limité, surtout dans les milieux à revenu faible ou intermédiaire, bien que ceci soit loin d'être la fraction la plus importante de tous les déchets municipaux générés. Cet ouvrage traite des déchets organiques urbains provenant des ménages, des activités commerciales et des institutions. Il décrit la conversion des biodéchets par les larves d'insectes, en utilisant l'exemple de la mouche soldat noire (MSN), *Hermetia illucens*, une approche qui a suscité beaucoup d'attention au cours de la dernière décennie. L'activité alimentaire des larves réduit considérablement la quantité de déchets, tandis que les larves récoltées peuvent être utilisées comme matières premières précieuses dans l'industrie de l'alimentation animale. Cette technologie a attiré l'attention ces dernières années en raison des opportunités commerciales qu'elle offre, qui répondent simultanément à plusieurs défis de la société moderne : les problèmes d'hygiène découlant de l'absence de gestion des déchets, le chômage dans les zones urbaines et une demande accrue d'aliments durables pour le secteur toujours croissant de l'aquaculture et de l'aviculture. Les entreprises et les petits entrepreneurs investissent déjà d'importantes sommes d'argent et de temps dans cette technologie et souhaitent conserver un avantage concurrentiel sur les aspects pratiques de l'exploitation d'une telle installation de manière rentable. Bien que les publications académiques sur les MSN soient en augmentation, l'intérêt des entreprises et le besoin perçu de maintenir un avantage concurrentiel ont entravé l'échange ouvert et la discussion sur les étapes pratiques du travail quotidien nécessaires pour exploiter une telle installation. Comblar cette lacune est l'objectif principal de cette publication.

Ce document est basé en grande partie sur l'expérience d'une installation de traitement en Indonésie ayant la capacité de traiter deux tonnes de déchets par jour et fonctionnant depuis plus de cinq ans, ainsi que sur les enseignements d'une installation expérimentale en Suède. Les déchets traités dans l'installation en Indonésie étaient principalement des déchets de fruits et légumes provenant d'un marché de grossistes. Le passage à une échelle supérieure ou le transfert de ces informations à une installation plus grande pourrait nécessiter une certaine adaptation ou un ajustement de l'équipement. Nous pensons toutefois que les procédures standard décrites sont valables pour un large éventail de mise à l'échelle.

Deux projets de recherche ont servi de base à la rédaction de la deuxième édition de ces directives. FORWARD est un projet en Indonésie et financé par le Secrétariat d'Etat à l'économie de la Suisse aux (SECO), dans le cadre d'un accord-cadre avec le ministère indonésien des travaux publics et du logement (PU-PeRa). Il travaille en étroite collaboration avec les autorités gouvernementales nationales et locales, avec des chercheurs indonésiens et avec des entreprises privées sélectionnées pour faire progresser et généraliser la mise en œuvre du traitement des déchets par MSN. SIBRE est un projet de recherche financé par la Fondation SwissRe dont l'objectif est de générer des connaissances et des outils sur le traitement des déchets MSN à l'intention des petites et moyennes entreprises et des municipalités. L'accent a été mis principalement sur les perspectives économiques, le développement de protocoles standard pour les produits dérivés des larves de MSN et leur test dans le contexte indonésien. En outre, cette deuxième édition a bénéficié d'une

collaboration étroite avec ETH-Zürich et le département des sciences et technologies de la santé par le biais du groupe de recherche du Prof. A. Mathys sur la transformation alimentaire durable avec lequel nous collaborons sur une variété de projets de recherche sur le traitement des déchets par la MSN.

Ce manuel a été rédigé en tant que source ouverte avec l'ambition que le traitement des déchets par la MSN soit largement connu, mis en œuvre et reproduit. Dans cet esprit, les auteurs souhaitent remercier tous ceux qui ont contribué à développer, documenter et discuter les aspects pratiques de l'élevage de la MSN et du traitement des déchets par les larves. Nous remercions tout particulièrement Sirajuddin Kurniawan, dont les photos de l'équipement et des étapes de travail nous ont permis d'économiser de nombreuses pages de texte explicatif, Bart Verstappen pour sa contribution à la première édition de ce livre, Maximilian Grau et Grégoire Virard pour leur travail intense sur la modélisation des coûts, Alexander Mathys, Moritz Gold et Daniela Peguero de l'ETH-Zürich pour notre collaboration de recherche très inspirante et fructueuse, Cecilia Lalander et Björn Vinnerås de l'Université agricole suédoise SLU (Suède) pour un excellent partenariat de recherche, Tina Kusumawardhani et Teguh Rahayu pour la traduction de ce livre en bahasa indonesia et pour leur aide dans le développement du système d'élevage, Longyu Zheng et Jibin Zhang de l'Université agricole de Huazhong (Chine) et Michael Wu de JM Green (Chine) pour leur ouverture et leur contribution fructueuse, et enfin Waste 4 Change et Puspa Agro pour leur partenariat et leur volonté de gérer et d'accueillir l'installation de MSN.

1.2 **Champ d'application et public cible**

Une installation de traitement des MSN peut être conçue et exploitée pour atteindre certains objectifs cibles basés sur le cycle de vie naturel des MSN. Il peut s'agir, par exemple, d'augmenter de manière rentable la qualité des larves ou de maximiser la masse de larves produites dans un certain délai ou sur la base d'une matière première particulière, comme dans un système d'élevage typique (poulet, bœuf, etc.).

Dans ce manuel, cependant, nous suivons une perspective de gestion des déchets. En d'autres termes, nous partons du principe que les biodéchets sont la substance concernée pour laquelle nous suggérons d'utiliser la technologie de traitement MSN comme solution de traitement et de recyclage appropriée pour produire des larves et des résidus de déchets.

L'objectif premier est donc de traiter les biodéchets de manière efficace en termes de coûts d'investissement et d'exploitation, ainsi que d'espace requis. Le traitement des biodéchets permet de réduire les menaces pour la santé publique et l'environnement.

La solution technologique consiste à nourrir les biodéchets séparés avec des larves de MSN, qui ont été élevées dans une pépinière. Les larves se développent sur la matière première des déchets et réduisent la masse des déchets. À la fin du processus, les larves sont récoltées et, si nécessaire, transformées en un produit d'alimentation animale approprié. Les résidus de déchets peuvent également faire l'objet d'un traitement ultérieur et être éventuellement vendus ou utilisés comme amendement du sol ayant des propriétés fertilisantes.

Ce guide a été préparé pour une utilisation pratique. Il explique le fonctionnement des matériaux et les équipements nécessaires, ainsi que chaque étape de travail, à la manière d'un livre de cuisine avec ses recettes respectives. **Il comprend toutes les informations nécessaires pour développer et exploiter une installation de taille moyenne de traitement des déchets par des larves de mouche du soldat noire, capable de traiter 5 tonnes de déchets par jour.** Le livre contient également d'autres scénarios d'échelle dans lesquels la quantité de travail est moindre. Les plans de travail et les instructions pour ces scénarios sont disponibles via des liens internet.

Il convient de mentionner que l'approche présentée dans ce manuel est une parmi d'autres. Elle est basée sur des équipements disponibles localement et une automatisation limitée. Les opéra-

tions présentées ici ont fait leurs preuves, mais certaines étapes peuvent individuellement être remplacées par d'autres procédures en fonction du contexte ou de l'expérience.

Étant donné l'approche de ce manuel, il s'adresse à des lecteurs ayant peu ou seulement quelques connaissances de base de la gestion des déchets en général et de la technologie de la mouche du soldat noir en particulier, qui ont la volonté de travailler avec des déchets et de mettre en œuvre et d'exploiter une telle installation. Ce guide peut également être utile à une personne qui a déjà commencé à traiter les MSN et qui souhaite obtenir d'autres points de vue sur la façon dont les choses pourraient être faites.

1.3 Naviguer dans ce guide

Le manuel est structuré en fonction des trois principales unités de traitement qui sont essentielles à une installation de traitement du MSN (Figure 1-1).

1. Pépinière de MSN
2. Unité de transformation des déchets LMSN (prétraitement, traitement, récolte)
3. Unité de post-traitement (raffinage des larves et traitement des résidus)

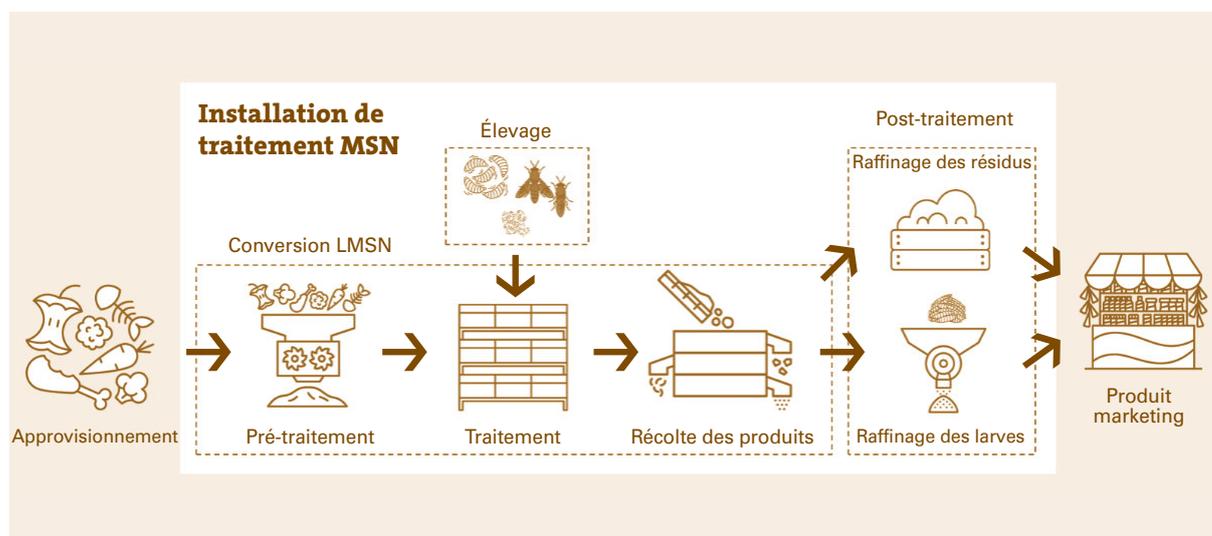


Figure 1-1 : Les différentes unités d'un système de traitement des MSN.

Bien que l'approvisionnement en déchets soit d'une importance cruciale pour le bon fonctionnement d'une installation de traitement des MSN, cet aspect n'est pas abordé en détail dans ce manuel.

Tout au long du texte, vous rencontrerez les icônes suivantes. Elles indiquent des questions d'une importance particulière, des informations générales ou l'accès à d'autres documents d'information.



Souligne les questions de haute importance



Fournit des informations détaillées aux lecteurs intéressés, mais ne doit pas être obligatoirement lu.



Lien vers des informations plus détaillées, des modèles et des fiches



Lien vers la série de vidéos d'apprentissage en ligne sur le traitement des biodéchets avec MSN



Chapitre 2

Introduction au traitement des biodéchets par les MSN

Ce chapitre examine de plus près le cycle de vie de la Mouche Soldat Noire. La compréhension de ce cycle de vie permet de savoir pourquoi la Mouche Soldat Noire est un insecte approprié pour la gestion des déchets organiques et d'apprendre comment ce cycle peut être "conçu" pour améliorer les bénéfiques produits en termes d'efficacité de la conversion des déchets et de récolte de produits en quantité et en qualité.

2.1 La Mouche Soldat Noire

La Mouche Soldat Noire, *Hermetia illucens*, appartient à la famille des diptères Stratiomyidae. On peut la rencontrer dans la nature partout dans le monde, dans les zones tropicales et subtropicales entre les latitudes 40 °S et 45 °N (Figure 2-1).



Figure 2-1 : Zone de répartition de la Mouche Soldat Noire, *Hermetia illucens*.

L'œuf est le commencement du cycle de vie de la MSN et marque en même temps la fin du stade de vie précédent : la mouche qui pond un paquet d'œufs (également appelé ponte). La mouche femelle pond un paquet de 400 à 800 œufs à proximité de matières organiques en décomposition, dans de petites cavités sèches et protégées. Peu de temps après avoir pondu les œufs, la femelle meurt. Le fait que les œufs soient à proximité de la matière organique en décomposition permet aux larves d'avoir leur première source de nourriture à proximité après l'éclosion. Les cavités abritées

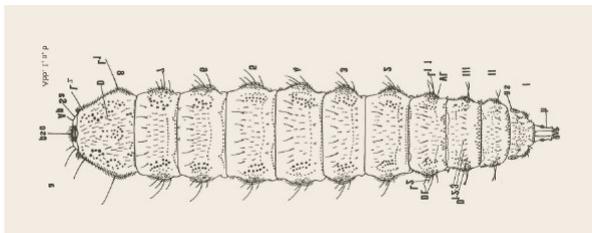


Figure 2-2 : Drawing of a Black Soldier Fly larva (Schremmer, 1986).

protègent les œufs des prédateurs et empêchent la déshydratation des paquets d'œufs par la lumière directe du soleil. En moyenne, les œufs éclosent au bout de quatre jours et les larves émergées, qui sont à peine visibles, cherchent de la nourriture et com-

mencent à se nourrir de la matière organique à proximité. Les larves se nourrissent voracement de la matière organique en décomposition et passent de moins d'un millimètre à environ 2,5 cm de long et 0,5 cm de large, et sont de couleur crème. Les différents stades de vie sont illustrés à la Figure 2-2 et à la Figure 2-3.

Dans des conditions optimales, avec une qualité et une quantité de nourriture idéales, la croissance des larves nécessite une période de 14 à 16 jours. Toutefois, la larve de la MSN est un organisme très résilient et a la capacité de prolonger son cycle de vie dans des conditions défavorables. Le stade larvaire est le seul stade pendant lequel la MSN se nourrit et, par conséquent, c'est pendant cette période de développement larvaire que sont stockées les réserves de graisse et de protéines suffisantes pour permettre aux larves de subir la nymphose, d'émerger en tant que mouches, de trouver des partenaires, de copuler et (pour les femelles) de pondre des œufs avant de mourir.

Après être passées par cinq stades larvaires, les larves atteignent le dernier stade larvaire : la pré-pupe. Lorsqu'elle se transforme en pré-pupe, la larve remplace sa partie buccale par une structure en forme de crochet et prend une couleur brun foncé ou grise anthracite. Elle utilise ce crochet pour s'éloigner facilement de la source de nourriture et se diriger vers un environnement proche, sec,

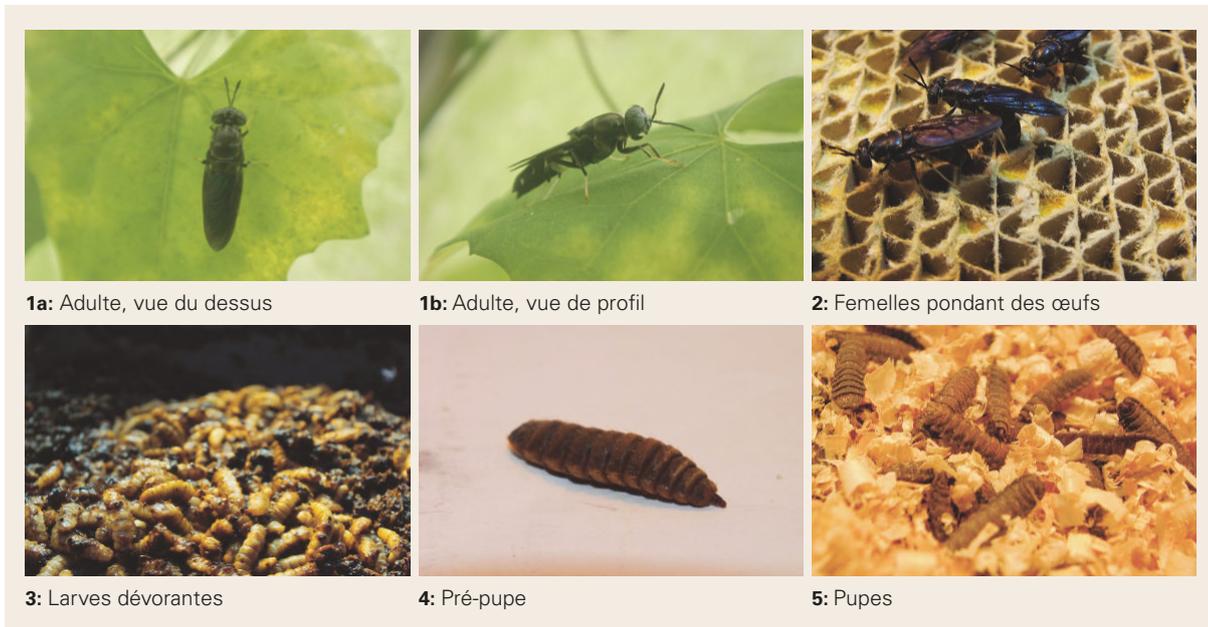


Figure 2-3 : Stades de vie de la Mouche Soldat Noire, *Hermetia illucens*, Photos: Nandayure Studt Solano (1a, 1b), Samuel Blyth (2, 3, 4), Sandec (5).

semblable à de l'humus, ombragé et protégé, qu'elle juge à l'abri des prédateurs. C'est là que les imagos sortent de la pupa et s'envolent sans encombre.

Le processus de nymphose est la transformation d'une pupa en une mouche. Le stade de la nymphose commence lorsque la pré-pupa trouve un endroit approprié et devient immobile et rigide. Pour une nymphose réussie, il est préférable que les conditions environnementales ne changent pas trop ou, en d'autres termes, qu'elles restent chaudes, ombragées et protégées de la pluie. La nymphose dure environ deux à trois semaines et se termine lorsque la mouche émerge de sa coquille de nymphe. Le processus d'émergence est très court. Il faut moins de cinq minutes à la mouche pour ouvrir la partie de la pupa qui était la tête, ramper, sécher, puis déployer ses ailes et s'envoler.

Après son émergence, la mouche vit environ une semaine. Au cours de cette courte vie, elle va chercher un partenaire, copuler et (pour la femelle) pondre des œufs. En tant que mouche, la MSN ne se nourrit pas. Elle a seulement besoin d'une source d'eau ou d'une surface humide pour s'hy-

drater. Ce qui est important à ce stade de la vie, c'est une quantité abondante de lumière naturelle et une température chaude (25 - 32 °C). Un environnement humide peut prolonger sa durée de vie et, ainsi, augmenter les chances de réussite de la reproduction. Il a été observé que les mouches préfèrent copuler à la lumière du matin. Après la copulation, les femelles recherchent ensuite un endroit adéquat pour pondre leurs œufs, comme expliqué ci-dessus.

Les conditions environnementales et les sources de nourriture optimales pour les larves peuvent être résumées comme suit :

- **Climat chaud** : la température idéale se situe entre 24 et 30 °C. S'il fait trop chaud, les larves s'éloignent de la nourriture pour chercher un endroit plus frais. Si elle est trop froide, les larves ralentissent leur métabolisme, mangeront moins et se développeront plus lentement.
- **Environnement ombragé** : les larves évitent la lumière et recherchent toujours un environnement ombragé, loin de la lumière du soleil. Si leur source de nourriture est exposée à la lumière, elles s'enfonceront plus profondément dans la couche de nourriture pour échapper à la lumière.
- **Teneur en eau de la nourriture** : la source de nourriture doit être assez humide, avec une teneur en eau comprise entre 60 et 90%, pour que les larves puissent ingérer la substance. Dans le cycle de vie aménagé, on vise 70 à 80%.
- **Besoins en nutriments de la nourriture** : les substrats riches en protéines et en hydrates de carbone facilement disponibles permettent une bonne croissance des larves. Des recherches en cours indiquent que le substrat peut être plus facilement consommé par les larves s'il a déjà subi un processus de décomposition bactérien ou fongique.
- **La taille des particules de la nourriture** : comme les larves n'ont pas de pièces buccales à mâcher, l'accès aux nutriments est plus facile si le substrat se présente sous forme de petits morceaux ou même de bouillie.

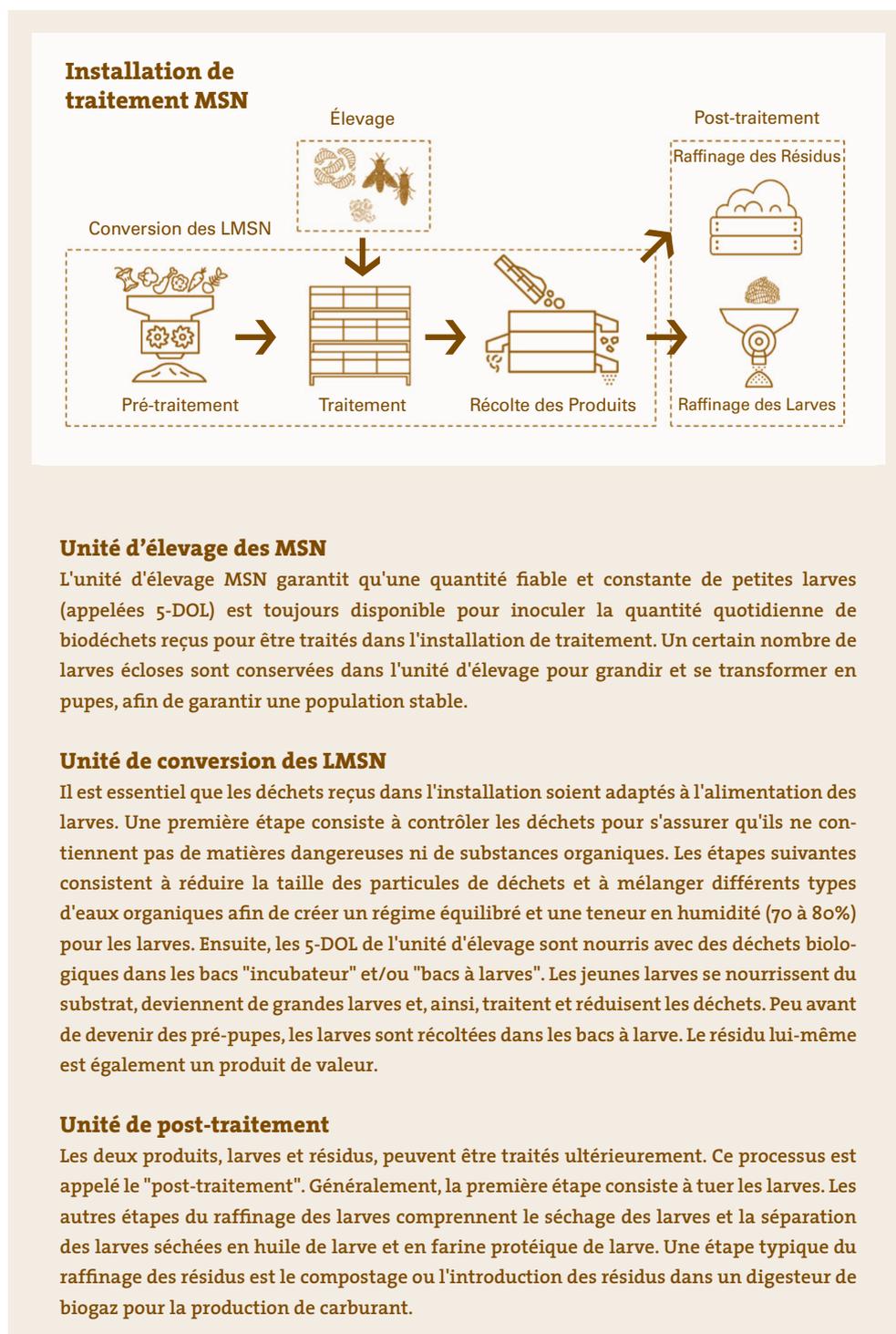
2.2 Pourquoi la Mouche Soldat Noire ?

Plusieurs attributs clés font des MSN des organismes prometteurs à gérer et à "concevoir", afin qu'ils puissent être utilisés comme une technologie de traitement attrayante pour les biodéchets du point de vue des gestionnaires de déchets et des entreprises :

- La biomasse des déchets est convertie en larves et en résidus. Les larves sont composées de $\pm 35\%$ de protéines et de $\pm 30\%$ de graisses brutes (sur la base de la masse sèche). Cette protéine d'insecte est de haute qualité et constitue une ressource importante pour l'alimentation animale. Des essais en alimentation animale ont confirmé qu'elle constitue une alternative appropriée à la farine de poisson.
- Il a été démontré qu'alimenter les larves avec des déchets rend inactives les bactéries responsables de la transmission de maladies, telles que *Salmonella* spp. Cela implique que le risque de transmission de maladies entre animaux puis entre animaux et humains est réduit lors de l'utilisation de cette technologie au niveau de l'exploitation ou lors du traitement des déchets d'origine animale en général (par exemple, le fumier de poulet ou les déchets d'abattoir). Toutefois, la réduction des risques est obtenue principalement par la réduction des matières ($\pm 80\%$) plutôt que par l'inactivation des agents pathogènes.
- Une réduction des déchets allant jusqu'à 80% sur la base du poids humide a été démontrée. Si le traitement par la MSN est appliqué à la source ou à proximité de la source de production des biodéchets, les coûts de transport des déchets et les besoins en espace pour les décharges peuvent ainsi être réduits de manière drastique. Ce traitement des déchets organiques pourrait en outre réduire les décharges à ciel ouvert, qui sont encore une réalité malheureuse dans les milieux à revenu faible ou intermédiaire.
- Le résidu, une substance similaire au compost, contient des nutriments et de la matière organique et, lorsqu'il est utilisé en agriculture, contribue à améliorer l'état des sols.
- Un taux élevé de conversion des déchets en biomasse de 15 à 20% sur la base du poids humide a été démontré, ce qui constitue une quantité de production satisfaisante d'un point de vue commercial.
- Il n'est pas nécessaire de disposer d'une technologie sophistiquée haut de gamme pour exploiter une telle installation. Elle est donc adaptée aux milieux à faibles revenus qui s'appuient principalement sur une technologie simple et une main-d'œuvre non qualifiée.

2.3 Conception du cycle de vie de la MSN

Dans une installation de traitement de la MSN on peut distinguer des unités de traitement distinctes, comme le montre la Figure 2-4.



Unité d'élevage des MSN

L'unité d'élevage MSN garantit qu'une quantité fiable et constante de petites larves (appelées 5-DOL) est toujours disponible pour inoculer la quantité quotidienne de biodéchets reçus pour être traités dans l'installation de traitement. Un certain nombre de larves écloses sont conservées dans l'unité d'élevage pour grandir et se transformer en pupes, afin de garantir une population stable.

Unité de conversion des LMSN

Il est essentiel que les déchets reçus dans l'installation soient adaptés à l'alimentation des larves. Une première étape consiste à contrôler les déchets pour s'assurer qu'ils ne contiennent pas de matières dangereuses ni de substances organiques. Les étapes suivantes consistent à réduire la taille des particules de déchets et à mélanger différents types d'eaux organiques afin de créer un régime équilibré et une teneur en humidité (70 à 80%) pour les larves. Ensuite, les 5-DOL de l'unité d'élevage sont nourris avec des déchets biologiques dans les bacs "incubateur" et/ou "bacs à larves". Les jeunes larves se nourrissent du substrat, deviennent de grandes larves et, ainsi, traitent et réduisent les déchets. Peu avant de devenir des pré-pupes, les larves sont récoltées dans les bacs à larve. Le résidu lui-même est également un produit de valeur.

Unité de post-traitement

Les deux produits, larves et résidus, peuvent être traités ultérieurement. Ce processus est appelé le "post-traitement". Généralement, la première étape consiste à tuer les larves. Les autres étapes du raffinage des larves comprennent le séchage des larves et la séparation des larves séchées en huile de larve et en farine protéique de larve. Une étape typique du raffinage des résidus est le compostage ou l'introduction des résidus dans un digesteur de biogaz pour la production de carburant.

Figure 2-4 : Unités d'une installation de traitement MSN.

2.4 Mesures de sécurité et d'hygiène lors du travail avec la MSN et les biodéchets

Lors de l'exploitation d'une installation de MSN, des mesures visant à protéger la santé des travailleurs et des animaux sont également nécessaires.

Bien que l'exploitation d'une installation MSN ne présente pas de risques élevés pour la santé, les employés sont néanmoins exposés à des menaces telles que le bruit, la poussière ou les émissions gazeuses, ainsi qu'à des agents pathogènes qui peuvent pénétrer dans l'installation par le biais des déchets organiques. Il est donc important que des vêtements et des équipements de protection adéquats soient toujours disponibles pour les travailleurs. Même si les employés n'aiment pas le port de bottes ou de gants surtout dans un climat tropical, il incombe à l'exploitant de faire respecter ces mesures et de donner le bon exemple.

Comme dans les autres exploitations d'élevage, il faut veiller à maintenir des conditions d'hygiène dans une installation MSN. L'objectif principal est de prévenir la propagation des maladies et d'éloigner les parasites. C'est pourquoi les activités régulières qui garantissent les conditions d'hygiène doivent être incluses dans les plans de travail. Cela comprend le nettoyage régulier des surfaces de travail avec de l'alcool ainsi que le stockage sûr des aliments pour animaux ou les mesures structurelles qui empêchent les rats ou les oiseaux de pénétrer dans les zones sensibles de l'installation. Le maintien de l'ordre général dans toutes les zones de l'établissement et le nettoyage quotidien des ustensiles doivent être des pratiques courantes. L'établissement doit également disposer de son propre concept de déchets, qui garantit que les matériaux potentiellement contaminés sont stockés et éliminés en toute sécurité.

Les programmes utilisés dans ce manuel comprennent tous des tâches régulières visant à maintenir l'hygiène et la sécurité dans l'établissement. Nous recommandons aux opérateurs d'accorder autant d'importance à l'exécution de ces tâches qu'à celles directement liées à l'opération MSN.

Les équipements suivants font partie de l'équipement de protection individuelle et de nettoyage standard de toute installation MSN :



Balai et pelle pour la poussière



Masque de protection



Blouse de travail



Gants en latex/ de laboratoire



Bottes en caoutchouc



Ecran facial



Gants en caoutchouc



Gants résistants à la chaleur



Brosse à récurer



Machine à laver



Alcool de nettoyage



Chapitre 3

Processus d'élevage de la MSN

3.1 Elevage de la MSN dans un environnement contrôlé

Pour assurer le traitement d'une quantité définie de déchets sur une base régulière, l'unité d'élevage doit fournir chaque jour un nombre défini de larves de cinq jours, appelées 5-DOL. Il est donc important de contrôler toutes les étapes de la production pendant l'élevage et de surveiller les performances de chaque étape. Dans une pépinière MSN bien conçue, il est possible et facile de contrôler le nombre de pré-pupes qui sont autorisées à se transformer en pupes. Cela permet d'estimer le nombre de mouches qui émergeront, et donne une indication sur le nombre de paquets d'œufs qui seront déposés, le nombre de larves qui éclore et le nombre de ces larves qui seront disponibles pour le traitement des biodéchets. La surveillance des taux de survie à chaque étape de ce cycle permet de suivre les performances globales de la colonie et d'indiquer les problèmes à une étape particulière. Les taux de survie peuvent varier d'une pépinière à l'autre. Les données fournies ici sont basées sur une unité d'élevage en Indonésie (Figure 3-1) et servent d'exemple.

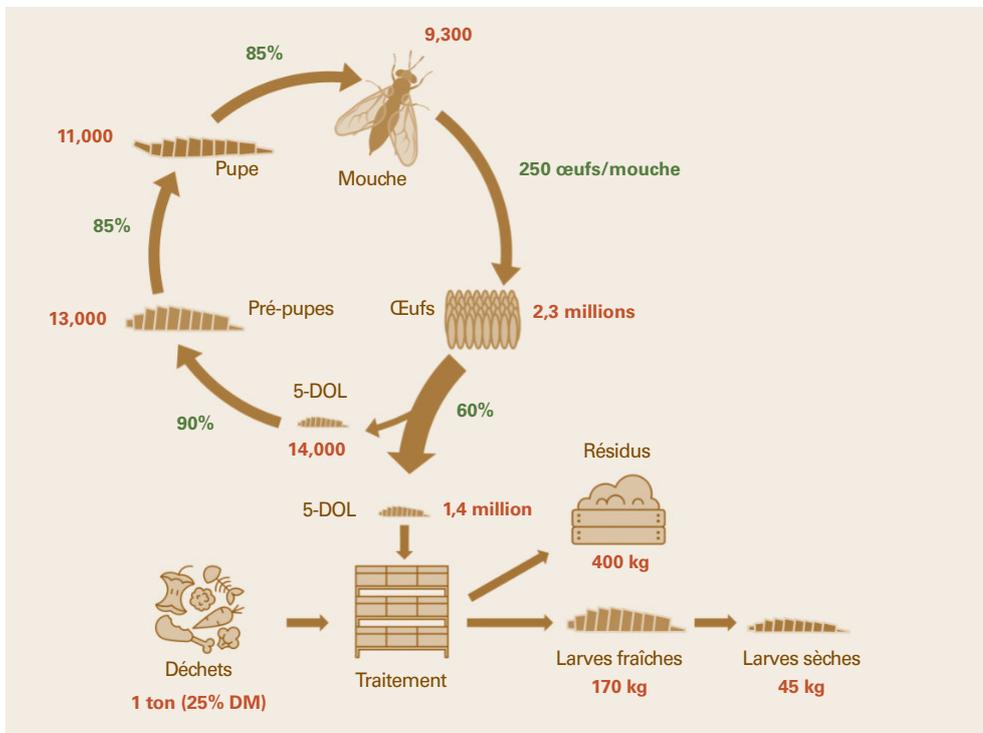


Figure 3-1 : Indicateurs de performance d'une installation d'élevage de MSN en Indonésie.

Dépôt et récolte des œufs

Du point de vue de la gestion, il est important que tous les paquets d'œufs soient concentrés en quelques endroits précis. Cela facilitera considérablement la récolte des œufs.

Pour cela, nous fournissons aux cages un milieu approprié appelé "eggies" (ballots de tasseaux en bois) qui répond aux exigences des mouches en matière d'emplacement sûr (c'est-à-dire des cavités abritées) pour le dépôt des œufs, ainsi qu'un "attractif" qui imite la matière organique en décomposition et qui attire la femelle à pondre à proximité. Une fois que les paquets d'œufs sont déposés dans les eggies, ils sont récoltés avant que les larves n'éclosent. Une fois les œufs récoltés, ils sont retirés des eggies et placés dans des porte-œufs qui sont ensuite placés au-dessus de la nourriture pour que les jeunes puissent commencer à se nourrir directement une fois qu'ils sont éclos et tombent des porte-œufs dans la nourriture (voir Figure 3-2).



Figure 3-2 : Manipulation de la récolte des œufs.

Éclosion des œufs et alimentation des larves

L'unité qui accueille les porte-œufs et les bacs d'éclosion contenant la nourriture pour les éclosions est appelée "douche à éclosion" (Figure 3-3). Les œufs vont éclore sur une période de plusieurs jours et les nouveau-nés tomberont constamment dans le bac d'éclosion situé en dessous où ils commenceront immédiatement à se nourrir. Ce bac d'éclosion est échangé régulièrement. Cela permet à des cohortes de jeunes larves du même âge de se retrouver ensemble dans chaque bac. Le fait de placer les ballots de tasseaux récemment récoltés avec les ballots les plus anciens garantit une "pluie" constante d'éclosions dans le bac à éclosion. Une source de nourriture de haute qualité dans le bac à éclosion est constituée d'aliments pour poussins de poulet de chair, mélangés à de l'eau. Cette nourriture semble être la matière nutritive la plus facile à trouver pour assurer une croissance rapide des larves, bien qu'elle soit coûteuse. D'autres matériaux disponibles gratuitement qui peuvent être utilisés, sont des déchets à base de soja (par exemple, du lait de soja), de produits laitiers (par exemple, du lait en poudre périmé) et/ou de céréales (par exemple, du pain périmé). Il est toutefois important que le contenu nutritionnel du mélange reste stable compte tenu du programme d'alimentation strict et régulier. Ce mélange d'aliments doit avoir une teneur en eau d'environ 70%, ce qui constitue un substrat idéal pour l'alimentation des larves.



Figure 3-3 : **Douche d'éclosion** : la masse d'œufs récoltée est placée dans des supports au-dessus d'une source de nourriture pour les larves nouvellement écloses. Chaque couleur de trombone représente un jour différent de la semaine où les œufs ont été récoltés.

La gestion des déchets avec les LMSN est plus facile avec des larves uniformes (même âge et même taille). Cela permet de mieux planifier l'apport de déchets, le taux de conversion et le temps de récolte. En utilisant la douche d'éclosion, le nombre et l'âge des jeunes larves dans un bac d'éclosion peuvent être contrôlés et déterminés. La fréquence de remplacement du bac d'éclosion détermine l'uniformité du lot de larves. Plus la fréquence de remplacement est élevée, plus l'uniformité des jeunes larves est grande. Après l'éclosion, les larves restent dans le même bac d'éclosion pendant cinq jours pour se nourrir. Ensuite, les 5-DOL sont récoltés dans les bacs d'éclosion, comptés et une part principale est ensuite transférée vers l'unité de traitement MSN où ces 5-DOL sont ajoutés au substrat.

Etant donné que compter toutes ces petites larves représente un travail trop important, le nombre de 5-DOL est estimé en comptant le nombre de larves dans un petit échantillon (~2 g), qui est ensuite extrapolé sur la base du poids total de tous les 5-DOL.



Le bac d'éclosion se trouvant sous la douche à éclosion est remplacé par un nouveau à intervalles réguliers (tous les uns à trois jours). La fréquence détermine l'uniformité du lot de larves

Une petite fraction environ 1 à 2% de 5-DOL (larves âgées de 5 jours) est conservée dans la pépinière en fonction de la quantité de substrat à traiter et de la performance de la pépinière. Des taux de survie élevés et un grand nombre d'œufs par femelle nécessiteront de conserver moins de larves âgées de 5 jours dans la pépinière. Les larves récoltées sont placées dans un bac de pépinière de larves où elles sont continuellement nourries avec un mélange d'aliments bien défini jusqu'à ce qu'elles se transforment en pré-pupes, environ trois semaines après l'éclosion. Toutes les larves d'un même bac de pépinière de larves se transformeront à peu près en même temps car elles sont du même âge. Les pré-pupes quitteront la source de nourriture à la recherche d'un endroit sec plus approprié pour la nymphose. Pour recueillir ces larves migrantes, le bac de pépinière de larves est placé dans un bac de transfert avec un matériau sec hydroabsorbant (Figure 3-4).



Figure 3-4 : Bacs de la pépinière de larves placés dans des bacs de transfert.

Nymphose

Les pré-pupes qui ont rampé dans le bac de transfert sont récoltées et transférées dans un bac de nymphose. Comme les pré-pupes sont perturbées lorsqu'elles sont trop proches d'autres pré-pupes, les bacs contiennent un substrat humide semblable à de la terre (compost) dans lequel les pré-pupes peuvent s'enterrer (Figure 3-5).



Figure 3-5 : Les pré-pupes sont ajoutées au matériel dans la caisse de nymphose.



Figure 3-6 : Boîtes de nymphose dans le support de nymphose.

La densité des pré-pupes dans le bac de nymphose influence la rapidité avec laquelle les pré-pupes se stabilisent et raidissent leur corps pour commencer leur transformation en pupes. Pour faciliter le processus de nymphose, les conteneurs de nymphose sont d'abord placés dans un casier de nymphose (Figure 3-6) où les pré-pupes sont continuellement ajoutées en petites quantités dans les caisses de nymphose sur une période de 5 jours. Pour le processus de nymphose, les nymphes sont placées dans une cage de nymphose, dont l'intérieur est complètement sombre (Figure 3-7). Nous appelons ces cages "cages sombres". En plus de l'environnement ombragé, cette cage fournit également aux pupes une protection suffisante contre les conditions environnementales extérieures changeantes (humidité, température, mouvement d'air, etc.). Après deux à trois semaines, le matériel de nymphose s'est légèrement asséché, ce qui permet aux mouches de ramper plus facilement hors de la peau de la nymphe jusqu'au sommet du matériel et de s'envoler hors des conteneurs de nymphose. Mais elles restent toujours confinées dans la cage sombre. En raison de l'obscurité à l'intérieur de la cage, les mouches émergées ne s'accoupleront pas, mais resteront immobiles. Les mouches de la cage sombre constituent donc une source constante de mouches adultes "fraîches" qui, dès qu'elles sont relâchées à la lumière, commencent à se reproduire.



Figure 3-7 : Cage sombre contenant des bacs de nymphose empilés.



Figure 3-8 : Une cage d'amour est remplie de MSN adultes fraîchement émergés.

L'émergence des adultes commence douze jours après leur mise en boîte de nymphose, et la fréquence d'émergence suit ensuite une courbe en forme de cloche et se termine avec quelques retardataires après 25 jours (Figure 3-9).

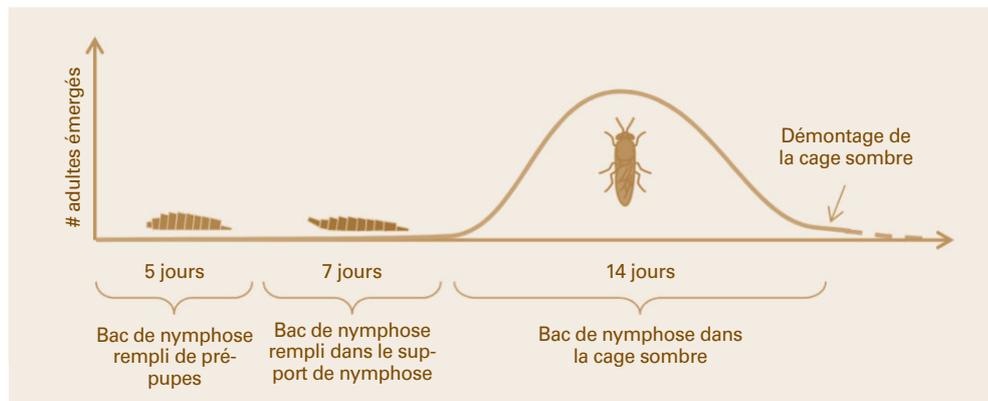


Figure 3-9 : Dynamique de la nymphose et de l'émergence des MSN.

L'accouplement

Les mouches émergentes sont collectées dans la cage sombre et transférées dans la cage d'amour. Pour ce faire, on relie la cage sombre par un tunnel à une cage qui n'est pas sombre et qui est suspendue dans un cadre mobile. Comme il s'agit de l'endroit où l'accouplement aura lieu, on l'appelle la "cage d'amour" (Figure 3-8). La lumière placée au bout du tunnel de la cage d'amour attirera les mouches vers la lumière pour qu'elles volent de la cage sombre vers la cage d'amour. Une cage d'amour est reliée consécutivement à trois ou quatre cages sombres pour recueillir les mouches les plus récemment émergées de toutes ces cages (Figure 3-10). Cette méthode permet d'obtenir une masse constante et stable de mouches dans les cages d'amour. De plus, les mouches récoltées sont toutes d'un âge très similaire. La présence de mouches du même âge dans la cage d'amour présente un avantage important : les mouches copuleront et pondront des œufs à peu près au même moment et sont donc prévisibles, ce qui permet une opération de pépinière plus efficace. Les cages d'amour sont équipées d'un tissu humide pour permettre aux mouches de s'hydrater, ainsi que d'œufs et d'une boîte contenant un attractif odorant. Le cycle d'élevage est ainsi bouclé.

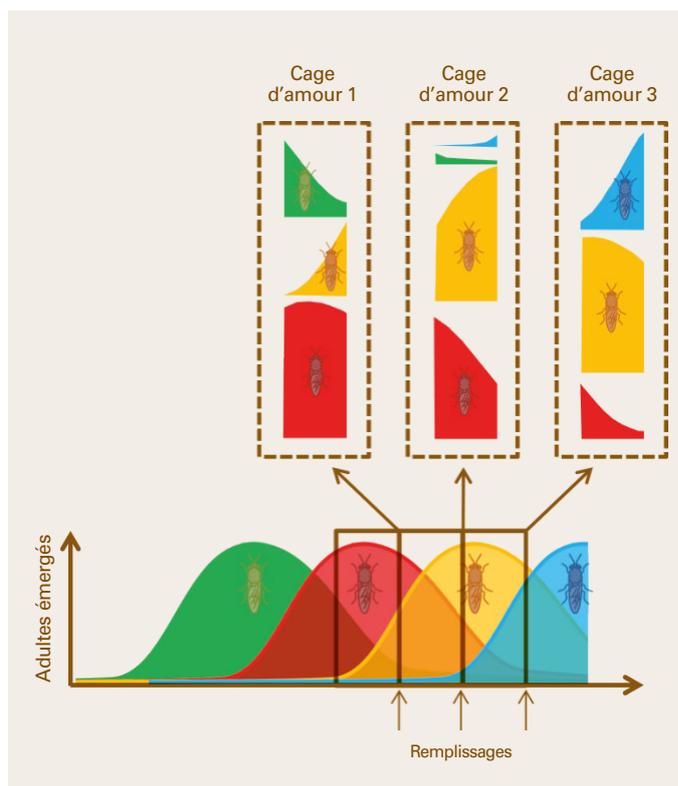


Figure 3-10 : Composition de trois cages d'amour remplies à partir de quatre cages sombres à intervalles de deux jours.



Que la lumière soit

Pour une reproduction réussie, la Mouche Soldat Noire a besoin d'un certain type et d'une certaine intensité de lumière. Idéalement, il s'agit de la lumière naturelle du soleil. Dans les cas où cela n'est pas possible, soit à cause des variations saisonnières dues à la latitude, soit parce que le matériel doit être exploité dans une pièce sans fenêtre, la lumière du soleil doit être remplacée (ou soutenue) par une lumière artificielle.

Lors du choix de la lampe, il faut faire attention à la fois à la composition spectrale de la lumière et à son intensité. Le spectre de lumière avec des valeurs élevées dans le bleu (~440 nm) et le vert (~540 nm) présente de bons taux de reproduction. Outre la longueur d'onde, la puissance de la lampe joue également un rôle important. Celle-ci est mesurée en $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ et est donnée en fonction de la distance à la source lumineuse. Nous avons obtenu de bons résultats avec une puissance lumineuse dans la gamme UV de $210 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ et un éclairage d'environ 3 000 à 6 000 lx à une distance de 60 cm¹.

Il est important d'assurer un rythme jour-nuit, avec une durée d'éclairage comprise entre 6 et 18 heures par jour.

¹ Macavei L, Benassi G, Stoian V, et al. (2020) Optimization of *Hermetia illucens* (L.) egg laying under different nutrition and light conditions. PloS ONE 15: and Liu Z, Najar-Rodriguez A, Minor M, et al. (2020) Mating success of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae), under four artificial light sources. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology 205: 111815.

3.2 Activités dans la boîte d'élevage de la MSN

Ce sous-chapitre présente les étapes du processus et les matériaux à utiliser au cours de ces étapes. La plupart des matériaux sont des articles courants que l'on peut acheter dans les quincailleries locales. Certains matériaux et équipements ont été fabriqués sur mesure pour l'opération. Les dimensions de ces articles sont indiquées dans la description de chaque article.



Les **dessins techniques des matériaux et équipements sur mesure utilisés** dans les étapes opérationnelles de l'unité d'élevage de la MSN peuvent être consultés via ce lien (en anglais).



3.2.1 Phase de l'envol

Une cage d'amour est remplie de mouches fraîchement sorties des cages sombres. Dans la cage d'amour, les mouches ont de l'eau à boire et un endroit pour pondre leurs œufs. La cage d'amour présentée ici peut contenir jusqu'à 10'000 mouches, soit environ 84 cm³ par mouche. Les mouches restent dans la cage d'amour pendant 4 jours où elles s'accouplent et pondent des œufs.

Matériel et équipement requis :



Cage d'amour
(75 x 75 x 150 cm)



Suspension de la cage et trombones de tunnel



Cadre de la volière avec lumière d'attraction



Lumière d'attraction



Panier d'ombrage



Boîte à eau



Support pour les œufs



Bac d'appât



Tâches :

- Étape 1** Accrochez une cage d'amour propre sur son cintre à l'aide des boucles et mesurez le poids de la cage d'amour avec le cintre.
- Étape 2** Fixez la cage sur le cadre mobile et déplacez le cadre en face de la première cage sombre. Reliez les deux tunnels des cages à l'aide de quatre pinces à linge. Allumez la lumière attractive et secouez doucement la cage pour réveiller les mouches.

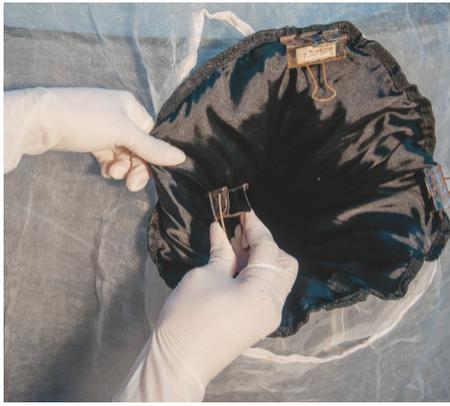


Étape 1 : Fixation de la cage au support.



Étape 2 : Utilisation du bâton de déplacement de la cage pour accrocher la cage d'amour au cadre mobile.

- Étape 3** Après 30 minutes, déconnectez et fermez les tunnels, mesurez le poids de la cage d'amour et du support, attachez à nouveau le support avec la cage sur le cadre mobile et répétez le même processus de connexion, déconnexion et pesage après 30 minutes jusqu'à ce que la cage d'amour soit pleine (les mouches couvrent la plupart des côtés mais ne s'encourent pas au fond).
- Étape 4** Déconnectez la cage d'amour de la dernière cage ombragée et éteignez la lumière. Fermez les tunnels avec une corde et mesurez le poids de la cage d'amour et du cintre. Déplacez la cage d'amour et le cintre sur la table de la cage d'amour à l'aide du long bâton muni d'un crochet et suspendez-les.



Étape 2 : Fixation de la cage sombre à la cage d'amour de l'intérieur.



Étape 3 : La lumière attire les mouches de la cage sombre vers la cage d'amour.



Étape 4 : Pesée de la cage d'amour après remplissage.

Étape 5 Préparez le bac d'appât : remplissez un bac d'appât vide avec 100 grammes de mouches mortes, 200 grammes de résidus des bacs de la pépinière de larves, 200 grammes de résidus de l'ancienne bac d'appât et un litre d'eau. Mélangez soigneusement.

Étape 6 Préparez 10 ballots de tasseaux propres : Prenez des planchettes en bois propres et séparez-les entre les planchettes avec des punaises des deux côtés et les feuilles sans punaises. Construisez le support de l'œuf en alternant une planchette avec punaise et une planchette sans punaise jusqu'à ce que cinq planchettes soient empilées. Ajoutez deux élastiques aux deux extrémités du ballot. Préparez 10 de ces ballots pour chaque cage d'amour.



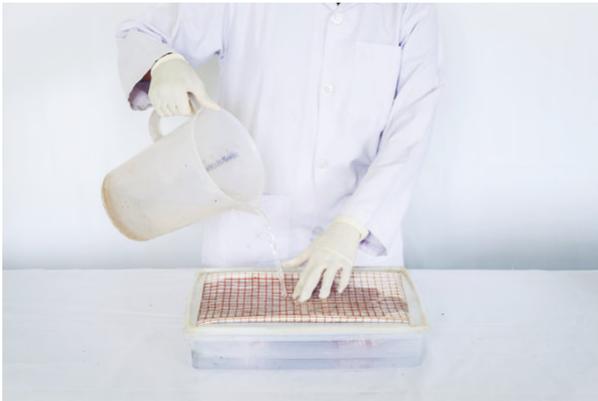
Étape 5 : Ingrédients pour le bac d'appât.



Étape 6 : Les tasseaux bois avec des punaises pour créer un espace, laissant de la place pour les paquets d'œufs. Ces ballots de tasseaux sont maintenus ensemble à l'aide de deux élastiques.

Étape 7 Préparez la boîte à eau : Remplissez une boîte propre d'eau du robinet jusqu'à ce qu'il soit presque plein. Prenez le couvercle et un chiffon en coton propre et faites passer le chiffon des deux côtés par les fentes faites sur le couvercle. Le chiffon doit être posé à plat sur le couvercle, tandis que ses extrémités passent par les fentes et sont immergées dans l'eau de la boîte. Arrosez la serviette avec de l'eau.

Étape 8 Ouvrez la cage d'amour. Recueillez 20 mouches dans un bocal. Placez ensuite le bac d'appât avec 10 ballots de tasseaux propres bien superposés dans la cage d'amour. Couvrez le bac d'appât et les œufs avec le panier d'ombrage. Placez la boîte à eau sur le panier d'ombrage et fermez la cage d'amour.



Étape 7 : Ajouter de l'eau dans la boîte à eau pour hydrater le tissu.



Étape 8 : Montage complet des ballots de tasseaux.

Étape 9 Après avoir fermé la cage d'amour, ajoutez un autocollant sur la table sous la cage en indiquant la date de placement. La cage doit maintenant être fixée comme indiqué sur la Figure ci-dessous.



Étape 9 : Le pied de la table de la cage d'amour est placé dans le piège à fourmis.



Étape 9 : La cage d'amour nouvellement installée.



MESURES DE PROTECTION POUR LES TRAVAILLEURS :

- Faire attention à la lumière fixée sur le cadre mobile et éviter les brûlures.
- Utilisez une blouse et des gants en latex pour manipuler l'attractif.



POINTS DE CONTRÔLE ET DE COLLECTE DES DONNÉES :

- La pesée de la cage d'amour après chaque connexion à une cage sombre (étape 3) permet de suivre le taux d'émergence des cages sombres et donne le nombre total de mouches dans une cage d'amour. Un échantillon de référence de 20 mouches est prélevé dans la cage remplie avec une boîte cylindrique. Les mouches dans la boîte cylindrique sont amenées au laboratoire où le contenu de la boîte est rapidement renversé dans une boîte cylindrique plus petit avec des copeaux de liège saupoudrés de 10 à 15 gouttes d'acétate d'éthyle. On laisse le tout pendant 30 secondes pour paralyser les mouches, de sorte qu'elles peuvent ensuite être facilement pesées avec une balance de précision. Faites la division de la différence entre la cage d'amour vide et pleine par le poids moyen d'une mouche pour obtenir le nombre de mouches dans la cage d'amour.



Le **module sur la phase de l'envol de la série de vidéos e-learning** sur le traitement des biodéchets par la MSN est disponible via ce lien (en anglais).



3.2.2 Stade œuf

Les cages d'amour sont retirées après quatre jours d'utilisation. Il n'y aura plus de ponte après cette période car la plupart des femelles meurent en une semaine. Les ballots de tasseaux sont retirés de la cage d'amour et les œufs sont ensuite raclés des cases des tasseaux. Les œufs sont placés dans un support qui est suspendu dans la douche d'éclosion où les larves nouvellement écloses tombent dans le bac d'éclosion. 10'000 mouches dans une cage produisent environ 75 grammes d'œufs. La capacité d'un porte-œufs est de 40 grammes, ce qui signifie qu'environ deux porte-œufs sont remplis avec les œufs d'une cage d'amour. Le bac d'éclosion est remplacé régulièrement et les larves du même âge se nourrissent dans le même bac jusqu'à ce qu'elles soient utilisées pour le traitement des déchets. Chaque conteneur d'éclosion peut recevoir l'équivalent de 40 grammes d'œufs éclos.

Matériel et équipement requis :



Pince à épiler



Balance de précision
(max 2 kg, acc 0.01 g)



Porte-œufs et trombones de couleur



Bac d'éclosion
(60 x 40 x 12 cm)



Support de douche à éclosion
(150 x 90 x 65)



Eau



Nourriture pour poulet
(Protéine 23%, Eau 13%,
Lipides 5%, Fibers: 5%
& cendres 7%.)



Tourbe de coco

Tâches :

- Étape 1** Retirez les ballots de tasseaux de la cage d'amour, 4 jours (4 x 24 h) après l'installation de la cage d'amour.
- Étape 2** Retirez l'ancien bac d'appât. Utilisez 200 grammes de résidus de l'ancien appât pour remplir un nouveau contenant d'appât. Videz le reste du résidu dans la poubelle des déchets organiques. Nettoyez le bac d'appât avec du détergent et laissez-le sécher.
- Étape 3** Balayez les mouches mortes de la cage d'amour que vous démontez. Gardez 100 grammes de mouches mortes pour remplir le nouveau bac d'appât et jetez les autres dans la poubelle de déchets organiques.



Étape 1 : Retrait des ballots de tasseaux de la cage d'amour.

Étape 4 Déconnectez le cintre avec la cage d'amour de la table de la cage d'amour, enlevez le cintre et retournez la cage d'amour, secouez-la pour enlever les dernières mouches (mortes) et placez la cage d'amour dans la machine à laver, ajoutez du détergent et lavez-la sur un programme à 30 °C. Retirez la cage d'amour de la machine à laver et laissez-la sécher.



Étape 4 : Démontage de la cage d'amour.



Étape 4 : Laver la cage d'amour dans la machine à laver après chaque utilisation.

Étape 5 Nettoyez la table de la cage d'amour à l'endroit où l'ancienne cage était fixée. Vaporisez le même espace avec une solution d'alcool à 95%, étalez-la avec un chiffon et laissez sécher l'alcool. Retirez l'étiquette de date de cette cage d'amour de la table.



Étape 6 : Retirez les supports d'œufs d'une semaine de la douche d'éclosion.

Étape 6 Dans le cadre de la douche à éclosion, retirez tous les supports d'œufs avec le code couleur du jour de la semaine en cours. Les supports d'œufs sont marqués par un trombone d'une couleur particulière en fonction du jour où ils ont été placés dans la douche à éclosion (par exemple, lundi = jaune, mardi = violet, mercredi = gris, etc.) Les supports d'œufs portant le code couleur d'aujourd'hui sont suspendus dans la douche d'éclosion depuis une semaine et tous les œufs ont déjà éclos.

Étape 7 Prenez les 10 ballots de tasseaux retirés de la cage d'amour démontée et ouvrez soigneusement les tasseaux du premier ballot en retirant les deux élastiques à chaque extrémité. À l'aide d'une pince à épiler, grattez soigneusement les œufs des deux côtés de chacune des cinq feuilles qui constituent un seul ballot de tasseaux. Récupérez la masse d'œufs dans un petit bol. Répétez le processus pour les 9 autres ballots puis pour les autres cages d'amour démontées le même jour.

Étape 8 Pesez la masse totale d'œufs collectée de tous les ballots de tasseaux retirés d'une cage d'amour. Divisez la masse d'œufs en portions de 40 grammes, ouvrez le premier support d'œufs et ajoutez le premier lot de 40 grammes de masse d'œufs. Répétez ce processus en vous assurant que la quantité de masse d'œufs est de 40 grammes maximums par support et que la quantité ajoutée à chaque support est la même. Suspendez ensuite les supports dans la douche d'éclosion en veillant à ce qu'au moins un support soit suspendu au-dessus d'un bac d'éclosion chaque jour.



Étape 8 : Remplir les porte-œufs de la masse d'œufs.



Étape 8 : Fixez le trombone de couleur au porte-œuf.

Étape 9 Préparez le bac à éclosion. Chaque bac d'éclosion remplace le bac d'éclosion précédemment installé dans le support de douche. Pour chaque bac d'éclosion, préparez un mélange de 3 kg composé de 30% de poulet sec (poulet de chair) et de 70% d'eau. Remuez le mélange jusqu'à ce qu'il devienne une substance homogène. Remplissez chaque bac d'éclosion avec le mélange de 3 kg. Couvrez chaque bac d'éclosion avec de la tourbe de coco ou du son de blé sec et tamisé (0,5-1,0 cm d'épaisseur) pour éviter le manque d'humidité. Ajoutez des étiquettes à chaque bac d'éclosion avec le code de date du jour.



Étape 9 : Le bac d'éclosion est rempli de 3 kg de nourriture fraîche pour larves.



Étape 9 : La nourriture du bac de la pépinière de larves est recouverte d'une fine couche de tourbe de coco pour éviter toute perte d'humidité.

Étape 10 Déplacez tous les bacs d'éclosion existants dans les étagères vers le bas d'une étagère. Les bacs d'éclosion les plus bas contiendront des larves âgées de cinq jours. Dans l'étagère supérieure maintenant vide, ajoutez les nouveaux bacs d'éclosion.



MESURES DE PROTECTION POUR LES TRAVAILLEURS :

- Masque et lunettes pour protéger le visage des œufs et des petites larves.
- Utiliser une blouse et des gants en latex pour manipuler les ballots de tasseaux l'attractif, les mouches mortes et le détergent.



POINTS DE CONTRÔLE ET DE COLLECTE DES DONNÉES :

- Mesurez le poids des œufs dans le support d'œufs retiré. Voir l'étape 7 pour plus de détails.
- Calculez le nombre d'œufs récoltés :
 - Nombre total d'œufs récoltés : E_{total} (nombre)
 - Masse totale des œufs récoltés : M_{total} (gramme)
 - Masse d'un œuf : $M_{œuf}$ (gramme) = 0.0000291 gramme par œuf

$$E_{total} = M_{total} / M_{œuf}$$



Le **module sur le stade œuf de la série de vidéos e-learning** sur le traitement des biodéchets par la MSN est disponible via ce lien (en anglais).



3.2.3 Phase de l'éclosion

Les 5-DOL sont récoltées du bac à éclosion. A l'âge de 5 jours, ce bac a la capacité de contenir environ 700'000 larves ou 73 larves par cm³. Les 5-DOL sont ensuite séparées des résidus et leur nombre total est déterminé.

Matériel et équipement requis :



Tamis
(mesh size 0.8 mm)



Bol



Bac à résidus
(60 x 40 x 12 cm)



Cuillère



Balance de précision
(max 2 kg, acc 0.01 g)



Assiette



Pince à épiler et compteurs de clics



Tasses et plateaux

Tâches :

Étape 1 Retirez les bacs d'éclosion les plus anciens (après 6 jours) de l'étagère de la douche. Si vous avez plusieurs bacs, mélangez le contenu des bacs. Utilisez un tamis manuel (maille de 0,8 mm) pour tamiser tout le matériel contenu dans les bacs d'éclosion. Les petites particules résiduelles ainsi que les petites larves tomberont à travers le tamis dans un récipient, tandis que les plus grosses particules résiduelles et les larves resteront sur le tamis. Les résidus plus gros et les larves qui restent sur le tamis sont placés dans une boîte en plastique. De cette boîte, les plus grosses particules résiduelles sont raclées autant que possible à la cuillère et stockées quelque part jusqu'à ce que des grumeaux de 5-DOL soient clairement visibles (tandis qu'il y restera quelques résidus). Taper sur le bord de la boîte en plastique aidera à séparer les larves des résidus car les vibrations du plastique font regrouper les larves.



Étape 1 : Enlever le résidu du 5-DOL à la cuillère pour obtenir une quantité de larves propres.

Étape 2 Nettoyez les bacs d'éclosion avec le nettoyeur haute pression, une brosse à récurer et du détergent et laissez sécher.

Étape 3 Prenez une cuillère au hasard dans le mélange de 5-DOL purifié et mesurez deux grammes de ce mélange dans deux bols.



Étape 3 : Après avoir mélangé pour homogénéiser la quantité purifiée des 5-DOL, une cuillère est prélevée au hasard.

Étape 4 : Le 5-DOL contenues dans les échantillons de 2 grammes (y compris l'inévitable résidu restant) est compté.

Étape 4 Mettez ces deux grammes de mélange du 5-DOL du bol dans une assiette. Sur l'assiette, comptez à la main toutes les 5-DOL à l'aide de pinces et d'un compteur à clics, en les poussant dans un récipient. Répétez le processus pour le deuxième bol également. Documenter le résultat en nombre de 5-DOL par deux grammes.

Étape 6 Pesez la masse totale de toutes du 5-DOL disponibles dans la boîte. En utilisant les résultats du comptage par deux grammes, calculez le nombre total de larves dans cette boîte. Voir le calcul ci-dessous.

Étape 7 En fonction du nombre d'unités d'incubation à mettre en place (qui dépend de la quantité de substrat), préparez des tasses et remplissez chaque tasses avec le poids du mélange Du 5-DOL de la boîte, selon les besoins de chaque larve. Voir le calcul ci-dessous.

Étape 8 Le restant des 5-DOL sera ensuite utilisé pour l'élevage des mouches ou jeté (voir le stade des mouches).



Étape 6 : Dosage du 5-DOL pour la préparation des unités d'incubateur.



MESURES DE PROTECTION POUR LES TRAVAILLEURS :

- Utiliser une blouse et des gants en latex pour toucher les 5-DOL et ses résidus.



POINTS DE CONTRÔLE ET DE COLLECTE DES DONNÉES :

- Calculer le nombre de larves dans la boîte :
 - Nombre total de larves dans la boîte : L_{total} (nombre)
 - Masse totale des larves dans la boîte : M_{total} (gramme)
 - Nombre de larves dans l'échantillon : L_{sample} (nombre)
 - Masse de l'échantillon : M_{sample} (gramme)

$$L_{total} = M_{total} * L_{sample} / M_{sample}$$



POINTS DE CONTRÔLE ET DE COLLECTE DES DONNÉES :

- Calcul de la masse de larves nécessaires par par bac à larves :
 - Masse de larves nécessaire par bac à larves : M_{bac} (gramme)
 - Nombre de larves nécessaires par bac à larves : L_{bac} (nombre)
(nous calculons avec 600-800 larves par kg de substrat humide nourri pendant toute la période de traitement)
 - Masse totale des larves dans la boîte : M_{total} (gram)
 - Nombre total de larves dans la boîte : L_{total} (number)

$$M_{bac} = L_{bac} * M_{total} / L_{total}$$



Le **module sur la phase d'éclosion de la série de vidéos e-learning** sur le traitement des biodéchets par la MSN est disponible via ce lien (en anglais).



3.2.4 Phase de croissance larvaire

Les bacs de la pépinière de larves fournissent les pré-pupes qui vont dans les bacs de nymphose en vue de maintenir le nombre adulte nécessaire. Le nombre requis de 5-DOL est nourris pendant environ deux semaines et demie jusqu'à ce qu'ils se transforment en pré-pupes. Pendant cette période, 10'000 larves sont maintenues dans un bac de la pépinière de larves ou à une densité de 5 larves par cm².

Matériel et équipement requis :



Etagère pour les bacs de la pépinière de larves
(150 x 45 x 65 cm)



Bac de la pépinière de larves
(55 x 35 x 14) et bac a transfert
(60 x 40 x 12 cm)



Balance de précision
(max 35 kg, acc 0.5 g)



Pelle



Gobelet
(3 L)



Balance pour vrac
(max 150 kg, acc 50 g)



Bac à ordures
(80 L)



Eau



Nourriture pour poulet
(Protéine 23%, Eau 13%,
Lipides 5%, Fibers: 5%
& cendres 7%.)



Tourbe de coco

Tâches :

- Étape 1** Préparez 2 kg de nourriture composée de 30% de nourriture pour volaille sec et de 70% d'eau. Remuez le tout jusqu'à obtenir un mélange homogène.
- Étape 2** Prenez un bac de la pépinière de larves propre et ajoutez-y cette nourriture, couvrez-le de tourbe de coco ou de son de blé (couche de 0,5-1,0 cm), puis ajoutez 10'000 larves âgées de 5 jours par-dessus la tourbe de coco.



Étape 3 : Mettez de la tourbe de coco dans les coins du bac de transfert pour empêcher les pré-pupes de s'échapper.



Étape 3 : Placez le le bac de la pépinière de larves avec les 10'000 5-DOL dans le bac de transfert.

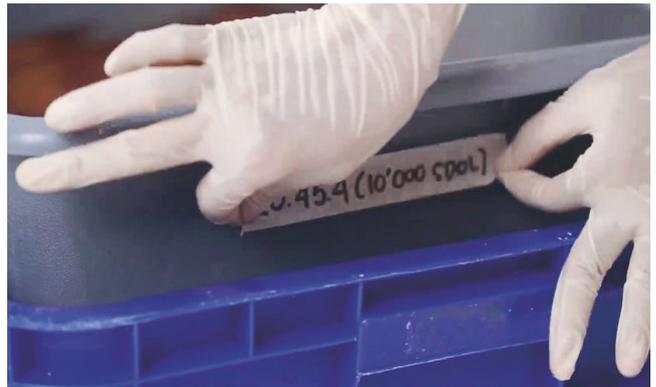
- Étape 3** Prenez un bac de transfert propre et ajoutez de la tourbe de coco dans les coins et le long des bords du bac et placez-y les bacs de la pépinière de larves. Puisque les pré-pupes vont éventuellement ramper hors des bacs de la pépinière de larves et tomber dans le bac de transfert, le bac à larves (35x55 cm) doit être légèrement plus petites que le bac de transfert (40x60 cm). Placez les deux sur l'étagère de la pépinière.

- Étape 4** Placez un autocollant avec le code de date et la quantité de larves qui ont été ajoutées dans le bac de la pépinière de larves.

- Étape 5** Pendant les deux semaines et demie de fonctionnement, le bac de la pépinière de larves est nourrit d'un mélange de nourriture pour volaille et d'eau pendant des jours spécifiques de la période selon le calendrier d'alimentation (voir Annexe B).

- Étape 6** Après deux semaines et demie (voir l'Annexe B), le bac de la pépinière de larves est retirée et les pré-pupes restantes dans le bac de transfert sont récoltées (voir aussi les activités au stade des pré-pupes).

- Étape 7** Enlevez les résidus dans les vieilles bacs à larves. Ces résidus peuvent être compostés. Nettoyez le bac de la pépinière de larves et le bac de transfert avec une brosse à récurer et un détergent et laissez sécher.



Étape 4 : Placez l'autocollant sur le bac de la pépinière de larves.



Étape 5 : Ajoutez de la nourriture aux bacs à larves pendant les semaines d'alimentation.



MESURES DE PROTECTION POUR LES TRAVAILLEURS :

- Utilisez une blouse et des gants en latex pour manipuler les larves et les résidus.



POINTS DE CONTRÔLE ET DE COLLECTE DES DONNÉES :

- Aucun.



Le **module sur la phase de croissance de la série de vidéos e-learning** sur le traitement des biodéchets par la MSN est disponible via ce lien (en anglais).



3.2.5 Phase pré-pupes

Les pré-pupes, qui ont rampé hors des bacs de la pépinière de larves, sont placées dans les bacs de nymphose qui sont ensuite placés dans la cage sombre. Pendant une période de 5 jours, les pré-pupes sont ajoutées au substrat de nymphose d'une épaisseur d'environ 5 cm dans les bacs de nymphose. Un bac de nymphose peut contenir jusqu'à 10'000 pré-pupes, soit environ 1 pré-pupe par cm³ de matériau de nymphose.

Matériel et équipement requis :



Mélangeur
(max cap. 300 kg)



**Compost ou autre matériau
ressemblant à de la terre**



Eau



Bac de nymphose
(60 x 40 x 12 cm)



**Support de bac de
nymphose**
(190 x 45 x 60 cm)



Balance de précision
(max 35 kg, acc 0.5 g)



Balance de précision
(max 2 kg, acc 0.01 g)



Bol



Bac à ordures
(80 L)



Tamis
(60 x 40 x 10, mesh
size 3 mm)



Bac de collecte
(30 x 20 x 12)



Balance pour vrac
(max 150 kg, acc 50 g)

Tâches :

Étape 1 Préparer le matériel de nymphose : 50 kg de matériel de nymphose est constitué de compost mûr (¾) et d'eau (¼). Mélangez-le soigneusement avec une bétonneuse jusqu'à ce qu'aucun matériau sec ne soit visible et que le mélange soit homogène.



Étape 1 : Mélange du compost sec avec de l'eau.



Étape 1 : Mélangez les matériaux pour obtenir un substrat de nymphe humide.

Étape 2 Prenez 16 bacs de nymphe propres et remplissez-les chacune avec 3 kg du matériau de nymphe préparé. Répartissez le mélange de manière égale dans chaque bac.

Étape 3 Placez les 16 bacs de nymphe dans le support de nymphe et ajoutez un autocollant avec la date d'installation.

Étape 4 Récoltez les pré-pupes ensemble avec la tourbe de coco dans le bac de transfert et séparez les pré-pupes de la tourbe de coco avec un tamis. Le bac de transfert vide est ensuite rempli à nouveau de tourbe de coco et le bac de la pépinière de larves y est remplacé. Ce même processus est répété pour chaque bac de transfert destiné à être récolté ce jour-là. Notez le poids des pré-pupes récoltées pour chaque bac individuel à des fins de contrôle.



Étape 4 : Les pré-pupes sont séparées de la tourbe de coco en les tamisant avec un tamis de 3 mm.



Étape 5 : Comptage de 200 pré-pupes pour évaluer le poids moyen en vue les répartir dans les bacs de nymphe.

Étape 5 Regroupez toutes les pré-pupes récoltées dans chaque bac de transfert récolté ce jour-là et pesez les pré-pupes récoltées sur une balance de vrac. A partir de ces pré-pupes deux échantillons de 200 pré-pupes sont pesés, comptés et leur moyenne est notée.

Étape 6 Préparez 16 lots de pré-pupes selon la quantité requise par la liste de contrôle (Annexe A), un lot pour chaque bac de nymphe qui recevra des pré-pupes.

Étape 7 Transférer les 16 lots de pré-pupes dans chacune des 16 bacs de nymphe. Les mêmes bacs de nymphe sont remplis avec le même nombre de pré-pupes pendant plusieurs jours, selon le calendrier respectif (voir Annexe A).



Étape 6 : Préparer des lots de pré-pupes dans des bols.



MESURES DE PROTECTION POUR LES TRAVAILLEURS :

- Utilisez une blouse et des gants en latex pour manipuler les larves, les pré-pupes, la tourbe de coco et le compost.



POINTS DE CONTRÔLE ET DE COLLECTE DES DONNÉES :

- Le poids des pré-pupes récoltées dans chaque bac de transfert est mesuré.
- Le poids de 200 pré-pupes est mesuré. Cette opération est répétée deux fois pour obtenir une valeur moyenne.



Le **module sur la phase pré-pupes de la série de vidéos e-learning** sur le traitement des biodéchets par la MSN est disponible via ce lien (en anglais).



3.2.6 Phase nymphal

Les bacs de nymphose sont placés dans une cage sombre où les mouches émergeront et passeront finalement dans une cage d'amour. La cage ombragée peut contenir 16 bacs de nymphose avec chacune 10'000 nymphes (10 cm³ par pupe).

Matériel et équipement requis :



Cage sombre
(150 x 150 x 75 cm)



Cadre de cage sombre
(170 x 155 x 80 cm)



Piège à fourmis

Tâches :

Étape 1 Accrochez une cage ombragée propre au cadre en utilisant quatre cordes pour l'attacher aux coins supérieurs du cadre. Ouvrez la porte à glissière à l'avant de la cage et fermez l'ouverture ronde du tunnel.



Étape 1 : Accrocher la nouvelle cage sombre.

Étape 2 Assurez-vous que le fond de la cage ombragée repose sur la table du cadre de la cage sombre dont les pieds sont placés dans des pièges à fourmis.

Étape 3 Remplissez la nouvelle cage ombragée avec 16 bacs de nymphose préparés selon les activités de la phase pré-nymphale. Superposez-les de nymphose. Assurez-vous qu'il reste suffisamment d'espace ouvert entre les bacs pour que les mouches émergées puissent sortir des bacs.



Étape 3 : Remplissage de la cage sombre avec les bacs de nymphose et fermeture de la glissière du tunnel pour que les mouches ne puissent pas s'échapper et que la cage soit sombre.

Étape 4 Étiquetez la cage sombre sur le cadre avec la date de sa mise en place.

Étape 5 Retirez les 16 bacs de nymphose de la cage qui doit être démontée aujourd'hui selon le calendrier prévu. Videz-les dans un bac à ordures. Utilisez le nettoyeur haute pression, une brosse à récurer et du détergent pour nettoyer les 16 bacs et rangez-les pour les faire sécher.

Étape 6 S'il y en a, retirez les mouches mortes de la cage sombre avec une brosse et jetez-les dans une poubelle.

Étape 7 Détachez la cage sombre du cadre et retournez-la à l'envers et lavez-la avec du détergent dans une machine à laver à 30 °C. Retirez ensuite la cage sombre de la machine à laver et laissez-la sécher.

Étape 8 Nettoyez le cadre de la cage. A l'aide d'un chiffon appliquez une solution d'alcool à 95% et laissez sécher l'alcool.

Étape 9 Retirez l'étiquette de date du cadre.



MESURES DE PROTECTION POUR LES TRAVAILLEURS :

- Utilisez une blouse et des gants en latex pour toucher les bacs de nymphose, les cages ombragées sales et le détergent.



POINTS DE CONTRÔLE ET DE COLLECTE DES DONNÉES :

- Aucun.



Le **module sur la phase pupes de la série de vidéos e-learning** sur le traitement des biodéchets par la MSN est disponible via ce lien (en anglais).



3.3 Planification du travail et gestion des données

Les activités couvertes dans ce chapitre concernent toutes l'élevage de la Mouche Soldat Noire. Bien que le système proposé soit de conception simple et peu technologique, les différentes manipulations peuvent rendre l'opération complexe. Un calendrier de travail est disponible (voir Annexe A) permettant de structurer toutes les manipulations selon une approche étape par étape, créant ainsi une vue d'ensemble organisée des étapes à réaliser chaque jour. Les étapes sont organisées selon l'ordre dans lequel elles doivent être exécutées les jours donnés. L'opérateur doit donc toujours commencer par le haut de la liste de contrôle et parcourir la liste après avoir effectué chaque tâche. Cela permettra de s'assurer qu'une étape ultérieure ne sera pas entravée par une étape précédente qui n'a pas été achevée. Le fait de parcourir systématiquement la liste du haut en bas assure un déroulement plus fluide du processus et augmente la performance des opérateurs.

À différents moments des étapes opérationnelles et comme indiqué dans le calendrier de travail, des données doivent être collectées et saisies pour assurer un suivi et une bonne vue d'ensemble des performances du cycle d'élevage. Des systèmes numériques peuvent être disponibles pour aider à la saisie directe des données afin de produire des vues d'ensemble des performances. Cependant, si les outils numériques et les logiciels ne sont pas disponibles, nous recommandons l'utilisation d'une simple fiche d'enregistrement sur papier, disponible à l'Annexe D. La fiche de suivi permet de saisir des données sur la masse des œufs, le nombre des larves âgées de 5 jours, la masse des pré-pupes, l'entrée des pupes et la masse des mouches. La manière de collecter ces données est expliquée dans les étapes respectives de ce chapitre.



Chapitre 4

Opérations de conversion des LMSN

4.1 Approvisionnement en biodéchets

Les larves sont généralement très tolérantes en ce qui concerne les substrats d'alimentation. Pourtant, il est important que les biodéchets reçus dans l'installation conviennent à l'alimentation des larves. Avec une teneur en eau comprise entre 60 et 90% et une granulométrie spécifique, la plupart des matières organiques seront traitées d'une manière ou d'une autre. Une liste de biodéchets connus pour donner lieu à une croissance et à une conversion de la biomasse satisfaisante est présentée dans le Tableau 4-1. Les larves dépendent fortement des microorganismes symbiotiques qui dégradent les structures cellulaires et rendent les nutriments disponibles pour que les larves puissent les absorber. Avec une alimentation sous-optimale, le temps de développement sera prolongé et le poids final des larves sera plus faible. Il est important de garder cela à l'esprit lorsque l'on considère l'installation MSN d'un point de vue économique.

Table 4-1: Différents types de biodéchets jugés aptes à être traités par la MSN.

Déchets ménagers	Déchets agro-industriels	Fumier et excréments
<ul style="list-style-type: none">· Déchets organiques ménagers· Déchets alimentaires· Déchets des marchés	<ul style="list-style-type: none">· Déchets de l'industrie alimentaire· Drêches· Déchets d'abattoirs	<ul style="list-style-type: none">· Fumier de volaille· Fumier de porc· Selles humaines

Ce guide suppose que l'approvisionnement en déchets de l'installation a été organisé et garanti. Les biodéchets doivent être purement organiques et biodégradables, et répondre aux critères des types de biodéchets appropriés mentionnés ci-dessus.



Approvisionnement en biodéchets

Afin de garantir un fonctionnement fiable de l'installation MSN, il est de la plus haute importance de disposer d'une source de déchets constante et de qualité constante. Il est donc conseillé de négocier des contrats à long terme avec les producteurs de déchets locaux une fois qu'une source de déchets appropriée a été identifiée. Les critères d'identification d'une source de déchets appropriée sont les suivants :

1. **Disponibilité et coûts du substrat** : Le matériau est-il disponible en quantité et qualité suffisantes et régulières et quels sont les coûts (achat, transport, séparation) ?
2. **Performance du processus LMSN** : Le matériau convient-il comme source de nourriture pour les larves et dans quelle mesure cela affecte-t-il le temps passé dans les larves jusqu'à la récolte ?
3. **Sécurité du produit** : Les déchets contiennent-ils des substances (agents pathogènes, métaux lourds, pesticides, etc.) qui pourraient avoir un impact négatif sur la santé du personnel et/ou des larves ou, au final, affecter la qualité du produit final ?
4. **Hiérarchie de la valorisation des déchets** : L'accès à une source de déchets spécifique affecte-t-il un système de déchets existant ? Comment ces déchets ont-ils été éliminés ou utilisés dans le passé et qui en a bénéficié (alimentation animale, biodig esteur) ?

4.1.1 Prétraitement des biodéchets

Une première étape à l'arrivée des déchets consiste à effectuer un contrôle de qualité des déchets pour s'assurer qu'ils ne contiennent pas de matières dangereuses ni de substances inorganiques. La présence de quelques sacs en plastique dans les déchets ne pose pas nécessairement de problème majeur et peut être triée et retirée à la main. Cependant, il est essentiel de ne pas laisser de contaminants dangereux dans les déchets, car ceux-ci peuvent affecter tous les organismes vivants : les larves, les bactéries associées et, bien sûr, les travailleurs. Les acides, les solvants, les pesticides, les détergents et les métaux lourds entrent dans cette catégorie et il est particulièrement important de les exclure lorsqu'ils sont sous forme liquide ou dissoute, car ils peuvent facilement contaminer tout le lot de déchets. Si une telle contamination est suspectée, les déchets doivent être refusés.



Figure 4-1 : Broyeur à marteaux pour le prétraitement des déchets.

Une fois la qualité des déchets assurée, l'étape suivante consiste à réduire la taille des particules de déchets. Pour ce faire, on peut utiliser un broyeur ou un broyeur à marteaux (Figure 4-1). Quel que soit le type de technologie utilisé, l'équipement doit broyer les déchets en particules d'un diamètre inférieur à 1 ou 2 cm. Cela permet d'accélérer le traitement des MSN, car les larves de MSN n'ont pas de d'appareils buccaux appropriés pour broyer les gros morceaux de déchets, et l'augmentation de la surface favorise la croissance des bactéries associées. Un bon broyage des déchets augmente également l'homogénéité des résidus, ce qui améliore leur qualité et simplifie ensuite la séparation des larves et des matières résiduelles.



Emissions de gaz à effet de serre

Compte tenu des efforts constants des nations et des collectivités locales pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, et des engagements pris par tous les États parties à la convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques, les décideurs évaluent de plus en plus le potentiel de réchauffement planétaire (Global Warming Potential GWP) des différentes options de traitement lorsqu'ils choisissent des méthodes de gestion des biodéchets. Pour les approches plus conventionnelles telles que le compostage ou la digestion anaérobie, ces informations sont bien établies et des méthodologies simplifiées sont disponibles dans le cadre du mécanisme de développement propre (Clean Development Mechanism CDM). Cependant, pour les technologies plus récentes, telles que le traitement des déchets par MSN, ces informations sont rares à ce jour. Toutefois les premiers résultats indiquent que les émissions gazeuses du processus de dégradation, telles que le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4) et l'oxyde nitreux (N_2O), ne sont pas un problème dans le traitement par MSN. Les études montrent des émissions plus faibles que celles des autres méthodes de traitement^{2,3}.

² Ermolaev E, Lalander C and Vinnerås B. (2019) Greenhouse gas emissions from small-scale fly larvae composting with *Hermetia illucens*. Waste Management 96: 65-74.

³ Mertenat A, Diener S and Zurbrügg C. (2019) Black Soldier Fly biowaste treatment – Assessment of global warming potential. Waste Management 84: 173-181.

Les déchets broyés dont la teneur en eau est supérieure à 80% (Figure 4-2) devront être mélangés à un autre déchet plus sec pour que la teneur en eau du mélange soit inférieure à 80%. À 80% de teneur en eau, les déchets broyés auront la consistance d'un mélange de fruits provenant du mixeur de votre cuisine.



Figure 4-2 : Biodéchets avec une teneur en eau de >80%.



Figure 4-3 : Biodéchets avec une teneur en eau de 70 à 80%.

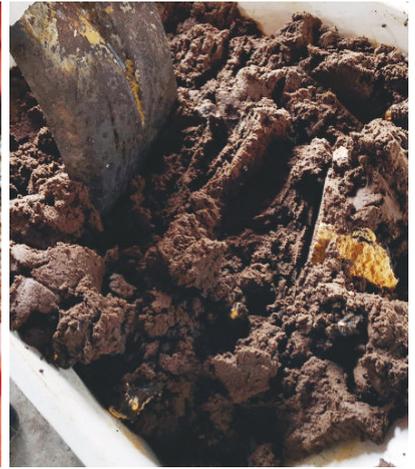


Figure 4-4 : Biodéchets avec une teneur en eau de <70%.



Lorsque les déchets organiques sont acceptés dans l'installation, leur poids doit être mesuré. Cela permet de tenir un registre de l'apport quotidien de déchets de l'installation. Le meilleur moment pour mesurer le poids de la totalité des déchets entrants est après qu'ils aient été broyés, car ils sont alors susceptibles d'être stockés temporairement dans des bacs. Si la déshydratation des déchets est pratiquée, il faut peser les déchets avant et après le processus de déshydratation.

Si la teneur en eau est inférieure à 70% (Figure 4-4), il faut ajouter de l'eau. La teneur en eau adéquate peut être déterminée en serrant une poignée de substrat dans votre poing fermé. Si peu de gouttes d'eau émergent entre vos doigts, le substrat est trop sec. Lorsque vous humidifiez le substrat avec de l'eau, assurez-vous que l'eau est propre et non contaminée par des agents pathogènes, des métaux lourds ou d'autres éléments antinutritionnels. Un substrat dont le taux d'humidité se situe entre 70 et 80% a généralement un aspect humide mais reste fermement en tas lorsqu'il est ajouté dans l'bac à larve (Figure 4-3).



En règle générale, nous travaillons avec les chiffres suivants : 10'000 larves sont nourries avec un total de 12 kg de substrat (75% de teneur en eau) et récoltées après un total de 12 jours. Au départ, les 10'000 larves âgées de 5 jours sont conservées dans une unité d'incubation (30x20x10 cm) et nourries avec une charge unique de 1 kg pendant 3 jours, puis les larves sont transférées dans une bac à larves (40x60x15 cm) et nourries d'une charge unique de 11 kg pendant 9 jours.

4.1.2 Unité de traitement MSN

Le traitement des déchets à l'aide des larves de la Mouche Soldat Noire peut être réalisé de différentes manières. Nous décrivons ici un traitement par lots avec récolte manuelle. Avec cette approche, un nombre défini de jeunes larves du même âge (5-DOL) sont placées dans une boîte (unité d'incubation) avec une quantité définie de substrat. Pendant que les 5-DOL se nourrissent et se développent, l'unité d'incubation devient trop petite pour permettre une croissance supplémentaire et les larves sont alors déplacées dans un bac plus grand (bac à larve) et davantage de substrat est ajouté.

Nous proposons d'utiliser la combinaison d'incubateur et de bac à larves car il a été démontré que cela augmente la quantité de substrat qui peut être convertie par unité d'espace disponible et contribue également à réduire la quantité de manipulations. Cette approche implique le commencement avec un grand nombre de petits incubateurs qui sont utilisées pendant 3 jours et reçoivent chacune de petites quantités de substrat. Ces petits incubateurs permettent une manipulation plus facile sans affecter négativement la croissance des jeunes 5-DOL. Nous avons observé que l'utilisation de cette approche "incubateur" réduit le temps de travail global nécessaire et que lors de la récolte à la fin du processus de traitement, le mélange de larves et de résidus est suffisamment sec pour pouvoir être facilement tamisé.



L'origine du traitement des déchets par la MSN

La recherche sur la MSN a débuté au milieu du 20^e siècle dans les poulaillers. Il a été observé que la présence de larves de MSN dans le fumier sous les cages des poules réduisait la reproduction des mouches domestiques et l'accumulation de fumier. Les chercheurs ont donc commencé à mettre en pratique cette nouvelle idée en planifiant des fosses à lisier favorables aux MSN (rampes pour l'auto-récolte des pré-pupes, accès pour les machines de nettoyage et serres attenantes pour les adultes). La plupart des tentatives d'amener le traitement de la MSN à un niveau professionnel ont été établies autour d'un système d'alimentation continue basé sur l'auto-récolte des pré-pupes. Cependant, l'expérience a montré que les pertes de récolte et les problèmes d'hygiène sont très élevés dans un système continu, ce qui rend difficile son exploitation d'une manière économiquement viable.

Pour la deuxième alimentation, lorsque la plus grande quantité de substrat est ajoutée aux bacs à larves, deux approches sont possibles. Soit on apporte le substrat aux bacs à larves soit on les déplace vers une station centrale d'alimentation en substrat. L'installation d'une station centrale d'alimentation en substrat a l'avantage de garder la grande masse de déchets concentrée en un seul endroit, donc de maintenir un seul endroit sale (qui peut ensuite être nettoyé régulièrement) et d'éviter le déplacement de déchets en vrac dans l'installation. Un autre avantage est que lors du déplacement des unités de larves vers la station d'alimentation en substrat, chaque incubateur peut être inspecté et vérifié pour détecter les irrégularités. Ce livre décrit le système d'alimentation lorsqu'on utilise une station d'alimentation centrale.

En se nourrissant des biodéchets dans l'incubateur et les bacs à larves, les larves décomposent la matière organique et métabolisent les nutriments en biomasse larvaire. Si les larves reçoivent une trop grande quantité de biodéchets, une couche de déchets non traités s'accumule et commence à générer de la chaleur grâce à son activité bactérienne. Cette accumulation de chaleur est défavorable aux larves. La couche de déchets non traités attire également la vermine. D'un autre côté, si les déchets sont en quantité insuffisante, les larves vont mourir de faim et leur croissance sera ralentie. Par conséquent, l'installation aura une capacité de traitement des déchets plus faible et un rendement plus faible en larves adultes. La quantité de déchets qui peut être fournie par bac à larves est également limitée par l'épaisseur de la couche de déchets dans le bac à larves. Si l'épaisseur de la couche de déchets dans le bac à larves est supérieure à 5 cm, les larves rencontreront des difficultés à se nourrir à travers toute cette couche et les déchets de la partie inférieure de la couche resteront non traités.

Les incubateurs et bacs à larves peuvent être empilés les uns sur les autres pour réduire davantage le besoin en espace (Figure 4-5 et Figure 4-6). Cependant, si elles sont empilées, il est suggéré de garder un espace suffisamment ouvert entre les unités de traitement empilées pour permettre l'aération. L'espace entre les unités est nécessaire pour assurer l'aération et permettre le renouvellement de l'air saturé d'humidité au-dessus des unités. L'aération fournit également de l'oxygène, qui est crucial pour le bien-être des larves.



Les manières de table des larves

La morphologie des pièces buccales indique que les larves d'*Hermetia illucens* se spécialisent dans les aliments liquides et à petits grains. Cependant, la larve dispose également d'un mécanisme rappelant les tunneliers modernes, grâce auquel elle peut réduire les matériaux grossiers à l'aide de disques broyeurs mobiles montant et descendant quatre fois par seconde et rendre ainsi les plus grosses particules accessibles pour la digestion^{4,5}.

Après l'ingestion, la nourriture passe par le tube alimentaire dans l'intestin moyen, la partie la plus longue et la plus importante du tube digestif de la larve. Le long de l'intestin moyen, grâce à l'action combinée de l'environnement intestinal, des enzymes et des microbes, l'alimentation est décomposée en plus petites molécules pour être absorbée par les cellules intestinales dans l'hémolymphe, le "sang" des insectes⁶.

Les microbes présents dans les biodéchets et dans l'intestin des larves ont de multiples fonctions qui sont importantes pour la performance du processus. Dans les biodéchets, les microbes sont importants pour l'hydrolyse des macronutriments des biodéchets, notamment les fibres qui ne peuvent généralement pas être décomposées par les larves de MSN. Après ingestion, certains de ces microbes sont utilisés par les larves comme nourriture, fournissant des nutriments supplémentaires à ceux présents dans le régime alimentaire.

- ⁴ Shishkov O, Hu M, Johnson C, et al. (2019) Black soldier fly larvae feed by forming a fountain around food. *Journal of The Royal Society Interface* 16.
- ⁵ Bruno D, Bonacci T, Reguzzoni M, et al. (2020) An in-depth description of head morphology and mouthparts in larvae of the black soldier fly *Hermetia illucens*. *Arthropod Structure & Development* 58.
- ⁶ Gold M, Egger J, Scheidegger A, et al. (2020) Estimating black soldier fly larvae biowaste conversion performance by simulation of midgut digestion. *Waste Management* 112.

Pour les incubateurs, l'empreinte du traitement des biodéchets d'une seule incubateur est de 33,3 kg/m²/j lorsqu'on empile six unités les unes sur les autres (Figure 4-5). Pour les bacs à larves, l'empreinte du traitement des biodéchets à l'unité est de 30,6 kg/m²/j lorsque six unités sont empilées les unes sur les autres (Figure 4-6). Si l'on combine le système qui utilise des incubateurs pour les trois premiers jours d'alimentation en biodéchets et l'empilement des unités pendant l'alimentation des larves, l'empreinte combinée de conversion des biodéchets de ce système est de 31,25 kg de biodéchets traités par m² et par jour.



Figure 4-5 : Support avec les incubateurs (4 récipients par casier).



Figure 4-6 : Superposition des bacs à larves avec des cadres de ventilation entre les niveaux.

4.1.3 Récolte des produits

Après 12 jours de traitement des déchets par les larves MSN, chaque bac à larves est récolté. À ce stade, les larves ont atteint l'âge de 17 jours et leur poids maximal, mais ne se sont pas encore transformées en pré-pupes. Leur valeur nutritionnelle est donc à son maximum. Le fait que ce moment idéal se situe après 12 jours de traitement, ou quelques jours de moins ou de plus, dépend fortement d'influences extérieures telles que la température ambiante ou la qualité de l'alimentation. Les exploitants d'une installation doivent donc rester vigilants et observer les larves, leur croissance et leur évolution afin d'identifier le moment idéal de récolte spécifique à leur contexte et à leur situation locale.



Pour savoir comment composter les résidus de MSN ou les matières organiques en général, un guide du compostage est disponible via ce lien (en anglais).



Figure 4-7 : Tamis à secousses pour séparer les larves des résidus secs.

Lors de l'étape de récolte, les deux produits, larves et résidus, doivent être séparés l'un de l'autre. En fonction de la teneur en eau de la matière première, le résidu se présentera sous la forme d'une masse sèche friable ou d'une boue humide. Nous ne recommandons pas le résidu sous forme de boue humide car le processus de récolte devient assez lourd. Nous recommandons donc de prendre des mesures pendant l'étape de traitement pour s'assurer que le résidu résultant sera une masse sèche et friable. Lorsque l'on reçoit des substrats de déchets à forte teneur en eau qui donneraient probablement un résidu de boue humide, nous recommandons d'ajouter un matériau sec tel que de la tourbe de coco, de la farine de palmiste ou du lait en poudre pendant l'étape de traitement afin que le résidu ait séché au moment de la récolte des bacs à larves.

Les résidus secs et friables peuvent être récoltés à l'aide d'un tamis à secousses comportant deux couches de tamis, l'une avec un maillage de 3 mm et l'autre avec un maillage de 7 mm. Les tamis à secousses peuvent être manuels ou automatisés. Les tamis à secousses automatisés peuvent atteindre des fréquences de secousses plus élevées que les tamis manuels et sont donc privilégiés (Figure 4-7). En tamisant le mélange de résidus de larves avec deux couches de tamis, on obtient un total de trois fractions, une fraction de larves et deux fractions de résidus (Figure 4-7). La première fraction de résidu, qui a une couleur foncée semblable à celle de la terre, peut être mise en sac et stockée jusqu'à ce que le matériau ait mûri et peut ensuite être utilisé comme compost ou amendement du sol. La seconde fraction de résidu, qui est généralement constituée de feuilles, de graines et d'autres matières résiduelles, doit être compostée pendant une période plus longue, idéalement à l'aide d'un système de compostage en andains.



Figure 4-8 : Trois fractions de matériaux après le tamisage, une fraction de larves et deux fractions de résidus.

Pendant la secousse du tamis, les grosses particules du résidu restent sur le dessus de cette première couche de tamis d'un maillage de 7 mm. Les larves et les parties fines du résidu tombent à travers cette première couche de tamis sur la deuxième couche avec une taille de maille de 3 mm. Les larves resteront sur ce tamis sans tomber, tandis que les résidus fins tomberont à travers la deuxième couche de tamis. Compte tenu de l'inclinaison et des secousses de ce type de tamis, toutes les fractions descendent la pente jusqu'à l'extrémité du tamis. À chaque niveau de la couche de tamisage, on raccorde un entonnoir à un seau où les fractions sont collectées pour un traitement ultérieur. D'autres systèmes de tamisage horizontal utilisent un moteur vibrant pour guider le matériau vers un entonnoir où il est recueilli dans un seau.

4.1.4 Conditionnement des produits récoltés

La récolte sépare les résidus des larves. Cependant, une fois le processus terminé, certaines particules de résidus restent collées aux larves et l'intestin des larves contient encore des matières qui n'ont pas encore été excrétées. Généralement, les larves de MSN récoltées sont vendues comme produits d'alimentation animale, soit vivantes, soit sous une forme post-traitement. Dans les deux cas, le conditionnement des larves est nécessaire pour augmenter la pureté et la qualité du produit. Deux méthodes de conditionnement des larves sont proposées ici. Ces méthodes visent toutes deux à débarrasser les larves des particules de résidus restantes et à réduire partiellement le contenu de l'intestin des larves : la purge et l'assainissement. Alors que l'opération de purge nettoie les larves vivantes, l'opération d'assainissement tue les larves dans une étape de blanchiment avant le nettoyage. Néanmoins, les deux procédures décrites ne débarrassent pas nécessairement les larves des micro-organismes ou de toute contamination présente dans la source de déchets et qui sont potentiellement susceptible d'être transmise aux larves pendant leur croissance ou leur contact avec le substrat des déchets.



Le dessin technique des matériaux et équipements sur mesure utilisés dans les étapes opérationnelles de l'unité de conversion LMSN est disponible via ce lien (en anglais).



4.2 Activités dans l'unité de conversion des LMSN

Dans ce sous-chapitre, les étapes du processus et les matériaux à utiliser au cours de ces étapes sont présentés. Comme pour les opérations d'élevage de la MSN, la plupart des matériaux peuvent être trouvés dans les quincailleries, mais certains matériaux et équipements ont été fabriqués sur commande et sur mesure pour l'opération. Les dimensions de ces articles sont indiquées dans la description de l'article.

4.2.1 Prétraitement

L'objectif de l'étape de prétraitement est de réduire la taille des particules et d'homogénéiser le matériau d'entrée. Les déchets peuvent alors être facilement distribués et donnés aux larves et les nutriments sont rendus facilement accessibles aux larves et aux bactéries associées.

Matériel et équipement requis :



Broyeur à marteaux
(Cap 1 ton/h)



Bac à ordures
(80 L)



Balance pour vrac
(max 150 kg, acc 50 g)



Mélangeur
(max cap 300 kg)



Matière sèche / four TS



Coupe d'analyse de la matière sèche

Tâches :

- Étape 1** Après un contrôle de qualité et une acceptation, retirez les déchets organiques du véhicule et placez les déchets près du broyeur. Lors du vidage du véhicule, retirez les déchets non organiques contenus dans les déchets (tri de grosse particule).
- Étape 2** Placez un seau étiqueté sous la sortie de la déchiqueteuse et mettez le broyeur en marche.
- Étape 3** Pendant que vous remplissez la trémie pour broyer les déchets, retirez manuellement les composants non organiques présents dans les déchets. Lorsque le seau de réception des déchets est plein, remplacez-le par un nouveau seau vide étiqueté.
- Étape 4** Peser et documenter chaque seau plein de déchets broyés à l'aide d'une balance pour vrac.



Étape 1 : Retrait des corbeilles contenant des déchets du marché.
Les paniers sont vérifiés un par un sur le contenu.

Étape 5 Après le broyage de tous les déchets, utilisez le nettoyeur haute pression pour nettoyer l'intérieur, l'extérieur et le pourtour du broyeur. Toutes les eaux usées doivent être évacuées pour être traitées.

Étape 6 si le substrat résiduel est encore trop humide (teneur en eau >80%), il faut ajouter un matériau sec solide pour équilibrer la teneur en eau et permettre au résidu d'être sec à la fin du processus. Vous pouvez mélanger les matériaux avec le substrat avant de l'introduire dans les unités de conversion à l'aide d'un mélangeur ou simplement ajouter le matériau sec dans les caisses d'abord, puis le substrat humide par-dessus.

Étape 7 Si le substrat est trop sec (teneur en eau <70%), vous pouvez le mélanger avec un substrat humide ou simplement ajouter de l'eau. Veillez à ce que le matériau sec soit toujours en bas et le matériau humide en haut au cas où le matériau ne serait pas mélangé avant d'être ajouté dans les bacs à larves.

Étape 8 pour déterminer la teneur en eau d'un déchet, il faut préparer un échantillon de matières solides totales (TS) dans un four spécialement conçu à cet effet. Normalement, ces fours sont appelés "fours à matière sèche" ou "fours TS".



Étape 3 : Réduction de la taille des particules de biodéchets par broyage du matériau.



Étape 6 + 7 : Conditionnement du substrat par ajout de matière sèche si la teneur en eau est trop élevée et par ajout d'eau si la teneur en eau est trop faible.



MESURES DE PROTECTION POUR LES TRAVAILLEURS :

- Utilisez des gants, des vêtements de protection et des protections pour les yeux et les oreilles lorsque vous utilisez le broyeur.
- Utilisez les mesures de protection disponibles pour le broyeur/moulin à marteaux, c'est-à-dire la trémie d'alimentation, le clapet et autres dispositifs de sécurité, pour éviter tout risque de contact direct entre les mains des travailleurs et les pièces mobiles.



POINTS DE CONTRÔLE ET DE COLLECTE DES DONNÉES :

- Poids des déchets reçus
- Poids des fractions séparées des déchets pour diverses destinations
- Avant d'ajouter le substrat aux bacs à larves, il est important d'obtenir des échantillons de substrat pour déterminer la teneur en humidité. Pour ce faire, mélangez soigneusement le substrat dans chaque contenant de substrat et placez une grande cuillère de chaque contenant de substrat dans un seau. Mélangez soigneusement le contenu du récipient d'échantillonnage et prélevez un échantillon d'environ 50 g que vous placerez sur un plateau d'échantillonnage. Le plateau avec l'échantillon est pesé puis séché dans un four à 105 °C pendant 24 heures avant de peser à nouveau le plateau. Calculez la teneur en eau de l'échantillon comme suit : Teneur en eau [%] = (Poids humide-Poids sec)/Poids humide*100



Le **module sur la phase de prétraitement de la série de vidéos e-learning** sur le traitement des biodéchets par la MSN est disponible via ce lien (en anglais).



4.2.2 Traitement

Un nouveau lot de biodéchets à traiter chaque jour est initié par la mise en place des incubateurs, l'introduction d'une quantité définie de substrat de biodéchets broyés (et conditionnés) dans chacun de ces incubateurs, puis la préparation et l'ajout d'un nombre défini de 5-DOL sur le substrat. L'incubateur recevra 1 kg de substrat et 10'000 5-DOL, ce qui donne une densité de 3,3 larves par cm³. La mise en place des bacs à larves consiste à préparer ceux qui sont vides en ajoutant 11 kg de substrat frais et le contenu d'un incubateur de 3 jours. On obtient ainsi une densité de 0,8 larve par cm³. Des couches de 6 bacs à larves sont empilées sur une palette en alternant avec des cadres de ventilation.

Matériel et équipement requis :



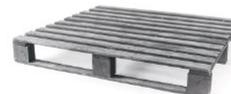
Support pour incubateur
(150 x 180 x 65 cm)



Incubateur
(30 x 20 x 10 cm)



Bac à larves
(60 x 40 x 15)



Palette de bac à larves
(129x122x20 cm)



Cadre de ventilation
(129 x 122 x 12 cm)



Unité de conversion des biodéchets
(129 x 122 x 170 cm)



Chariot à palettes
(cap. 2 ton)



Bac à ordures
(80 L)



Bêche



Balance pour vrac
(max 150 kg, acc 50 g)



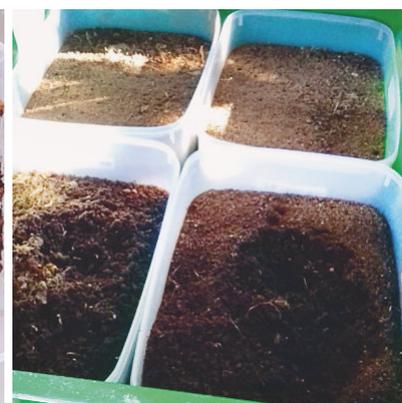
Chariot



Étape 1 : Ajouter 1 kg de substrat dans chaque incubateur.



Étape 2 : Ajouter le 5-DOL en portions sur le substrat.



Étape 3 : Les incubateurs sont placés dans des caisses.

Tâches :

- Étape 1** Préparez 36 incubateurs vides et remplissez chacune avec 1kg de substrat.
- Étape 2** Ajoutez une coupe contenant 10'000 5-DOL sur le substrat dans chaque incubateur.
- Étape 3** Ajoutez les 36 incubateurs dans des caisses plus grandes et ajoutez ces caisses dans le support pour l'incubateur.
- Étape 4** Prenez le groupe le plus ancien de 36 incubateurs et placez-le près de la station d'alimentation.
- Étape 5** Procurez-vous une palette et un chariot à palettes. Préparez 36 bacs à larves et 5 cadres de ventilation ouverts. Placez-les à proximité de la station d'alimentation.



Étape 6 : Empilage des bacs à larves sur les palettes.

Étape 6 Placez 6 bacs à larves sur la palette, nourrissez-les avec 11kg de substrat chacune et videz une unité d'incubateur dans un bac à larve sur le substrat frais. Placez un cadre de ventilation ouvert au-dessus des six caisses. Empilez maintenant la couche suivante de six bacs à larves sur le cadre de ventilation et répétez ce processus jusqu'à ce qu'une pile de six couches avec un total de 36 caisses soit complète.

Étape 7 Étiquetez la palette avec le code de date de la palette. Ensuite, utilisez le chariot à palettes pour amener la palette à sa destination dans le bâtiment.

Étape 8 Lavez les récipients de maintien du substrat qui ont été vidés à l'aide d'un nettoyeur haute pression et laissez-les sécher.



MESURES DE PROTECTION POUR LES TRAVAILLEURS :

- Utilisez des gants et des vêtements de protection pendant les activités d'alimentation



POINTS DE CONTRÔLE ET DE COLLECTE DES DONNÉES :

- Poids du substrat ajouté aux unités de l'incubateur
- Poids du substrat ajouté aux bacs à larves



Le **module sur la phase de traitement de la série de vidéos e-learning** sur le traitement des biodéchets par la MSN est disponible via ce lien (en anglais).



4.2.3 Récolte

Lorsque les larves se sont nourries du substrat et qu'il ne reste plus que des résidus secs, les bacs à larves sont récoltés à l'aide d'un système de tamisage mécanique qui permet de séparer le mélange de résidus et de larves en trois fractions. Les larves peuvent ensuite être retirées et traitées. Les flux de résidus subissent un traitement supplémentaire avant d'être appliqués sur les sols.

Matériel et équipement requis :



Convoyeur (fabriqué sur mesure) et **système de séparation** (Guan-Yu, GY-1000-2S). Tamis de dimensions 100 x 106 cm, dynamo 2HP avec tension de 380 (triphase) et 1440 rpm.



Bac à ordures
(80 L)



Bêche



Balance pour vrac
(max 150 kg, acc 50 g)



Chariot



Matière sèche / four TS



Coup d'analyse de la matière sèche

Tâches :

Étape 1 Préparez la zone de récolte en plaçant des bacs de matériaux vides sous les sorties de la machine à tamiser et en plaçant la balance en vrac près de la trémie du tapis roulant.



Étape 1 : Station de récolte avec système de tamisage, bacs de collecte et sacs de résidus.

Étape 2 Sélectionnez-la ou les palettes qui seront récoltées ce jour-là, en vérifiant le calendrier de montage/ récolte, et déplacez-les vers la zone de récolte à l'aide du chariot à palettes.

Étape 3 Mise en marche de la balance de vrac, de la bande transporteuse et de la machine à tamiser.

Étape 4 Prenez trois bacs à larves vides et tarez leur poids sur la balance en vrac. Prenez ensuite les trois premières bacs à larves avec un mélange de résidus et de larves de la palette et placez-les sur la balance en vrac. Notez la masse sur la feuille de route.



Étape 4 : Pesée des caisses de l'unité de conversion des biodéchets sur une balance.

Étape 5 Videz les trois bacs à larves une par une dans la trémie afin que le matériau soit progressivement transporté par le convoyeur vers le haut du tamis.

Étape 6 Répétez les processus de pesage, de notation du poids et de vidage des unités jusqu'à ce qu'une palette soit récoltée. Ensuite, répétez le processus pour les autres palettes qui doivent être récoltées aujourd'hui.

Étape 7 Pendant la récolte des palettes : assurez-vous de garder chacune des trois fractions de sortie séparées pour chaque palette afin d'obtenir un rendement de récolte par palette. Remplacez les factures par des factures vides lorsqu'elles sont pleines.

Étape 8 Une fraction de sortie contiendra des particules plus grosses, le contenu de ce bac est pesé et noté et le matériau est composté. Un autre flux de sortie est le résidu fin, le contenu de ce bac est pesé et noté et le matériau est mis en sac pour la maturation.

Étape 9 La troisième fraction est constituée des larves qui sont encore mélangées à des résidus dont la taille des particules est similaire à celle des larves. Les résidus sont enlevés en les écumant (à la main) du haut du bac, car les larves poussent les résidus vers le haut pour échapper à la lumière. Une fois qu'aucun amas de résidus n'a été observé, le bac contenant les larves peut être pesé et le poids noté.



Étape 7 : Larves et résidus sur le tapis de transport avant d'être séparés en différentes fractions.



MESURES DE PROTECTION POUR LES TRAVAILLEURS :

- Utilisez des gants, des lunettes de protection et des vêtements de protection pendant les activités de récolte.



POINTS DE CONTRÔLE ET DE COLLECTE DES DONNÉES :

- Il est essentiel de mesurer le poids de la "récolte" des résidus et des larves. Ces données sont utilisées pour calculer des indicateurs de performance qui permettent à l'exploitant de suivre les performances de l'installation de traitement, à savoir la réduction des déchets, le ratio de bioconversion et le rendement larvaire. À cette fin, nous mesurons le poids net du contenu larvaire ainsi que la récolte de larves. La différence entre le contenu net de larves et la récolte de larves est le poids du résidu. En outre, nous analysons le résidu en fonction de sa teneur en eau.
- Documentez le poids de chaque du bac à larves avant de le vider. En soustrayant le poids du conteneur de du bac à larves vide, on obtient le poids net du contenu du du bac à larves.
- Documenter le poids total des larves récoltées.
- Après avoir récolté les bacs à larves, il est important de prélever des échantillons du résidu et des larves afin de déterminer la masse et la teneur en humidité. Pour cela, prélevez des lots de trois bacs à larves au hasard et placez les échantillons dans des coupes. Placez le bol d'échantillonnage sur une assiette et prélevez toutes les larves. Veillez à ne pas renverser le liquide car cela fait partie de la mesure du poids humide.

Une fois que vous avez enlevé toutes les larves, mettez les résidus dans un plateau d'échantillonnage. Prenez 20 des larves et séchez-les avec un mouchoir en papier avant de les placer dans un plateau d'échantillonnage. Répétez cette opération trois fois pour les trois échantillons. Remettez le reste des larves dans les caisses de récolte ou directement sur le tamis de récolte. Pesez les échantillons (larves et résidus) et séchez-les dans un four à 105 °C pendant 24 heures avant de peser à nouveau chaque plateau. Vous obtiendrez ainsi la teneur en eau des larves et du résidu. Calculez la teneur en eau de l'échantillon de la manière suivante : Teneur en eau [%] = (Poids humide-Poids sec)/Poids humide*100.



Séparation des résidus des larves et prélèvement de larves au hasard pour les échantillons triples.



Des échantillons triples de substrat à l'entrée, de résidu à la sortie et de larves à la sortie sont placés dans le four TS.



Le **module sur la phase de récolte de la série de vidéos e-learning** sur le traitement des biodéchets par la MSN est disponible via ce lien (en anglais).



4.2.4 Conditionnement

Les larves de MSN récoltées doivent être purgées ou assainies, en fonction de l'utilisation prévue des larves.

Purge :

La purge commence par une étape de lavage pour éliminer les résidus restants attachés aux larves. Ensuite, les larves lavées sont laissées dans un lit de purge contenant un matériau sec pendant une période de trois à quatre heures. Pendant cette période, les larves commencent à vider le contenu de leur intestin. Après la purge, les larves sont encore vivantes et ce processus est donc une bonne pratique pour la vente de larves vivantes.

Matériel et équipement requis :



Tâches :

- Étape 1** Préparez le bac pour lavage. Placez le support de tubes en plastique à l'intérieur du bac. Placez le filet de lavage à l'intérieur du bac et fixez-le sur le côté.
- Étape 2** Lavage. Ajoutez 10 kg de larves fraîchement récoltées sur le filet. Lavez les larves à l'eau claire jusqu'à ce que toute la saleté et les résidus soient éliminés. Cela peut prendre 5 à 10 minutes.
- Étape 3** Purge. Placez les larves humides sur le lit de purge. Pour chaque 10 kg de larves humides, ajoutez 1 kg de matière sèche, par exemple de la tourbe de coco. Mélangez la tourbe de coco avec les larves et laissez les larves pendant trois à quatre heures.
- Étape 4** Après quelques heures, vous verrez que les larves ont séché et ont commencé à se séparer de l'enveloppe.



Étape 1 : Préparation de bac pour lavage pour le lavage.



Étape 2 : Lavage des larves.



Étape 3 : Larves dans un lit de purge.



Étape 4 : Larve séparées de la tourbe de coco.



MESURES DE PROTECTION POUR LES TRAVAILLEURS :

- Utilisez des gants, des lunettes de protection et des vêtements de protection pendant les activités de broyage.



Sur l'assainissement des larves

Il est évident que les larves d'insectes nourries avec des déchets organiques présentent un risque sanitaire lorsqu'elles sont données aux volailles sans être traitées au préalable. Les traitements thermiques tels que l'ébullition, le rôtissage, la friture, le blanchiment et le traitement par micro-ondes, même pendant de courtes périodes, se sont avérés très efficaces pour réduire la quantité de bactéries et de champignons végétatifs. L'application de chaleur aux insectes entiers après la récolte permet de réduire la plupart des comptes microbiens en dessous du seuil de détection. Cependant, il a également été constaté qu'au moins certaines des endospores bactériennes peuvent survivre à un traitement thermique, ce qui peut entraîner une recontamination dans la suite du processus⁷. Les techniques de traitement traditionnelles de séchage solaire semblent avoir peu d'effet sur la réduction des bactéries, des levures et des moisissures⁸. Par conséquent, quelle que soit la méthode de traitement, il faut veiller à minimiser le risque de recontamination en maintenant un environnement de travail hygiénique pendant le traitement ultérieur.

⁷ Vandeweyer D. (2018) Microbiological quality of raw edible insects and impact of processing and preservation. 197.

⁸ Nyangena D, Mutungi C, Imathiu S, et al. (2020) Effects of Traditional Processing Techniques on the Nutritional and Microbiological Quality of Four Edible Insect Species Used for Food and Feed in East Africa. Foods 9: 574.

Assainissement:

Pour l'étape de d'assainissement, les larves sont plongées dans de l'eau bouillante (blanchiment) pendant 60 secondes. Le blanchiment tue rapidement les larves et en réaction à l'augmentation soudaine de la température - due à l'immersion dans l'eau bouillante - les larves vident une partie de leur contenu intestinal. L'étape de lavage suivante permet d'éliminer les résidus et le contenu intestinal des larves. Après cette étape, nous recommandons de poursuivre le traitement des larves le plus rapidement possible, car les larves mortes se détériorent rapidement. L'assainissement facilite le séchage ultérieur, car les larves ont ainsi déjà été tuées et ne se déplacent plus pendant l'étape de séchage. En outre, plus la mise à mort est rapide, mieux c'est pour l'animal et pour le produit final, car le stress peut avoir une influence négative sur la qualité du produit.

Matériel et équipement requis :



Bac à ordures pour le lavage



Filet de lavage



Porte-tubes en plastique



Eau



Marmite pour l'eau chaude



Installation de poêle



Cuillère à tremper

Tâches :

- Étape 1** Préparatifs. Faites chauffer l'eau jusqu'à ce que vous voyiez des bulles monter ou jusqu'à ce qu'elle atteigne une température de 90 °C. Pendant ce temps, préparez le bac pour lavage en plaçant le support de tubes en plastique à l'intérieur du bac et en fixant le filet de lavage pardessus.
- Étape 2** Assainissement. Remplissez la cuillère de trempage de larves fraîchement récoltées et plongez-les dans l'eau chaude pendant environ 60 secondes. Transférez ensuite les larves sur le filet de lavage. Répétez cette étape jusqu'à ce que le filet de lavage soit rempli de larves (environ 10 kg). Après lavage de chaque 50 kg de larves, remplacez l'eau sale par de l'eau propre.
- Étape 3** Lavage. Nettoyez les larves blanchies avec de l'eau propre jusqu'à ce que les résidus soient éliminés.
- Étape 4** Commencez directement le post-traitement des larves, car dans cet état, les larves se décomposent très rapidement. Si le post-traitement n'est pas possible, stockez les larves assainies dans le congélateur.



Étape 1 : Préparation du bac de lavage.



Étape 2: Trempage des larves dans l'eau chaude.



MESURES DE PROTECTION POUR LES TRAVAILLEURS :

- Utilisez des gants, des lunettes de protection et des vêtements de protection.



Le **module sur la phase de conditionnement de la série de vidéos e-learning** sur le traitement des biodéchets par la MSN est disponible via ce lien (en anglais).



4.3 Calendrier des travaux, suivi et collecte des données

Les activités couvertes dans ce chapitre concernent toutes la conversion des biodéchets à l'aide des larves de la mouche soldat noir. Comme pour l'unité d'élevage, la quantité de manipulations peut rendre ce système complexe à exploiter. Un calendrier de travail est disponible (voir Annexe C) et permet de structurer toutes les manipulations de manière progressive et donne ainsi une vue d'ensemble organisée des étapes qui doivent être franchies chaque jour.

Dans les opérations décrites ainsi que dans le calendrier de travail, il y a des moments où les données doivent être collectées et enregistrées afin de créer une vue d'ensemble de la performance du cycle d'élevage. Les opérations d'élevage ont utilisé une fiche de suivi pour toutes les opérations dans l'unité d'élevage. Cependant, comme l'unité de traitement est beaucoup plus grande et que les différentes opérations sont assez dispersées sur le site, des fiches de suivi séparées sont préparées et placées aux différents endroits afin que l'exploitant puisse remplir les fiches de suivi des données sur les lieux où les activités sont effectuées. Les fiches de suivi sont disponibles dans les Annexes E et F. Les fiches de suivi permettent d'enregistrer des données sur les déchets entrants, les déchets à traiter, les déchets dans les unités, les larves et les résidus sortant des unités et les résultats des échantillons de matière sèche. Les étapes respectives de la collecte de ces données est expliquée dans les chapitres ci-dessus.



Chapitre 5

Post-traitement et commercialisation des LMSN

5.1 Produits commercialisables issus de la conversion des biodéchets par les LMSN

Le traitement des déchets organiques à l'aide des LMSN produit deux résultats principaux : Les larves (10 à 20% du poids humide des déchets) et l'excrément (20 à 40%). L'excrément peut être transformé par compostage en un compost améliorant le sol. De même, les larves peuvent être vendues directement en tant que larves fraîches ou subir une transformation ultérieure en produits tels que les larves séchées (pop larves), la farine de MSN, l'huile de MSN ou les granulés de MSN (Figure 5-1). Tous ces produits sont des sources de revenus potentielles pour une installation de conversion des biodéchets en MSN.

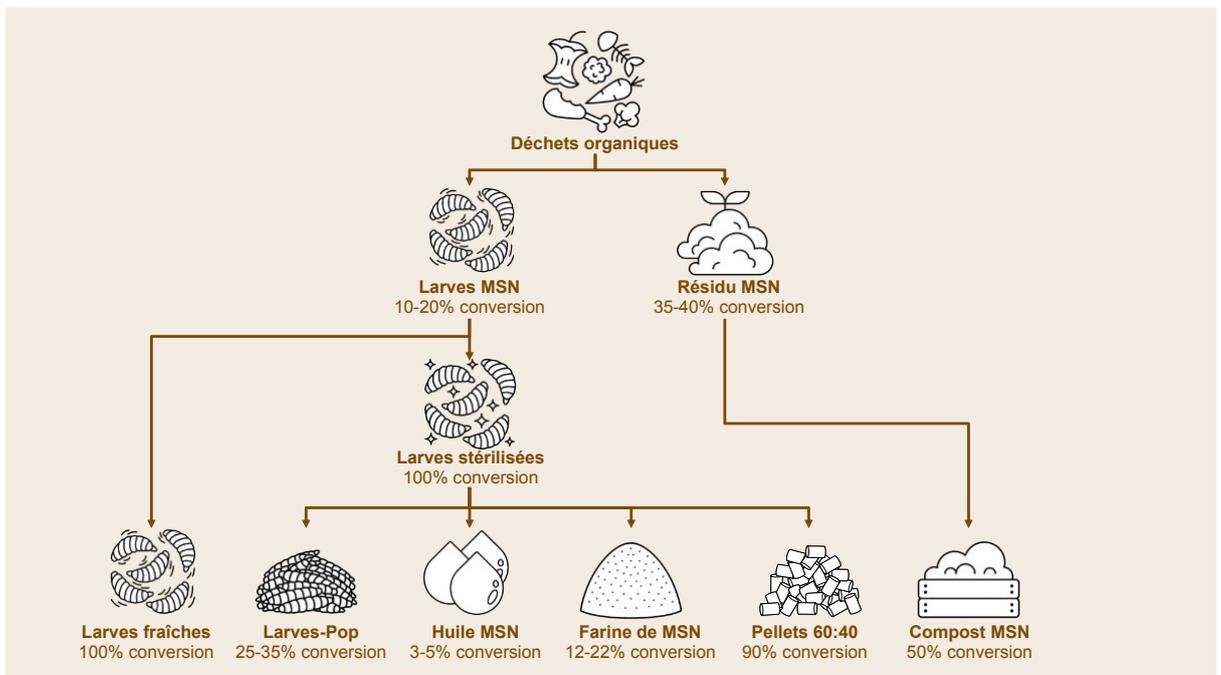


Figure 5-1 : Produits de conversion des déchets LMSN. Les pourcentages de conversion décrivent le rendement estimé du produit perméable. Les valeurs sont basées sur le poids humide.



Une autre source de revenus pourrait être les produits de l'unité d'élevage MSN, par exemple les œufs de MSN, les 5-DOL ou les pupes de MSN. Les produits de l'élevage des MSN importent pour d'autres installations MSN ou pour les nouveaux arrivants MSN. Ils sont généralement vendus à de faibles volumes de vente en raison des opportunités de marché limitées mais sont vendus à des prix de vente élevés.



L'utilisation des excréments

Comparativement à l'utilisation des asticots dans l'alimentation animale, la recherche sur l'utilisation de l'excrément n'est pas aussi avancée. Cependant, des essais de croissance avec diverses cultures agricoles montrent des résultats prometteurs lorsque l'excrément est utilisé comme amendement du sol. Qu'il s'agisse d'un amendement du sol, d'un substitut d'engrais synthétique ou d'un remplacement de la tourbe dans l'horticulture, l'excrément semble convenir indépendamment de la matière première initiale et du fait qu'elle ait subi un processus de compostage avant application ou non^{9,10,11}. L'adéquation de l'excrément frais a également été testée pour la production de biogaz. Les résultats montrent que les potentiels de biométhane sont similaires à ceux des substrats conventionnels utilisés dans la digestion anaérobie, avec des niveaux légèrement plus élevés que ceux attendus pour le fumier de bovins mais inférieurs aux valeurs attendues pour les déchets alimentaires¹².

Des études montrent que l'excrément peut également être utilisé comme substitut des ingrédients végétaux dans l'alimentation des poissons. De bons taux de croissance ont été obtenus lors d'essais d'alimentation avec des poissons-chats ou des tilapias. La matière première initiale est bien sûr d'une grande importance dans ce cas. L'utilisation d'excrément dans l'alimentation des tilapias pourrait même s'avérer bénéfique en améliorant les composants de l'immunité innée et la résistance des tilapias aux infections bactériennes¹³.

⁹ Menino R, Felizes F, Castelo-Branco M, et al. (2021) Agricultural value of Black Soldier Fly larvae frass as organic fertilizer on ryegrass. *Heliyon* 7: e05855.

¹⁰ Setti L, Francia E, Pulvirenti A, et al. (2019) Use of black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.), Diptera: Stratiomyidae) larvae processing residue in peat-based growing media. *Waste Management* 95: 278-288.

¹¹ Beesigamukama D, Mochoge B, Korir NK, et al. (2020) Exploring Black Soldier Fly Frass as Novel Fertilizer for Improved Growth, Yield, and Nitrogen Use Efficiency of Maize Under Field Conditions. *Frontiers in Plant Science* 11.

¹² Elissen HJH, Hol S and van der Weide R. (2019) Methane production from insect, worm and mushroom waste streams and combinations. Wageningen University & Research.

¹³ Yildirim Aksoy M, Eljack R, Schrimsher C, et al. (2020) Use of dietary frass from black soldier fly larvae, *Hermetia illucens*, in hybrid tilapia (Nile x Mozambique, *Oreochromis niloticus* x *O. mozambicus*) diets improves growth and resistance to bacterial diseases. *Aquaculture Reports* 17: 100373.

Commercialisation des produits LMSN

L'une des options est la commercialisation directe de larves fraîches aux clients. Étant donné que les larves continuent à se développer même après la récolte et se transforment rapidement en pré-pupes et en pupes, il est nécessaire de les transporter et de les nourrir immédiatement. Aucun coût de transformation supplémentaire n'est requis. Le prix de vente est donc plus bas mais peut inclure des frais de livraison supplémentaires. Les clients potentiels sont par exemple les éleveurs de poulets ou de poissons situés à proximité de l'installation de traitement des biodéchets par la MSN. Pour avoir un revenu régulier, un bon réseau et une bonne organisation avec les agriculteurs sont essentiels, de sorte que les larves soient ramassées (ou livrées) sur une base quotidienne et que les pertes soient minimisées.



En remplaçant jusqu'à 30% des aliments commerciaux pour poulets ou jusqu'à 50% des aliments commerciaux pour poissons-chats, on obtient une performance de croissance similaire ou supérieure des animaux. Sur la base des LMSN et des prix des aliments commerciaux en 2021, le remplacement des aliments commerciaux par les LMSN permet de réaliser des économies. Pour plus de détails, consultez nos fiches d'information.



Poulets



Poisson-chats

Le post-traitement facilite le stockage et le transport et donc les activités de commercialisation des produits LMSN. Ces avantages augmentent les prix de vente des produits LMSN et permettent d'amortir les fluctuations de la demande. Dans le même temps, la post-transformation augmente les coûts opérationnels. Par conséquent, pour une entreprise prospère, il est crucial de sélectionner le bon marché cible.

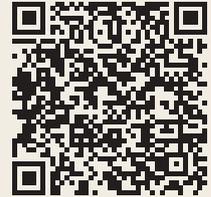
Si votre principale source de revenus est la vente de larves, nous vous recommandons de faire une étude de marché avant de vous lancer dans l'exploitation du MSN. En général, il existe deux grands marchés, le secteur de l'alimentation des animaux d'élevage et celui de l'alimentation des animaux de compagnie. Il est utile d'étudier les marchés potentiels en effectuant les tâches suivantes :

1. Définir les produits de substitution potentiels
2. Quantifier la taille du marché de ces produits de substitution (ventes en kg par mois)
3. Quantifier la valeur marchande des produits de substitution (ventes en USD par mois)
4. Vérifiez la fourchette de prix des produits les plus populaires sur le marché
5. Vérifiez les réglementations qui s'appliquent aux produits

Les produits de substitution potentiels sont des produits similaires aux produits LMSN tels que d'autres produits à base d'insectes ou des pellets contenant du soja ou de la farine de poisson, qui pourraient être remplacés par de la farine MSN. En fonction de l'environnement du marché, de nombreuses informations peuvent être trouvées en ligne. Pour les marchés plus informels, il peut être utile de parler directement aux détaillants du marché.



Nous avons réalisé une étude de marché à l'est de Java, en Indonésie, où nous avons examiné le secteur des aliments pour volaille et aquaculture ainsi que le marché local des pieds pour animaux de compagnie. La méthodologie et les résultats sont décrits dans un rapport détaillé (en anglais).



Les frais d'entrée comme revenu supplémentaire

Une source potentielle de revenu pour les installations de traitement des déchets organiques en général et pour les installations MSN en particulier est la perception de frais de "traitement". Ces frais sont comparables au frais de déversement dans une décharge, où des frais sont perçus pour l'acceptation des déchets. Selon le niveau des frais, ils peuvent avoir un impact important sur la compétitivité et la viabilité financière de l'installation MSN, car elle peut subventionner les coûts de production. Néanmoins, la qualité des déchets livrés doit toujours être garantie et assurée afin d'éviter une contamination importante ou les coûts supplémentaires d'une étape nécessaire de tri des déchets. Les taux de ces frais de traitement ou frais d'entrée varient considérablement d'une région à l'autre. Les installations de compostage dans les pays à revenu faible et intermédiaire, par exemple, facturent entre 5,- et 50,- USD/tonne de déchets qu'elles acceptent à l'entrée. L'augmentation de la demande d'un déchet particulier peut également avoir un impact important sur les prix. En Allemagne, les frais d'entrée sont passés de 50 USD/tonne à zéro dans les régions où certains sites de gestion des déchets se font concurrence pour les déchets organiques.



Une étude de cas pour Surabaya montre le potentiel commercial de divers produits LMSN sur le marché des aliments pour animaux de compagnie. Retrouvez tous les détails dans notre fiche d'information (en anglais).





Divers produits LMSN ont été testés sur des poissons et des oiseaux d'ornement. Les résultats indiquent que les produits LMSN peuvent rivaliser avec les produits alimentaires conventionnels pour animaux de compagnie en termes de qualité et de prix. Retrouvez tous les détails dans notre fiche technique (en anglais).



Produits LMSN

Sur la base de l'étude de marché, plusieurs produits LMSN peuvent avoir le potentiel de créer des revenus. La qualité et l'utilisation des produits LMSN dépendent de l'ampleur du traitement ultérieur. Alors que les larves fraîches ne subissent aucun traitement supplémentaire, les larves séchées nécessitent une étape de séchage. De même la farine et l'huile de MSN nécessitent une étape de fractionnement et de raffinage en plus de l'étape de séchage. Le Tableau 5-1 donne un aperçu des produits LMSN, des étapes de post-traitement requises, des applications et des paramètres de qualité, notamment l'activité de l'eau, la durée de conservation et les paramètres nutritionnels. L'activité de l'eau est une mesure de l'eau libre dans le produit qui est disponible pour les micro-organismes. Une activité de l'eau inférieure à 0,6 inhibe la croissance de toutes les bactéries et levures. Une faible activité de l'eau et une faible teneur en matières grasses prolongent la durée de conservation des produits LMSN. Les LMSN se composent principalement de protéines et de graisses, c'est pourquoi seuls ces paramètres nutritionnels sont indiqués dans le tableau. La teneur en protéines et en graisses est indiquée dans une fourchette, car ces paramètres dépendent de la source de déchets utilisée pour nourrir les larves. En particulier, la teneur en matières grasses peut varier fortement entre 20 et 40% dans les larves séchées, ce qui a également un effet sur le pourcentage de protéines des larves séchées. Les larves fraîches et les larves séchées peuvent être utilisées directement comme produits alimentaires, tandis que la farine et l'huile de MSN sont des ingrédients pour, par exemple, les granulés alimentaires.

Tableau 5-1 : Aperçu des produits LMSN.



Produit	Larves fraîches	Larves séchées	Farine LMSN	Huile LMSN
Processus	Aucun	Séchage	Séchage + Moulinage	Séchage + Moulinage
Protéines %*	6 – 10	30 – 40	50 – 65	0
Graisse %*	6 – 10	20 – 40	8 – 15	100
Activité de l'eau	0.9	0.4	0.3	-
Conservation	1–2 jours	4 mois	6 mois	2 mois
Transport/Stockage	Boîte ouverte	Emballage scellé	Emballage scellé	Emballage scellé
Application	Alimentation directe	Alimentation directe	Matière première	Matière première

* valeurs basées sur le poids humide

Séchage

L'élimination de l'eau et la réduction de l'activité de l'eau à 0,4 (bien en dessous de la limite supérieure de 0,6 mentionnée ci-dessus) inhibe l'activité microbienne et enzymatique et permet de conserver le produit jusqu'à 4 mois. Par l'évaporation de l'eau, les nutriments restants dans le produit deviennent plus concentrés, ce qui signifie que les larves séchées ont une teneur en protéines plus élevée par poids vendable par rapport aux larves fraîches.

Les larves séchées peuvent être vendues directement comme produit alimentaire. L'aspect visuel des larves séchées est un aspect clé qui peut déterminer leur valeur marchande, notamment pour le marché des aliments pour animaux de compagnie. La couleur, la texture et la forme caractéristiques des larves séchées dépendent de la technique de séchage utilisée. Nous présentons ici quatre méthodes de séchage différentes, qui peuvent être classées en séchage rapide et lent. Lors d'un séchage rapide, l'eau contenue dans les larves s'évapore rapidement, ce qui entraîne une augmentation de la pression à l'intérieur des larves et finalement une libération instantanée de la pression, et cela donne des larves gonflées et croustillantes, appelées "pop-larves". Le séchage par micro-ondes ou le rôtissage sont des méthodes de déshydratation rapide et donnent des larves poplarves. Les larves rôties ont généralement une couleur plus foncée (voir Figure 5-2). Cette couleur plus foncée résulte des réactions induites par la chaleur lors du processus de torréfaction, qui entraînent des changements de couleur. En revanche, la cuisson au micro-ondes est plus douce, les réactions thermiques sont minimales et les larves conservent une couleur jaune pâle. Au cours des processus de déshydratation lente comme le séchage au four, l'eau s'évapore lentement et les coquilles des larves rétrécissent régulièrement jusqu'à atteindre un poids constant. Le produit est moins volumineux, et sa texture est dure et rigide (voir Figure 5-2). Le produit plus volumineux obtenu par déshydratation rapide s'est avéré plus attrayant pour la plupart des clients et a donc une valeur marchande plus élevée.



Figure 5-2 : Produits à base de larves séchées.

Outre l'aspect visuel différent des produits séchés, les méthodes de séchage se distinguent également en termes de paramètres de processus, qui sont énumérés dans le Tableau 5-2. Le chauffage par micro-ondes nécessite un raccordement électrique, mais c'est un procédé simple et efficace sur le plan énergétique. Nous décrivons ici le processus de chauffage par micro-ondes à l'aide d'un simple micro-ondes de cuisine, qui convient bien aux applications à petite échelle car il nécessite un investissement et un espace minimaux. Cependant, il existe également des micro-ondes industriels, qui nécessitent un investissement plus important mais permettent de traiter des lots plus importants. Tout comme les grains de café ou les noix, les LMSN peuvent être torréfiées dans un séchoir à tambour. Un séchoir à tambour est équipé d'un tambour bien isolé thermiquement, d'un ventilateur d'extraction, d'une structure à ailettes à l'intérieur du tambour pour retourner les larves ainsi que d'un brûleur efficace pour chauffer le tambour par le bas. Une alternative à petite échelle du séchage à tambour est la torréfaction du sable dans une large poêle wok, similaire à la technique de torréfaction du sable largement utilisée par les vendeurs de nourriture de rue dans les pays asiatiques et subsahariens pour fabriquer des snacks à valeur ajoutée à partir de céréales ou de noix. Le sable empêche les brûlures et facilite un chauffage uniforme, car il sert de moyen de transfert de chaleur. Par rapport au rôtissage dans un tambour, l'utilisation de l'énergie est moins efficace lors du rôtissage dans un wok ouvert. Lorsqu'on utilise un four, les larves sont lentement déshydratées à 65 °C. Ce séchage à température plutôt basse empêche la perte de nutriments précieux et évite de cuire ou de brûler les larves. Un avantage du séchage au four est son fonctionnement passif, qui réduit les besoins en main-d'œuvre.

Tableau 5-2 : Paramètres liés au processus des différentes méthodes de séchage.



Paramètre	Séchage par micro-ondes	Rôtissage (tambour)	Rôtissage (poêle)	Séchage au four
Source d'énergie	Électricité	Gaz	Gaz	Gaz
Chaleur moyenne	Ondes E/M	Air chaud	Sable	Air chaud
Température du matériau	Max. 180 °C	Max. 140 °C	Max. 180 °C	Max. 65 °C
Taille du lot	0.25 kg	5 kg	1 kg	30 kg
Temps de séchage	15 minutes	40 minutes	20 minutes	24 hours
Débit	1.0 kg/h	7.5 kg/h	3.0 kg/h	1.3 kg/h
Utilisation de l'espace	0.4 m ²	2.5 m ²	0.4 m ²	2 m ²
Énergie/kg de larves séchées *	3.7 kWh	8.2 kWh	12.2 kWh	10.9 kWh

* La consommation d'énergie est présentée en kWh. 1 kg de gaz équivaut à 13,6 kWh.

Fractionnement et raffinage

La teneur élevée en matières grasses des larves séchées peut être défavorable, car les aliments normalisés pour animaux exigent généralement une teneur en matières grasses inférieure à 10%. En outre, une teneur élevée en matières grasses rend le produit plus sensible à l'oxydation des lipides, ce qui peut entraîner des saveurs et des textures désagréables. En outre, la transformation ultérieure des LMSN séché en granulés ou en d'autres produits transformés peut s'avérer difficile, car des quantités élevées de matières grasses peuvent provoquer des bavures et bloquer les machines. La graisse dans les larves séchées peut être extraite mécaniquement à l'aide d'une presse à vis généralement utilisée pour les noix et les graines. Ce processus est appelé fractionnement, car les larves sont divisées en une fraction protéique (farine de MSN) et une fraction grasse (huile de MSN). Dans une première étape, la presse à vis extrait la graisse des larves et produit un tourteau de presse et un liquide de presse. Une deuxième étape de raffinage permet d'obtenir la farine de MSN à partir du tourteau de presse et de l'huile de MSN à partir du liquide de presse. En raison de sa teneur élevée en protéines, la farine de MSN peut remplacer la farine de poisson ou de soja. L'huile de MSN contient des acides gras précieux et peut remplacer l'huile de noix de coco ou de palmiste. Le fractionnement améliore encore la durée de conservation de la farine de MSN, jusqu'à 6 mois. La farine de MSN et l'huile de MSN sont des matières premières qui peuvent être utilisées pour différents produits finis et peuvent être transformées par granulation



Le traitement par voie humide consiste à presser les LMSN sans séchage préalable, à l'aide d'une presse à vis pour noix. Pour plus de détails sur ce procédé, consultez notre fiche technique (en anglais).



Pour la formulation d'aliments avec de la farine de MSN, il est surtout important de prendre en compte la qualité des protéines. La qualité des protéines dépend de la teneur en acides aminés. Les acides aminés sont les éléments constitutifs des protéines et chaque animal a besoin de quantités spécifiques de certains acides aminés dans son alimentation pour un développement sain. Les sources de protéines telles que la farine de poisson ou la farine de soja ont une teneur en acides aminés différente de celle de la farine de MSN. Lors de la formulation d'un aliment à base de farine de MSN, il est utile d'analyser la teneur en acides aminés et de la comparer aux sources de protéines couramment utilisées, comme la farine de poisson.

La qualité et l'application de l'huile de MSN dépendent de sa composition en acides gras, car chaque type d'huile est composé de différents acides gras. L'huile de MSN contient généralement des quantités élevées d'acide laurique, ce qui la rend comparable à l'huile de palmiste ou à l'huile de coco. La composition en acides gras est influencée par la source de déchets utilisée pour nourrir les larves. Ces différences dans la composition des acides gras peuvent devenir visibles dans la consistance de l'huile. Ainsi, l'huile MSN peut se présenter sous forme solide ou liquide à température ambiante en fonction de la composition en acides gras.



Un exemple d'analyse d'acides aminés et d'acides gras, ainsi que leur comparaison avec d'autres sources de protéines et d'autres huiles respectivement, sont décrits dans notre fiche d'information (en anglais).



En raison des similitudes entre l'huile de MSN et l'huile de coco, elle peut être utilisée comme ingrédient pour fabriquer une barre de savon. Vous trouverez tous les détails sur la fabrication d'une barre de savon dans notre fiche technique (en anglais).



5.2 Activités dans l'unité de post-traitement

La Figure 5-3 illustre le diagramme de flux des options de post-traitement et les bilans massiques pour chaque étape de traitement. Les larves assainies contiennent environ 75% d'eau et les protéines et les graisses représentent chacune environ 10% du poids humide. Lors de l'étape de séchage, l'eau est évaporée, ce qui entraîne une réduction de masse d'environ 70%. Les nutriments restants se concentrent davantage, ce qui donne une teneur en protéines comprise entre 30 et 40% et une teneur en graisses comprise entre 20 et 40% du poids sec. Par fractionnement, les larves séchées sont pressées en un tourteau (environ 70%) et en huile brute de MSN (environ 20%). Pendant le pressage à chaud, une partie de l'eau restante s'évapore (environ 10%). Le tourteau de presse est ensuite broyé pour obtenir une farine fine. Au cours de cette étape de raffinage, le bilan massique ne change pas, car seule la taille des particules est réduite. Le raffinage de l'huile brute de MSN réduit encore la masse de l'huile de 40%, car les solides contenus dans l'huile sont filtrés. Chacune des étapes de traitement est expliquée en détail dans ce chapitre.

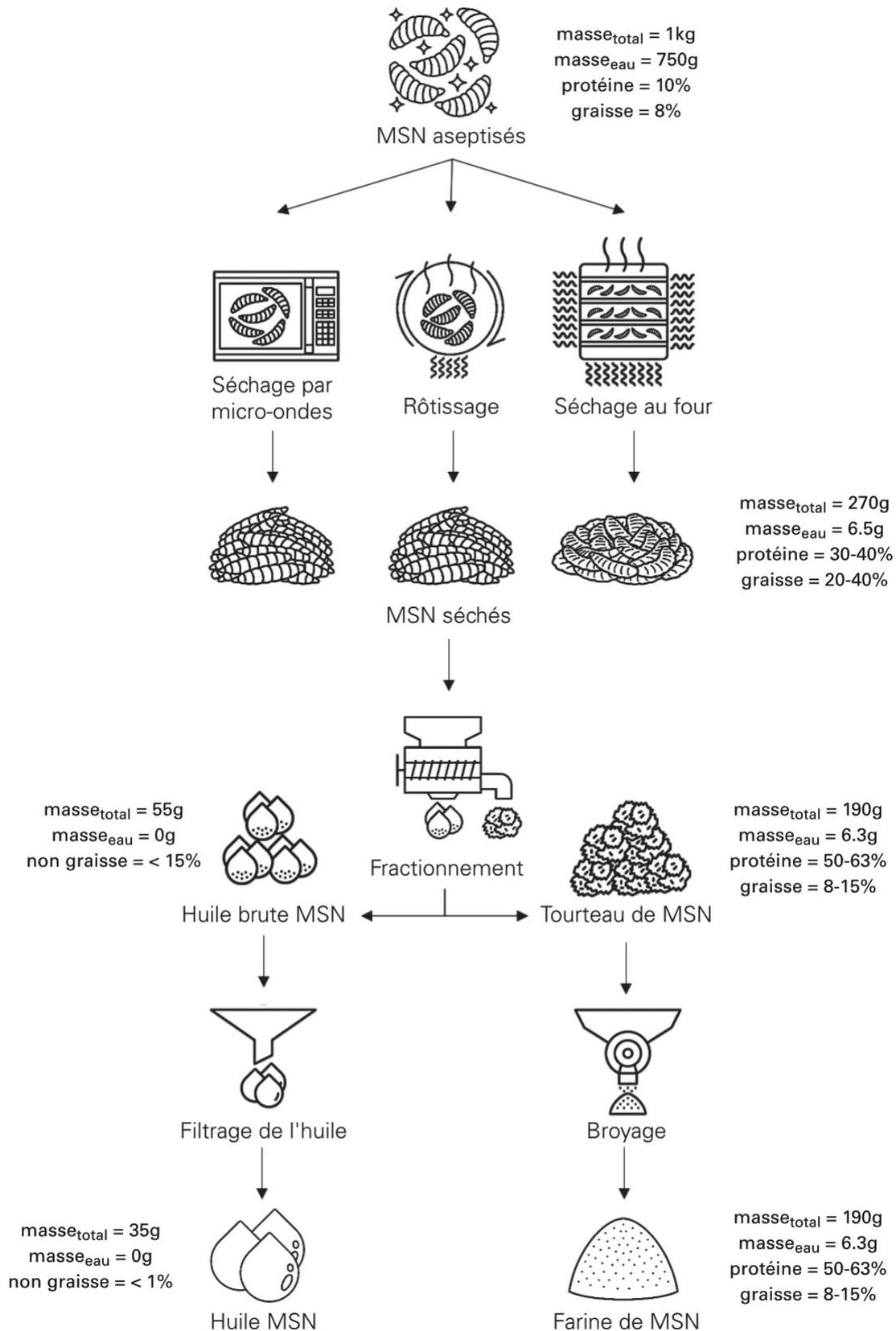


Figure 5-3 : Diagramme du processus et bilan massique des larves du post-traitement des MSN.

5.2.1 Séchage par micro-ondes

Nous illustrons le fonctionnement du micro-ondes avec un simple micro-ondes de cuisine. Cependant, les principes décrits ici sont également applicables à des micro-ondes de plus grande taille.

Matériel et équipement requis :



Micro-ondes
32 L, 1000 W
Capacité: 1 kg/h



Assiette en céramique



Balance pour vrac
Max. capacité: 35 kg
Précision: ± 0.5 g



Gants résistants à la chaleur



Conteneur de stockage



Cuillère à retourner

Tâches :

Étape 1 Peser 250 g de LMSN assainies sur une assiette en céramique pour micro-ondes et répartir uniformément les larves.

Étape 2 Placez l'assiette dans le micro-ondes et commencez à sécher en 3 cycles de 5 minutes - à la puissance la plus élevée (1000 Watt). Entre chaque cycle de 5 minutes, ouvrez la micro-ondes pendant



Étape 1 : Larves réparties uniformément sur la plaque.



Étape 2 : Minuteur réglée sur 5 minutes.

30 secondes, laissez la vapeur s'échapper et retournez les larves avec la cuillère à retourner. Trop de vapeur dans le micro-ondes peut rendre les larves humides et mouillées, et le séchage prend plus de temps si vous ne laissez pas sortir la vapeur. Au cours du dernier cycle, vous entendrez le bruit typique "d'éclatement".

Étape 3 Vérifiez si la qualité du produit correspond aux 2 indicateurs suivants :

- Indicateur 1 : les larves ont une forme bouffie.
- Indicateur 2 : les larves ont une texture croustillante et sèche. Lorsque vous écrasez la larve avec vos doigts, elle se casse facilement en petits morceaux.

Si ces indicateurs ne sont pas atteints, et que vos larves sont encore humides ou mouillées, remettez le micro-ondes en marche pour un cycle supplémentaire de 2 à 3 minutes - à la puissance maximale. Lorsque les deux indicateurs sont atteints, retirez les larves du micro-ondes.

Étape 4 Pesez les larves séchées de chaque lot et notez le poids dans la fiche de suivi (voir Annexe F). Laissez refroidir les pop-larves avant de les stocker dans un récipient fermé. Étiquetez le récipient avec la date de production.



Étape 3 : Vérification de la texture des larves.



Étape 4 : Peser et stocker les larves séchées.



MESURES DE PROTECTION POUR LES TRAVAILLEURS :

- Utilisez des gants, des lunettes de protection et des vêtements de protection pendant les activités avec le micro-ondes.



POINTS DE CONTRÔLE ET DE COLLECTE DES DONNÉES :

- Mesurez le poids des larves par lot avant et après le séchage et notez-le sur la fiche d'enregistrement.



Le **module sur le séchage par micro-ondes de la série de vidéos e-learning** sur le traitement des biodéchets par la MSN est disponible via ce lien (en anglais).



5.2.2 Rôtissage

L'opération de torréfaction est décrite sur la base d'une machine à torréfier le café, produite à Surabaya, en Indonésie. Le processus fonctionnera de manière similaire pour d'autres séchoirs rotatifs. Lors de l'achat ou de la construction d'un séchoir à tambour, il est important que la machine soit équipée d'un tambour bien isolé thermiquement, d'un ventilateur d'extraction, d'une structure à ailettes à l'intérieur du tambour pour retourner les larves ainsi que d'un brûleur efficace.

Matériel et équipement requis :



Torréfacteur à café

Moteur: 350 W
Ventilateur: 700 W
Volume du tambour: 0.46 m³
Capacité: 7.5 kg/h



Bouteille de gaz



Gants résistant à la chaleur



Balance pour vrac
Max. capacité: 150 kg
Précision: ± 50 g



Bac

(60 x 40 x 12 cm)



Conteneur de stockage

Tâches :

- Étape 1** Préparez le séchoir à tambour pour qu'il fonctionne. Pour cela, fixez la bouteille de gaz au brûleur du tambour sécheur et branchez la machine à l'électricité. Allumez le panneau de commande de la machine et démarrez la rotation, le ventilateur d'extraction et le chauffage. Réglez la température à 140 °C, et préchauffez le tambour pendant qu'il tourne et que le ventilateur d'extraction est en marche.
- Étape 2** Dès que la température a atteint 140 °C, ajoutez 5 kg de larves dans le tambour via l'entonnoir d'entrée. Laissez les larves rôtir pendant environ 40 minutes au total. Vous remarquerez que la température va baisser au début jusqu'à environ 80-90 °C. Au fur et à mesure que l'eau s'évapore, la température remonte - c'est à ce moment que le processus de grillage commence. Vous pouvez vérifier le processus en prélevant un échantillon de temps en temps.



Étape 2 : Ajout des larves dans le tambour via l'entonnoir.

Étape 3 : Vider le tambour par la porte à rabat avant.

Étape 3 Arrêtez le processus lorsque les deux indicateurs suivants sont réunis :

- Indicateur 1 : les larves doivent avoir une forme gonflée
- Indicateur 2 : les larves doivent avoir une texture croustillante et sèche. Lorsque vous écrasez la larve avec vos doigts, elle se casse facilement en petits morceaux.

Ces indicateurs sont généralement rencontrés après que le séchoir ait fonctionné pendant 5-10 min, après que la température ait à nouveau atteint 140 °C. Retirez les larves du séchoir en ouvrant la porte du volet frontal.

Étape 4 Pesez les larves séchées par lot et notez le poids sur la fiche de suivi. Laissez refroidir les pop-larves avant de les stocker dans un récipient fermé. Étiquetez le récipient avec la date de production.



Le **module sur la torréfaction à tambour de la série de vidéos e-learning** sur le traitement des biodéchets par la MSN est disponible via ce lien (en anglais).



Une autre alternative à petite échelle de la torréfaction au tambour, qui tient également compte des de La disponibilité très limitées des ressources, est la technique de torréfaction au sable à l'aide d'une poêle wok. Le sable idéal pour cette méthode est le sable de plage lavé dont la taille des particules est comprise entre 0,8 et 1,5 mm. Nous recommandons de changer le sable après les cycles de séchage. Un sable brûlé et sombre donne des larves brûlées et sombres.

Matériel et équipement requis :



Configuration de poêle wok

Diamètre: 30 cm
Capacité: 3 kg/h



Spatule à maille



Spatule



Gants résistant à la chaleur



Conteneur de stockage



Sable de plage lavé

Particules: 0.8-1.5 mm



Balance pour vrac

Max. capacité: 35 kg
Précision: ± 0.5 g



Briquet

Tâches :

- Étape 1** Ajoutez 1 kg de sable dans la poêle wok, allumez la cuisinière à gaz et préchauffez le sable pendant 15 minutes.
- Étape 2** Ajoutez 1 kg de LMSN assainies au sable et faites rôtir les larves pendant 15 à 20 minutes tout en remuant continuellement. Pendant les 5 dernières minutes, vous verrez les larves gonfler et vous entendrez le bruit typique de l'éclatement. Vous remarquerez la fin du processus lorsque le "bruit sec (éclatement)" sera moins fréquent.



Étape 1 : Préchauffer 1 kg de sable dans une poêle wok.



Étape 2 : Ajouter 1 kg de LMSN au sable chaud.

- Étape 3** Arrêtez le processus lorsque les deux indicateurs suivants sont réunis :

- Indicateur 1 : les larves doivent avoir une forme gonflée
- Indicateur 2 : les larves doivent avoir une texture croustillante et sèche. Lorsque vous écrasez la larve avec vos doigts, elle se casse facilement en petits morceaux.

Si ces indicateurs ne sont pas respectés et que vos larves sont encore humides ou mouillées, continuez à remuer et à rôtir.

Étape 4 Retirez les larves de la casserole à l'aide de la spatule en maille et pesez les larves séchées par lot et notez le poids dans la fiche de suivi. Laissez refroidir les pop-larves avant de les stocker dans un récipient fermé. Étiquetez le récipient avec la date de production.



Étape 4 : Retirer les larves séchées du wok à l'aide d'une spatule à mailles. En secouant la spatule à mailles, on retire le sable attaché aux larves.



MESURES DE PROTECTION POUR LES TRAVAILLEURS :

- Utilisez des gants de cuisine, des lunettes de protection et des vêtements de protection pendant les activités de rôtissage.



POINTS DE CONTRÔLE ET DE COLLECTE DES DONNÉES :

- Mesurez le poids des larves par lot avant et après le séchage et notez-le sur la fiche de suivi.



Le **module sur la torréfaction au sable de la série de vidéos e-learning** sur le traitement des biodéchets par la MSN est disponible via ce lien (en anglais).



5.2.3 Séchage au four

Dans un simple four chauffé au gaz, comme celui illustré ici, la circulation de l'air ne suffit pas à assurer une répartition uniforme de la chaleur pour le séchage. Il est donc important de déplacer les plateaux à l'intérieur du four, ceci permet d'assurer un séchage uniforme. En général, les LMSN sur les plateaux proches du bas et du haut sèchent plus rapidement que les LMSN sur les plateaux du milieu. Par conséquent, déplacez les plateaux du haut ou du bas vers le milieu du four. Idéalement, il serait encore mieux d'installer un ventilateur à l'intérieur du four, qui assure une répartition uniforme de la chaleur dans toutes les zones du four.

Matériel et équipement requis :



Four avec thermostat
Thermostat: TGW IL-80EM
Chauffage: Poêle (RI 511A)
Capacité: 1.3 kg/h



Balance pour vrac
Max. capacité: 150 kg
Précision: \pm 50 g



Plateau en maille
Taille de maille: 4 mm
Dimensions: 65 x 45 x 3.5 mm



Bouteille de gaz



Gants résistant à la chaleur



Conteneur de stockage

Tâches :

- Étape 1** Démarrez le four en connectant la bouteille de gaz à la cuisinière du four, commencez à chauffer le four et réglez le thermostat sur 65 °C.
- Étape 2** Ajoutez 3 kg de larves assainies dans chacun des 10 plateaux grillagés et insérez-les dans le four préchauffé. Les larves sont séchées pendant une première et longue session de nuit de 16 heures, une session matinale de 4 heures et une dernière session d'après-midi de 4 heures. Lors de ces trois sessions, les plateaux sont interchangeables.



Étape 1 : Régler le thermostat sur 65 °C.

Étape 2 : Introduire les plateaux grillagés avec les LMSN aseptisées dans le four.

Étape 3 Arrêtez le processus après 24h de séchage et vérifiez si les indicateurs suivants sont respectés :

- les larves ont une texture dure et sèche
- les larves ont une forme plate et rétrécie

Étape 4 Pesez les larves séchées par lot (somme de tous les plateaux) et notez le poids dans la fiche de suivi. Laissez refroidir les larves avant de les stocker dans un récipient fermé. Étiquetez le récipient avec la date de production.



MESURES DE PROTECTION POUR LES TRAVAILLEURS :

- Utilisez des gants de cuisine, des lunettes de protection et des vêtements de protection pendant les activités de séchage au four.



POINTS DE CONTRÔLE ET DE COLLECTE DES DONNÉES :

- Mesurez le poids des larves par lot (somme de tous les plateaux) avant et après le séchage et notez-le sur la fiche d'enregistrement.



Le **module sur la séchage au four de la série de vidéos e-learning** sur le traitement des biodéchets par la MSN est disponible via ce lien (en anglais).



5.2.4 Fractionnement

La graisse des larves séchées peut être extraite mécaniquement à l'aide d'une presse à vis. On obtient alors un tourteau de presse, la MSN et une huile brute de MSN. Le tourteau de presse du MSN est un matériau sec mais rugueux, riche en protéines. L'huile brute MSN est appelée "brute" car, outre la graisse, elle contient également des substances, principalement des protéines et des fibres.

Matériel et équipement requis :



Presse à vis
Modèle: Vevor DL - ZYJ10B
Capacité: 5 kg/h



Bac pour le tourteau de presse
(55 x 35 x 12 mm)



Récipient pour le liquide de presse
5 L, inox



Tamis
Taille de maille: 0.5 mm, inox



Clé Allen



Balance pour vrac
Max. capacité: 35 kg
Précision: ± 0.5 g

Tâches :

- Étape 1** Préparez la presse à vis pour l'opération. Mettez la presse à vis en marche et chauffez-la à 100 °C. Placez les récipients sous les ouvertures respectives : le récipient de collecte du tourteau de presse sous la grande sortie de la presse, le récipient de collecte de l'huile sous les petites ouvertures de la sortie de la vis. Placez un tamis sur le récipient de collecte de l'huile. Faites tourner la vis en appuyant sur le bouton de serrage.
- Étape 2** Pesez les larves séchées que vous prévoyez de presser à l'aide d'une balance pour vrac. Ajoutez les larves dans la trémie, petit à petit. En évitant de surcharger la trémie, on évite ainsi de bloquer la presse à vis et on augmente ainsi le débit horaire.
- Étape 3** Une fois que toutes les larves ont été ajoutées dans la trémie, attendez encore quelques minutes jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de tourteau de presse ni de liquide sortant de la machine, puis arrêtez la presse à vis (en appuyant sur le bouton d'arrêt). Videz le matériau restant de la presse en inversant le sens de rotation de la vis (bouton de nettoyage).



Étape 1 : Mise en place de la presse à vis.



Étape 2 : Ajout petit à petit des larves séchées dans la trémie.



Étape 3 : Attendre jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de tourteau de presse.

Étape 4 Peser le tourteau obtenu et peser le liquide de presse et les noter sur la fiche de suivi. Passez directement à l'étape de raffinage ou stockez temporairement le tourteau et le liquide de presse (huile brute) dans des récipients fermés appropriés. Étiquetez les récipients en indiquant la date de production.

Étape 5 Nous recommandons une étape de nettoyage après chaque utilisation de la presse à vis car cela permet d'assurer la qualité et la sécurité du produit, en évitant qu'il y ait des restes d'une ancienne huile brute susceptible de contaminer le nouveau lot. Un nettoyage régulier après chaque lot prolonge également la durée de vie de l'équipement. Pour le nettoyage, attendez que la machine ait refroidi, puis il suffit de desserrer et de retirer les vis du tube à l'aide d'une clé Allen et de nettoyer toutes les pièces avec de l'eau et du détergent.



MESURES DE PROTECTION POUR LES TRAVAILLEURS :

- Utilisez des gants de cuisine, des lunettes de protection et des vêtements de protection pendant les activités de séchage au four.



POINTS DE CONTRÔLE ET DE COLLECTE DES DONNÉES :

- Mesurez le poids des larves séchées par lot avant le pressage et mesurez le poids du tourteau de presse et de l'huile brute MSN après le pressage du lot entier. Notez les poids dans la fiche de suivi.



Le **module sur le fractionnement au four de la série de vidéos e-learning** sur le traitement des biodéchets par la MSN est disponible via ce lien (en anglais).



5.2.5 Raffinage

Les deux produits issus du fractionnement, le tourteau de pression du MSN et l'huile brute du MSN, doivent être raffinés davantage. Le tourteau de pression du MSN nécessite une étape de broyage pour réduire la taille des particules. Comme l'huile brute de MSN contient des solides, elle doit être raffinée davantage par filtrage ou décantation pour augmenter sa pureté.

Grinding

Pour garantir une granulométrie fine et homogène de la farine protéique LMSN, le tourteau de pressage sec doit être broyé à une taille de maille de 100 à 200 μm . Le tourteau de pressage sec a une texture rugueuse, mais si vous avez l'intention d'utiliser des extrudeuses et des granulateurs, ceux-ci exigent une matière première fine. C'est pourquoi le broyage est une étape de raffinage essentielle pour obtenir une matière première de haute qualité.

Matériel et équipement requis :



Moulin à café

Moteur: 350 W
Ventilateur: 700 W



Tissus anti-poussière



Bac pour le tourteau de presse

(55 x 35 x 12 mm)



Conteneur de stockage



Balance pour vrac

Max. capacité: 35 kg
Précision: ± 0.5 g

Tâches :

Étape 1 Préparez le broyeur pour l'opération. Placez des récipients sous les deux sorties du broyeur : La sortie principale et la sortie d'échappement. Couvrez les deux sorties avec un sac en tissu et mettez le broyeur en marche.



Étape 1 : Installation du broyeur.



Étape 2 : Ajout du tourteau de presse au broyeur.



Étape 3 : Collecte de la farine de MSN.

Étape 2 Ajoutez continuellement du tourteau de presse sec dans la trémie jusqu'à ce que tout le tourteau de presse ait été broyé.

Étape 3 Arrêtez le broyeur et retirez le sac en tissu du broyeur.

Étape 4 Pesez la farine MSN et notez-le sur la fiche de suivi. Conservez la farine dans un récipient fermé et étiquetez-le avec la date de production.



MESURES DE PROTECTION POUR LES TRAVAILLEURS :

- Utilisez des gants, des lunettes de protection et des vêtements de protection pendant les activités de broyage.



POINTS DE CONTRÔLE ET DE COLLECTE DES DONNÉES :

- Mesurer le poids de la farine de MSN.

Raffinage de l'huile

Les solides peuvent représenter jusqu'à 40% de la masse totale de l'huile brute de MSN. Les solides sont principalement constitués de fibres et de protéines et peuvent être séparés de l'huile de MSN par une étape de filtration ou de décantation. Comme l'huile de MSN peut être solide à température ambiante, le raffinage doit être effectué directement après le pressage, lorsque l'huile brute est encore chaude. Si l'huile est solide, il n'est pas possible d'utiliser la filtration ou la décantation pour la séparation. Il faut alors chauffer légèrement l'huile pour qu'elle devienne liquide. Le processus de raffinage de l'huile est important lorsque vous souhaitez inclure l'huile MSN dans d'autres produits comme les granulés MSN ou le savon MSN.

A) Filtration de l'huile

La filtration permet de récupérer tous les solides lorsque l'huile passe à travers un filtre. Une installation simple et passive utilisant par exemple des filtres à café peut séparer les solides de l'huile. Le processus de filtration peut être assisté par une pompe à vide, qui peut augmenter la vitesse de filtration. La filtration est un processus lent, qui peut prendre jusqu'à 15 heures par kg d'huile brute de MSN. Par conséquent, la filtration n'est recommandée que pour les petites quantités. Pour les quantités plus importantes, l'huile peut devenir solide après un certain temps, ce qui arrête le processus de filtration.

Matériel et équipement requis :



Filtre à café



Entonnoir en plastique



Récipient de stockage d'huile
Étanche à la lumière



Pompe à vide
Moule DOA-P504-BN



Papier filtre
Taille des pores 120 µm



Erlenmeyer



Entonnoir Buchner

Tâches :

Étape 1 Préparez le dispositif de filtration à l'aide d'une pompe à vide en plaçant l'entonnoir sur l'Erlenmeyer et en le reliant par un tube à la pompe à vide. Placez un papier filtre frais sur le dessus de l'entonnoir et mettez la pompe à vide en marche.



Étape 1 : Installation de la pompe à vide.



Étape 2 : Versement de l'huile MSN sur le dessus du filtre.

Étape 2 Versez l'huile brut de MSN dans l'entonnoir et laissez filtrer le l'huile brut.

Étape 3 Arrêtez la pompe à vide et recueillez l'huile de MSN raffinée. Jetez le papier filtre et le résidu solide filtré. Notez le poids de l'huile recueillie.

Étape 4 Conservez l'huile MSN dans un récipient étanche à la lumière et étiquetez-le avec la date de production.

Si vous ne disposez pas d'une pompe à vide :

→ **Étape d'adaptation 1**

Utilisez un filtre à café au lieu d'un filtre en papier. Placez l'entonnoir sur le dessus de n'importe quel type de récipient et laissez l'huile filtrer passivement à travers le filtre à café par gravité.

B) Décantation de l'huile

Si vous avez de grandes quantités d'huile brute MSN, le filtrage n'est pas envisageable. Si vous n'avez pas accès à un équipement plus sophistiqué comme une décanteuse centrifugeuse d'huile, vous pouvez également utiliser la méthode simple de décantation. Au fil du temps, les solides se déposeront sous forme de sédiments au fond du récipient de l'huile brute. L'huile MSN peut alors être séparée des solides par décantation. L'huile est recueillie en insérant un tube dans la fraction d'huile située en haut du conteneur. Après une aspiration initiale à l'aide d'une seringue, l'huile s'écoule automatiquement par le tube dans le second conteneur de collecte. Ce procédé est plus rapide que la filtration. Cependant, les solides en suspension qui ne se déposent pas au fond ne seront pas séparés par cette méthode, ce qui donne par conséquent un produit moins pur.



Étape d'adaptation 1 : Installation simple à l'aide d'un filtre à café et d'un entonnoir.

Matériel et équipement requis :



Tâches :

- Étape 1** Préparation de l'huile. Laissez l'huile brute pendant quelques heures dans un récipient cylindrique. Si votre huile brute devient dure, placez le récipient dans une baignoire d'eau chaude. Les solides sont plus lourds que l'huile, ils se déposeront donc au fond du récipient et vous pourrez décanter l'huile sur le dessus. Veillez à manipuler le récipient avec précaution afin d'éviter que les solides déposés ne se remettent en suspension.
- Étape 2** Préparation de l'installation. Placez le récipient cylindrique sur le dessus d'une boîte ou d'un récipient vide, de façon à ce qu'il soit à un niveau plus élevé que le récipient de stockage. Fixez la seringue à une extrémité du tube en plastique. Insérez l'autre extrémité du tube en plastique dans la fraction supérieure de l'huile.



Étape 3 : Tirer la seringue pour commencer le processus de décantation.

- Étape 3** Commencez la décantation en tirant la seringue pour que l'huile soit aspirée du conteneur à huile. Retirez la seringue et laissez le pétrole s'écouler par gravité dans le récipient de stockage inférieur. Assurez-vous que le tube est constamment immergé dans la fraction supérieure du pétrole et qu'il n'aspire pas les solides au fond du récipient.
- Étape 4** Arrêtez le processus dès que le tube touche les solides au fond du récipient.



MESURES DE PROTECTION POUR LES TRAVAILLEURS :

- Utilisez des gants, des lunettes de protection et des vêtements de protection pendant les activités de raffinage de l'huile.



POINTS DE CONTRÔLE ET DE COLLECTE DES DONNÉES :

- Mesurer le poids de l'huile de MSN raffinée collectée.



Le **module sur le raffinage de la série de vidéos e-learning** sur le traitement des biodéchets par la MSN est disponible via ce lien (en anglais).



5.3 Surveillance, stockage et étiquetage des produits

Surveillance

Pour garder une trace de vos activités de post-traitement, nous vous recommandons de remplir une fiche de suivi pour chaque jour de production. Un modèle de fiche de suivi se trouve à l'Annexe H. Les données enregistrées dans la fiche de suivi permettent de vérifier les paramètres de contrôle du processus. Le bilan massique est un paramètre important de contrôle du processus, car il indique si le processus est terminé. Une façon simple de vérifier le bilan massique est de calculer le rendement de sortie en divisant la masse de sortie par la masse d'entrée :

$$\text{Rendement \%} = \frac{\text{Masse totale OUT}}{\text{Masse totale IN}} \times 100$$

Avec ce pourcentage, vous pouvez contrôler votre processus de séchage ou de fractionnement, car le rendement reste constant dans une fourchette. Cependant, la source des déchets et le moment de la récolte auront une influence sur les rendements, car les teneurs en eau et en graisse varient. Les valeurs moyennes calculées sur un site pilote sont indiquées dans le diagramme de flux massique de la Figure 5-3.

Stockage

La détérioration des produits LMSN est influencée par divers facteurs, dont la température, l'humidité, l'activité de l'eau, l'oxygène et l'exposition à la lumière. Une température et une humidité élevées peuvent entraîner une augmentation de l'activité de l'eau et donc une détérioration par l'activité des micro-organismes. Cependant, la contamination initiale par des micro-organismes

dans le produit LMSN dépendra de la source des déchets ainsi que des processus de nettoyage et de séchage appliqués aux LMSN. L'exposition à la lumière et à l'oxygène peut favoriser l'oxydation des lipides, ce qui se traduit par des saveurs désagréables, des changements de couleur et de forme.

Choisir le bon contenant de stockage et le bon emballage permet d'éviter une détérioration rapide des produits LMSN. Les récipients de stockage doivent être étanches à l'air, à la lumière et à l'eau. De même, les matériaux d'emballage doivent être étanches à l'eau et, pour les produits riches en graisses comme l'huile de MSN ou les LMSN séchées, ils doivent également être étanches à la lumière. L'ajout de déshydratants préemballés aux produits emballés maintient un faible niveau d'humidité à l'intérieur de l'emballage et, par conséquent, une faible activité de l'eau. Tous les produits doivent être scellés avant la vente afin de garantir au client que le produit n'a pas été ouvert auparavant. Tous les produits doivent être stockés dans un endroit protégé des températures élevées, des intempéries et de la lumière directe du soleil.

Étiquetage

Votre produit final MSN emballé nécessite une étiquette, contenant des informations pertinentes sur le produit. Cette étiquette doit être capable d'assurer la traçabilité du produit et à inviter les clients à acheter votre produit. La Figure 5-4 montre un exemple d'étiquette de produit conçue pour les LMSN séchées au micro-ondes, appelé pop-larves. Les différentes informations présentées dans l'exemplaire d'étiquette ci-dessus sont listées et expliquées dans le Tableau 5-3.



Figure 5-4 : Exemple d'étiquette des LMSN séchée par micro-ondes, appelée pop-larves.

Tableau 5-3 : Éléments à ajouter à l'étiquette d'un produit.

#	Informations sur l'étiquetage	Description
1	Contenu nutritionnel	Indiquez au moins la teneur en protéines, en graisses et en eau.
2	Date de production	Important pour la traçabilité de vos produits
2	Date d'expiration	Il s'agit d'une information importante sur l'utilisation et qui permet d'éviter les plaintes.
3	Description du produit	Par exemple, des larves de MSN séchées ou de la farine de MSN, le nom de votre marque (pop-larves) n'est pas clair.
4	Poids net	Quantité de produit par paquet.
5	Photos d'animaux cibles	Pour indiquer visuellement l'utilisation prévue du produit.
6	Informations générales / avantages	Cela peut contribuer à susciter l'intérêt des clients.
7	Instructions d'utilisation	Indiquez comment nourrir les animaux avec le produit.
8	Instructions de stockage	Mentionnez où et comment stocker le produit.
9	Nom / adresse de la société / marque	Informations sur les endroits où les clients peuvent vous trouver (site web, médias sociaux ou lieu).

PUSAT PENGOLAHAN MATERIAL ORGANIK DAN BUDIDAYA BLACK SOLDIER FLY



eawag

Research Program
FORWARD
From Organic Waste to Recycling
for Environment



INTEGRATED TECHNOLOGY

KAWASAN PENELITIAN

TAMU WAJIB LAPOR KE KANTOR
VISITORS MUST REPORT AT OFFICE

Chapitre 6

Développement commercial

Un modèle d'entreprise pour votre installation MSN doit être mis en place avant de démarrer votre projet, surtout si vous avez l'intention de le gérer comme une entreprise. Ce chapitre fournit quelques outils pour étayer votre modèle économique par des chiffres et pour vous aider à identifier les conditions préalables à remplir avant d'ouvrir une installation MSN.

6.1 Analyse coûts-recettes et de la viabilité financière

Comprendre et évaluer le coût du traitement des déchets de MSN est un aspect important avant de lancer ou d'exploiter une installation MSN. Il s'agit non seulement d'estimer les coûts d'investissement nécessaires à la construction, mais aussi d'évaluer les coûts d'exploitation prévus dans un contexte local spécifique et de contrôler les unités d'œuvres pendant les opérations. Nous présentons ici deux outils destinés à faciliter l'évaluation des coûts et des revenus et à permettre de juger de la viabilité financière d'une installation de traitement des biodéchets par le biais de la MSN.

L'outil de modèle économique basé sur des "scénarios" est destiné à ceux qui souhaitent examiner en détail une installation MSN. Il dissèque chaque unité de traitement individuellement en termes de coûts d'investissement et d'exploitation. Il fournit les listes de matériaux nécessaires mais permet également des ajustements individuels si l'utilisateur a de l'expérience et connaît les conditions locales spécifiques du site concerné. L'analyse de chaque unité de transformation permet d'évaluer différents modèles économiques, par exemple différents degrés de décentralisation et de gestion des chaînes d'approvisionnement. Après avoir choisi le scénario souhaité et saisi d'autres variables d'entrée, l'outil calcule ensuite des paramètres financiers clés tels que la valeur actuelle nette (NPV), afin de déterminer la valeur d'un tel projet d'investissement potentiel.

Un autre outil est le "modèle de coût en ligne", qui fournit un aperçu beaucoup plus simple des coûts impliqués dans le développement d'une installation MSN, en fonction de la quantité et du type de déchets conçus. L'outil utilise les données du site et de la conception existants en Indonésie, et fournit des valeurs de conversion de traitement par défaut pour calculer les coûts des dépenses d'investissement et le coût de production par unité. L'utilisateur peut ensuite évaluer le marché local et les prix de vente potentiels des produits MSN pour juger si une marge bénéficiaire est possible.

L'évaluation des flux de revenus potentiels dérivés du traitement des déchets par la MSN et leur comparaison avec les postes de coûts d'une installation MSN, en fonction de l'échelle d'exploitation, donne une bonne indication de la viabilité financière possible. Bien que l'expérience et les données des installations existantes puissent donner une bonne indication des besoins en termes d'espace, d'équipement et de main-d'œuvre, il existe néanmoins des variables qui affecteront ces données et qui dépendent fortement du contexte et des conditions spécifiques locales :

- CAPEX ou coûts d'investissement de l'installation (par exemple, coût local pour la construction de matériaux sur mesure, disponibilité locale de l'équipement, etc).
- OPEX ou coût opérationnel de l'installation (par exemple, coût des services publics locaux, salaires de la main-d'œuvre locale, etc.).
- Climat et autres impacts environnementaux (par exemple, température, humidité, prévention des odeurs, gestion des eaux usées, etc.).
- Revenus potentiels du traitement des déchets (droits d'entrée).
- Recettes potentielles des ventes de produits dérivés des larves (par exemple, larves entières, MSN séchée, farine de MSN et huile de MSN).
- Revenus des ventes de produits d'élevage de la MSN, tels que le 5-DOL, vendus pour la transformation des déchets sur d'autres sites.
- Vente des résidus de déchets comme amendement du sol ou vente de produits connexes tels que le biogaz issu du traitement des résidus.

6.2 L'outil de modèle commercial basé sur des scénarios

L'outil de modèle commercial basé sur des scénarios a été développé pour différencier chaque unité de traitement de l'installation sur la base de la "comptabilité par activités". Cela permet à l'utilisateur de comparer différents scénarios de modèles commerciaux et de mise en œuvre. Trois scénarios distincts sont disponibles dans l'outil et sont décrits dans les figures suivantes :

- **Scénario 1** : Ce scénario suppose une usine centralisée à part entière qui regroupe toutes les unités de traitement sur un même site. Cette installation centrale de MSN reçoit des déchets organiques, traite ces déchets avec du MSN pour obtenir des larves adultes, puis transforme (post-traitement) ces larves en produits LMSN tels que des larves fraîches, des larves séchées et/ou de la farine et de l'huile de larves. Cette même installation gère également une unité d'élevage qui clôt le cycle de vie pour assurer la présence de pupes, de mouches et d'œufs et fournit en permanence du 5-DOL pour l'unité de traitement (Figure 6-1).

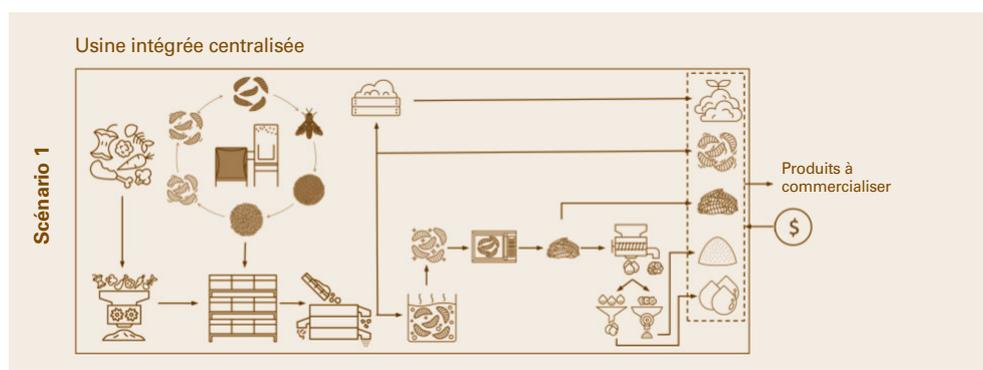


Figure 6-1 : **Scénario 1** : Usine intégrée centralisée.

- **Scénario 2** : Ce scénario consiste en deux unités commerciales distinctes qui ne sont pas situées dans les mêmes locaux. Tout d'abord, une installation d'élevage centralisée qui se concentre exclusivement sur la fermeture du cycle de vie pour produire en continu du 5-DOL destiné à être utilisé dans différentes installations de traitement. Ensuite, des installations de traitement individuelles situées à différents endroits de la ville, idéalement à proximité de la source de production des déchets. Ces installations de traitement décentralisées traitent les déchets organiques en utilisant le 5-DOL de l'installation d'élevage pour obtenir des larves adultes et transforment également ces larves adultes en produits LMSN tels que des larves fraîches, des larves séchées et/ou de la farine et de l'huile de larves (Figure 6-2).

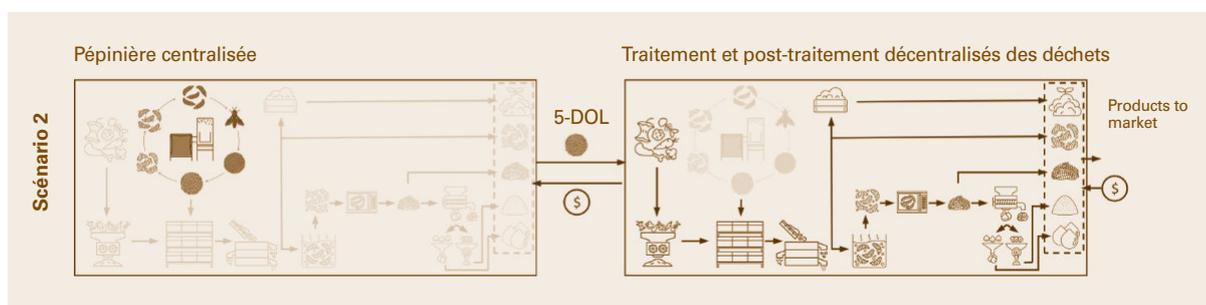


Figure 6-2 : **Scénario 2** : Pépinière centralisée, traitement et post-traitement décentralisés.

- **Scénario 3** : Ce scénario est similaire au scénario 2 avec des installations de traitement décentralisées. Dans ce cas, cependant, les installations de traitement obtiennent également du 5-DOL pour traiter les déchets, mais ne transforment pas les larves adultes en produits, et revendent les larves fraîches adultes à l'installation centrale. Cette installation centrale ne se contente donc pas d'élever du 5-DOL pour les installations de traitement, mais reçoit également des larves cultivées de ces dernières pour les transformer en produits LMSN tels que des larves fraîches, des larves séchées et/ou de la farine et de l'huile de larves (Figure 6-3).

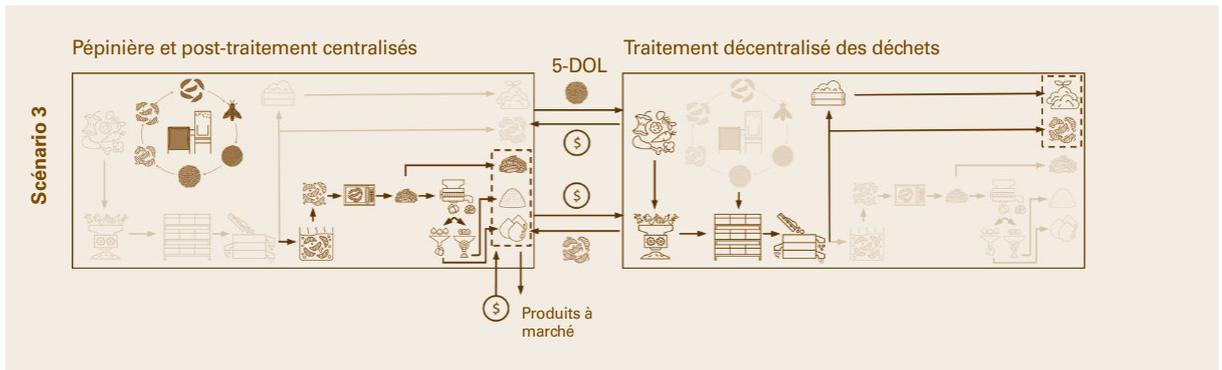


Figure 6-3 : **Scénario 3** : Pépinière et post-traitement centralisés, traitement décentralisé.

Comme décrit dans les scénarios 2 et 3, ces modèles nécessitent une chaîne d'approvisionnement et un échange de biens essentiels entre les installations centralisées et décentralisées. Pour les scénarios 2 et 3, l'approvisionnement régulier en 5-DOL est vital. Il s'agit d'une source de revenus pour l'installation d'élevage et d'une matière première pour l'installation de traitement en plus des déchets qu'elle reçoit. Pour les scénarios 3, l'échange de marchandises se fait dans les deux sens. Les 5-DOL sont transférés de l'installation d'élevage/post-traitement à l'installation de traitement, puis les larves adultes sont transférées de l'installation de traitement à l'installation d'élevage/post-traitement. Dans cet échange, il est important de trouver une fourchette de prix pour ces produits qui soit bénéfique pour toutes les parties. Si l'installation d'élevage facture son 5-DOL à un prix trop élevé, l'installation de traitement décentralisée risque de se retrouver en déficit et de faire faillite. De même, si l'installation de traitement décentralisée facture un prix trop élevé pour les larves cultivées, l'installation de pépinière/post-traitement risque de faire faillite.

L'outil de modèle économique basé sur des scénarios aide à identifier les offres tarifaires pour de tels échanges de produits tout en tenant compte de l'échelle d'exploitation de chaque installation compte tenu de l'impact des économies d'échelle.

En outre, l'outil donne un aperçu de la structure des coûts de chaque unité de traitement et fournit des indicateurs de performance financière ainsi que des indicateurs clés de budgétisation des investissements, tels que la valeur actuelle nette (NPV), la période de récupération (PB) et le taux de rendement interne (IRR), sur la base d'une période de 5 ans avec un taux d'actualisation de



L'outil de modèle d'entreprise basé sur des scénarios est un outil basé sur Excel. Chaque scénario a son propre fichier Excel où l'utilisateur peut remplir les données requises. Tous les modèles Excel ainsi qu'un manuel peuvent être téléchargés gratuitement via ce lien (en anglais).



6.3 L'outil de modélisation des coûts basé sur le web

Le modèle de coûts basé sur le Web est une version plus simplifiée de l'outil de modèle économique basé sur des scénarios". Il suppose une usine centrale avec toutes les unités intégrées dans une seule installation. Il estime le coût opérationnel pour fournir à l'utilisateur le coût de production par unité de produit MSN (c'est-à-dire les coûts encourus pour fabriquer un produit MSN). Ce coût peut ensuite être comparé aux prix de vente actuels de produits similaires concurrents sur le marché. L'utilisateur sélectionne une échelle d'opération en fonction de la quantité de déchets à traiter, des produits MSN à vendre et saisit certains coûts unitaires supplémentaires en fonction du contexte local (coûts de la main d'œuvre, coûts des services publics, etc.) Des valeurs de conversion par défaut basées sur l'expérience de l'Indonésie sont fournies, mais elles peuvent être ajustées individuellement par l'utilisateur si d'autres informations sont disponibles. L'avantage d'utiliser cet outil de modélisation des coûts basé sur le Web est que vous n'avez pas besoin d'être un expert de la MSN. Il suffit d'être un passionné de la MSN qui veut découvrir ce que signifie l'exploitation d'une installation MSN, la quantité de produits et les coûts de production auxquels on peut s'attendre. Le résultat de l'outil est présenté sous la forme d'un organigramme comprenant les flux de masse à travers les différentes unités de traitement ainsi que les coûts.



Le modèle de coût basé sur le web est un outil en ligne qui se concentre sur le calcul du coût opérationnel par unité d'un produit MSN sélectionné.



6.4 Choix du site d'une installation de traitement des déchets par la MSN

La maîtrise du cycle de vie naturel est la base de la mise en place d'une installation efficace et fiable de traitement des déchets par la MSN. Dans l'installation, avec ses infrastructures, ses équipements et ses travailleurs qualifiés, l'exploitant prend le contrôle du cycle de vie naturel de la MSN pour ainsi créer et exploiter un biosystème artificiel.

L'emplacement de l'installation, avec ses composants et ses activités, s'efforce de reproduire au mieux l'habitat naturel et les besoins de la MSN, tout en les orientant vers une efficacité et une stabilité accrue afin de garantir un traitement continu des déchets. Les aspects suivants doivent être pris en considération lors de la sélection d'un site approprié pour une installation de traitement de la MSN :

- Sources proches de biodéchets de bonne qualité en quantités régulières et/ou prévisibles. Plus l'installation est proche des déchets, moins le transport et la logistique de l'approvisionnement en déchets sont nécessaires.
- Des clients proches pour les larves et leurs produits de transformation. Plus vous êtes proche de vos clients, plus il est facile de maintenir des canaux de marché appropriés et de renforcer les relations avec les clients, tout en réduisant les coûts de transport.
- Emplacement approprié dans la ville ou le quartier, qui n'entraîne pas de conflits avec les résidents ou les utilisateurs des terrains adjacents, ni d'obstruction de leur part.
- Des zones vertes adéquates qui peuvent faire office de tampon entre l'installation et la zone environnante (par exemple, des zones ouvertes, des arbres, des clôtures, etc.).
- Disponibilité de l'eau, d'un système de traitement des eaux usées et d'un raccordement au réseau électrique.
- Infrastructure et qualité du bâtiment adéquates. L'aire de traitement doit disposer d'un toit et d'une base en béton pour offrir un abri et un espace de travail propre. Un bureau, des toilettes et un espace de laboratoire doivent également être disponibles.

Lorsque l'emplacement a été choisi et que les plans de construction sont élaborés, les aspects spécifiques suivants doivent être pris en compte :

- Le site doit être protégé contre l'infestation de parasites et de vermine. Des pièges à fourmis sont nécessaires pour les points de contact entre l'équipement et le sol. Veillez à ce qu'il n'y ait aucun contact entre l'équipement et les murs. Une protection en grillage peut être nécessaire pour tous les éléments essentiels de l'élevage afin d'éviter que les oiseaux, les rats et les lézards n'aient accès aux larves.
- Les unités de traitement doivent être placées à l'abri de la lumière directe du soleil, doit être maintenu à des températures d'environ 25 degrés et sans impact de la pluie et idéalement maintenues à un faible taux d'humidité.
- Les stades d'élevage de l'œuf, de la pré-pupe et de la nymphe ont besoin d'une humidité élevée et de températures d'environ 28 degrés avec une ombre totale du soleil.
- La phase d'élevage des larves doit être maintenue à un faible taux d'humidité, à des températures d'environ 25 degrés et à l'abri du soleil.
- L'élevage de la mouche et les phases d'accouplement nécessitent une humidité élevée, une température d'environ 28 degrés et une abondance de lumière solaire indirecte.
- L'unité de post-traitement doit disposer d'une ventilation suffisante, d'une température confortable pour le travail manuel et d'un taux d'humidité très faible.

6.5 Création d'un plan d'étage et planification des emplacements des unités pour un site MSN

L'un des résultats des deux outils de modélisation des coûts, comme décrit ci-dessus, est l'espace requis pour chacune des trois unités (élevage, conversion/traitement et post-traitement) d'une installation MSN en fonction de l'échelle des déchets entrants. La Figure 6-4 montre un exemple de plan d'étage pour l'installation sélectionnée de 5 tonnes de biodéchets par jour.

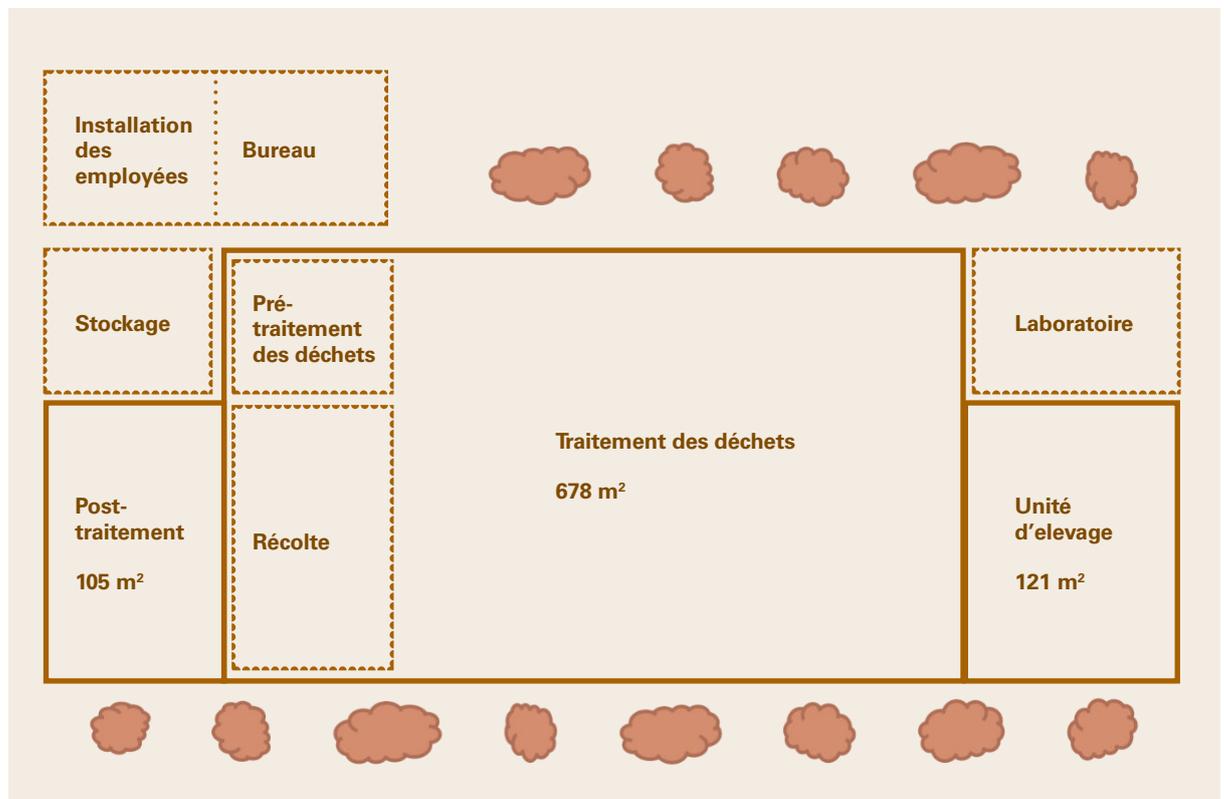


Figure 6-4 : Plan de l'installation de traitement des biodéchets du MSN d'une capacité de 5 tonnes de biodéchets par jour.

Si l'on compare les différentes échelles (voir Tableau 6-1) et les besoins en espace respectifs à ces échelles, il apparaît clairement que ces besoins n'augmentent ou ne diminuent pas de manière linéaire avec l'augmentation ou la diminution des déchets. C'est surtout l'unité d'élevage qui présente la plus faible dépendance entre l'échelle et l'espace requis. Ici, l'équipement, par exemple les supports, est conçu à une échelle fixe. En ce sens, une échelle plus petite n'affecte pas les besoins en espace mais indique que l'équipement n'est pas utilisé à pleine capacité. En revanche, l'unité de traitement des déchets présente une forte dépendance entre l'échelle et l'espace. Ceci est le résultat d'une petite taille unitaire de l'équipement. Pour chaque petit changement d'échelle, le nombre total de ces petites pièces d'équipement augmente immédiatement, nécessitant plus

Tableau 6-1 : Aperçu de l'échelle du site et de l'effet sur la taille des différentes unités opérationnelles.

Quantité de déchets traités par jour	Zone d'élevage	Zone de conversion	Zone de traitement	Superficie totale
5 tonnes	121 m ²	678 m ²	105 m ²	±900 m ²
2 tonnes	71 m ²	286 m ²	47 m ²	±400 m ²
1 tonne	47 m ²	160 m ²	44 m ²	±250 m ²

d'espace pour les accueillir. Enfin, l'unité de post-traitement présente un schéma similaire à celui de l'unité d'élevage. La capacité de la plupart des équipements installés n'est souvent pas le facteur limitant et, par conséquent, une diminution ou même une augmentation d'échelle peut être accommodée avec la même pièce d'équipement. C'est ce que montre le Tableau 6-1 en comparant les échelles d'une tonne et de deux tonnes de déchets traités par jour. Bien que l'échelle ait doublé, il n'y a pratiquement aucun effet sur l'espace au sol nécessaire.

Tableau 6-2 : Capacité de l'installation MSN décrite en fonction du calendrier des travaux.

Horaire de travail	Capacité en déchets	Sortie de 5-DOL	Travailleurs requis	Zone	Fluctuation quotidienne de la production de 5-DOL
1 Tous les jours	35 tonnes / sem	±50 millions / sem	23	900 m ²	Stable
2 Un jour sur deux	14 tonnes / sem	±20 millions / sem	12	400 m ²	Petite fluctuation
3 Lun-Mer-Ven	7 tonnes / sem	±8 millions / sem	9	250 m ²	Grande fluctuation

6.6 Scénarios opérationnels et planification du travail

Les conseils opérationnels fournis dans cet ouvrage sont basés sur une installation de traitement MSN ayant la capacité de produire suffisamment de 5-DOL pour traiter environ 35 tonnes de déchets biologiques par semaine. Cela nécessite une présence et un programme de travail quotidiens, sept jours sur sept.

En fonction des déchets, de l'espace et de la disponibilité de la main-d'œuvre, on pourrait toutefois aussi choisir un horaire de travail réduit, qui peut être géré en ne travaillant que la moitié des jours de la semaine, voire moins avec un horaire de travail alterné lundi-mercredi-vendredi (voir Tableau 6-3).



Outre le programme de travail "quotidien" fourni en Annexe, ce lien permet d'accéder à deux scénarios opérationnels différents avec leurs programmes de travail respectifs. Le manuel explique l'impact de ces différents scénarios de travail et comment préparer ces horaires (en anglais).



Les horaires de travail utilisent un code de date format : **XX.Y**. Cela permet de calculer facilement la date et d'étiqueter les cages et les conteneurs. La valeur **XX** indique la semaine civile de l'année (semaine 01-52/53). La valeur **Y** indique le jour de (la semaine (lundi-dimanche = 1-7)).

Mardi 21 février

8.2

Semaine 8 de l'année
Jour 2 de la semaine

Les horaires de travail et les fiches de suivi présentés dans les annexes sont élaborés pour un horaire de travail quotidien. Cette configuration s'est avérée être la plus stable dans la production de jeunes larves et est la plus fiable pour convertir un flux quotidien continu de biodéchets arrivant sur le site. Pour les trois programmes de travail, des listes de tâches et des programmes d'alimentation différents ont été conçus et peuvent être téléchargés.

Les horaires de travail ne sont disponibles que pour les unités d'élevage (Annexe A) et de conversion (annexe C), car l'unité de post-traitement utilise des fichiers de "Procédures Opérationnelles Standard" (SOP) relatifs aux étapes opérationnelles de chaque station opérationnelle. Dans les horaires de travail, une brève explication est fournie pour chaque tâche et les colonnes de droite sont laissées en blanc lorsque la tâche doit être effectuée ce jour-là ou en noir lorsque cette tâche ne doit pas être effectuée. Les calendriers de travail doivent être placés de manière bien visible et accessible, à proximité de l'endroit où le personnel travaille, afin que le personnel qui suit la liste de contrôle puisse cocher chaque tâche lorsqu'elle est terminée. Chaque programme de travail couvre une période de quatre semaines et est ensuite remplacé par de nouveaux programmes par le gestionnaire de l'établissement pour la période suivante.

L'unité d'élevage nécessite un programme supplémentaire pour l'alimentation des bacs de la pépinière de larves (Annexe B). Dans les bacs de la pépinière de larves, les 5-DOL sont nourris pendant environ 2 à 3 semaines jusqu'à ce qu'ils se transforment en pré-pupes. Les pré-pupes sont ensuite placées dans des bacs de nymphose pour devenir des mouches. Les larves de la pépinière sont nourries avec un aliment riche en nutriments. La récolte des pré-pupes fait par reptation. Vers la fin de la phase d'alimentation, la teneur en eau de l'aliment est augmentée, ce qui permet aux pré-pupes d'accroître leur traction pour pouvoir ensuite ramper hors du bac de la pépinière de larves. Le programme d'alimentation du bac de la pépinière de larves indique à l'opérateur quel mélange d'aliments doit être appliqué à quel bac.

Date	Set-up	1 KG	2 KG	1 KG	1 KG	Dém.					
8.1	8.1	7.6	7.5	7.3	7.2	6.7	6.6	6.5	6.3	6.1	5.5
8.2	8.2	7.7	7.6	7.4	7.3	7.1	6.7	6.6	6.4	6.2	5.6
8.3	8.3	8.1	7.7	7.5	7.4	7.2	7.1	6.7	6.5	6.3	5.7

Code du jour

Indique l'identifiant du bac de nymphe à alimenter ce jour

Le nombre et la couleur indiquent la quantité et le type d'aliment à donner.

Identifiant du bac de nymphe à démonter ce jour

La colonne blanche de gauche indique la date du jour. La deuxième colonne indique le code de date pour le bac de la pépinière de larves qui sera mis en place ce jour-là. Les autres cellules de la ligne indiquent l'identifiant des bacs de la pépinière de larves qui seront nourries à la date indiquée dans la colonne 1. La couleur indique la quantité et le type d'aliments qu'ils reçoivent. L'alimentation diffère en fonction de la quantité d'eau ajoutée à l'aliment pour volaille (CF) et varie de 70 - 100% d'eau.

1kg / 30% CF / 70% H ₂ O	2kg / 30% CF / 70% H ₂ O	2kg / 15% CF / 85% H ₂ O	1kg / 100% H ₂ O
-------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	-----------------------------

Le tableau présenté en annexe est destiné à servir de modèle pour une tableau Excel ; un exploitant peut facilement mettre à jour un programme dans Excel en fonction de formules.

Les **Annexes D, E, F et G** présentent les fiches de suivi respectées qui ont été préparées comme un modèle de fichier d'enregistrement pour saisir toutes les données qui seront collectées chaque jour d'opération. Toutes les données de suivi permettant d'évaluer la productivité de l'unité peuvent être saisies sur cette feuille.



Annexes

Aperçu des modèles d'horaires et de fiche de suivi disponibles.

Annexe **A** **Programme journalier de travail pour l'unité d'élevage** à pleine capacité (en anglais)



Annexe **B** **Programme journalier d'alimentation pour les bacs de la pépinière de larves** à pleine capacité (en anglais)



Annexe **C** **Programme journalier de travail pour l'unité de conversion** à pleine capacité (en anglais)



Annexe **D** **Fiche de suivi** pour la saisie quotidienne des paramètres de productivité dans **l'unité d'élevage MSN** (en anglais)



Annexe **E** **Fiche de suivi** des paramètres de productivité dans l'étape de traitement de **l'unité de conversion** (en anglais)



Annexe **F** **Fiche de suivi** pour l'étape de **prétraitement** et de **l'unité de conversion** (en anglais)



Annexe **G** **Fiche de suivi** des paramètres dans **l'unité de posttraitement** (en anglais)



Annexe A

Semaine	xx							xx							Temps min									
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7										
# Jour	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx
Tâches de traitement																								
1	Enlever (5 j) une vieille bac de la pépinière de larves (3 bacs/jour) (M1) <ul style="list-style-type: none"> Sortir 3 bacs de 5-DOL Peser la masse totale (g) 																						10	
2	Connecter une nouvelle cage d'amour aux cages sombres <ul style="list-style-type: none"> Peser la cage vide et propre et le cadre en bambou Connecter la cage d'amour à la première cage sombre Déconnecter de la cage d'amour après 30 minutes Peser à nouveau la cage (remplie de mouches) Connecter à la cage sombre suivante et répéter le processus 																						30	
3	Préparer (16) nouvelles bacs de nymphe <ul style="list-style-type: none"> 3/4 compost, 1/4 H₂O 3 kg de mélange par boîte Placer les boîtes dans le support de bac de nymphe 																						30	
4	Supprimer un ancien bac de la pépinière de larves <ul style="list-style-type: none"> Enlever le matériel Utiliser le matériel pour attirer les mouches 																						10	
5	Récolter et traiter les pré-pupes (PP) (M2) <ul style="list-style-type: none"> Tamiser PP du bac de transfert Ajouter tourbe de coco au bac de transfert et remettre-le en place Peser PP de chaque bac 																						60	
6	Ajouter un aliment dans les bacs de la pépinière de larves <ul style="list-style-type: none"> (voir l'Annexe B pour le calendrier d'alimentation) 																						10	
7	Entretien de la douche à éclosion <ul style="list-style-type: none"> Enlever et nettoyer (5d) les vieilles supports d'oeufs Ajouter de l'eau (0,5L) aux bacs d'éclosion les plus anciens Ajouter de la tourbe de coco (1-2 j avant le comptage) 																						20	
8	Préparer une bac de la pépinière de larves (3 bacs/jour) <ul style="list-style-type: none"> Ajouter 3 kg de nourriture par bac et couvrir de tourbe de coco Placer sous les supports d'oeufs 																						10	

Semaine	XX							XX							XX							Temps min	
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7		
# Jour	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7		
Tâches de traitement																							
9 Préparer un nouveau bac de la pépinière de larves (2 bacs/jour)																						10	
<ul style="list-style-type: none"> · Ajouter 2 kg d'aliments dans le bac · Couvrir de tourbe de coco · Ajouter 10'000 5-DOL/bac · Placer le bac sur le bac de transfert · Ajouter de la tourbe de coco dans le bac de transfert 																							
10 Retirer (4 j) une vieille cage d'amour (2 cages/jour) (M3)																						60	
<ul style="list-style-type: none"> · Retirer les ballots de tasseaux de la cage · Collecter les mouches mortes pour en faire un nouvel attractif · Nettoyer les bacs retirés de la cage d'amour · Laver la cage sur programme rapide de coton 																							
11 Installer une nouvelle cage d'amour (2 cages/jour) (M4)																						40	
<ul style="list-style-type: none"> · Peser une cage complète avec des mouches · Déplacer la cage vers la table de la cage d'amour · Ajouter attractif, ballots de tasseaux, couvercle et récipient d'eau · Prélever un échantillon de 20 mouches (1x) 																							
12 Retirer une vieille cage sombre (3 semaines)																						10	
<ul style="list-style-type: none"> · Sortir (16) boîtes · Vider les boîtes · Laver la cage sur programme rapide de coton 																							
13 Installation d'une nouvelles cage sombre																						10	
<ul style="list-style-type: none"> · Ajouter 16 caisses/cage de nymphose · Ajouter une étiquette dessus et attacher le tunnel de la cage 																							
Tâches d'entretien																							
U1 Remplir l'eau des pièges à fourmis																						5	
U2 Nettoyer la chambre de pépinière																						240	
<ul style="list-style-type: none"> · Balayer le sol et nettoyer les cadres 																							
U3 Nettoyer les tables de travail																						5	
<ul style="list-style-type: none"> · 1^{er} avec du détergent, 2^{ème} avec de l'alcool 																							

Semaine	XX							XX							Temps min							
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7		1	2	3	4	5	6	7
# Jour																						
Tâches d'entretien																						
U4 Nettoyer le laboratoire · Balayer le sol et ranger toutes les affaires sur les étagères																						10
U5 Nettoyer la table de laboratoire · 1 ^{er} avec du détergent, 2 ^{ème} avec de l'alcool																						5
U6 Laver les serviettes et les blouses de laboratoire (60-90 degrés)																						5
U7 Collecter les données sur les activités de la pépinière																						10
U8 Données recueillies sur les pépinières/traitement des déchets																						30
Tâches de suivi et de mesure																						
M1 Compter les 5-DOL · Peser la masse totale (résidu et 5-DOL) en grammes · Mélanger le matériel et prélever 3 cuillères d'échantillon · Séparer le résidu et les 5-DOL par tamisage · Peser séparément la masse des 5-DOL et du résidu (grammes) · Compter # of 5-DOL dans 1g (3x) · Extrapoler et compter le # total de 5-DOL																						60
M2 Compter les pré-pupes · Peser les PP de chaque bac de la pépinière de larves séparément · Mélanger les PP et peser 2 échantillons de 200 · Dénombrer 625 PP/caisse de nymphose, pendant 8 jours																						30
M3 Récolte des œufs · Racler les œufs des tasseaux en bois · Peser la masse des œufs (g) · Mettre les œufs dans des passoirs à thé · Accrocher passoirs à thé remplis d'œufs sur le cadre de douche des éclosions. · Nettoyer les tasseaux en bois à l'aide d'un compresseur d'air																						120
M4 Récolte des œufs · Collecter 20 mouches dans une nouvelle cage · Ajouter de l'acétate d'éthyle au bocal en liège et ajouter mouches · Sortir les mouches et les peser																						15

B

Programme journalier d'alimentation pour les bacs de la pépinière de larves.

Le "xx" indique la semaine calendaire. Le "+1" indique la semaine suivante, le "-1" la semaine précédente et le "-2" la semaine précédente, etc. Les couleurs sont liées à une quantité d'aliments dans un certain rapport entre les aliments pour poulets (CF) et l'eau.

Annexe B

Date	Set-up	2 KG	1 KG	1 KG	Dém.					
xx.1	xx.1	xx-1.5	xx-1.3	xx-1.2	xx-2.7	xx-2.6	xx-2.5	xx-2.3	xx-2.1	xx-3.5
xx.2	xx.2	xx-1.6	xx-1.4	xx-1.3	xx-1.1	xx-2.7	xx-2.6	xx-2.4	xx-2.2	xx-3.6
xx.3	xx.3	xx-1.7	xx-1.5	xx-1.4	xx-1.2	xx-1.1	xx-2.7	xx-2.5	xx-2.3	xx-3.7
xx.4	xx.4	xx.1	xx-1.6	xx-1.5	xx-1.3	xx-1.2	xx-1.1	xx-2.6	xx-2.4	xx-2.1
xx.5	xx.5	xx.2	xx-1.7	xx-1.6	xx-1.4	xx-1.3	xx-1.2	xx-2.7	xx-2.5	xx-2.2
xx.6	xx.6	xx.3	xx-1.8	xx-1.7	xx-1.5	xx-1.4	xx-1.3	xx-1.1	xx-2.6	xx-2.3
xx.7	xx.7	xx.4	xx-1.9	xx-1.8	xx-1.6	xx-1.5	xx-1.4	xx-1.2	xx-2.7	xx-2.4
xx+1.1	xx+1.1	xx.5	xx-2.0	xx-1.9	xx-1.7	xx-1.6	xx-1.5	xx-1.3	xx-1.1	xx-2.5
xx+1.2	xx+1.2	xx.6	xx.4	xx.3	xx.1	xx-1.7	xx-1.6	xx-1.4	xx-1.2	xx-2.6
etc.	etc.	etc.								
etc.	etc.	etc.								
Date	Set-up	2 KG	1 KG	1 KG	Dém.					
6.1	6.1	5.5	5.3	5.2	4.7	4.6	4.5	4.3	4.1	3.5
6.2	6.2	5.6	5.4	5.3	5.1	4.7	4.6	4.4	4.2	3.6
6.3	6.3	5.7	5.5	5.4	5.2	5.1	4.7	4.5	4.3	3.7
6.4	6.4	6.1	5.6	5.5	5.3	5.2	5.1	4.6	4.4	4.1
6.5	6.5	6.2	5.7	5.6	5.4	5.3	5.2	4.7	4.5	4.2
6.6	6.6	6.3	6.1	5.7	5.5	5.4	5.3	5.1	4.6	4.3
6.7	6.7	6.4	6.2	6.1	5.6	5.5	5.4	5.2	4.7	4.4
7.1	7.1	6.5	6.3	6.2	5.7	5.6	5.5	5.3	5.1	4.5
7.2	7.2	6.6	6.4	6.3	6.1	5.7	5.6	5.4	5.2	4.6
7.3	7.3	6.7	6.5	6.4	6.2	6.1	5.7	5.5	5.3	4.7
7.4	7.4	7.1	6.6	6.5	6.3	6.2	6.1	5.6	5.4	5.1
7.5	7.5	7.2	6.7	6.6	6.4	6.3	6.2	5.7	5.5	5.2
7.6	7.6	7.3	7.1	6.7	6.5	6.4	6.3	6.1	5.6	5.3
7.7	7.7	7.4	7.2	7.1	6.6	6.5	6.4	6.2	5.7	5.4
8.1	8.1	7.5	7.3	7.2	6.7	6.6	6.5	C'est ainsi que la feuille sera accrochée sur le mur de votre colonie. Cet exemple commence le lundi de la semaine 6		
8.2	8.2	7.6	7.4	7.3	7.1	6.7	6.6			
8.3	8.3	7.7	7.5	7.4	7.2	7.1	6.7			
8.4	8.4	8.1	7.6	7.5	7.3	7.2	7.1			
8.5	8.5	8.2	7.7	7.6	7.4	7.3	7.2	6.7	6.5	6.2
8.6	8.6	8.3	8.1	7.7	7.5	7.4	7.3	7.1	6.6	6.3
8.7	8.7	8.4	8.2	8.1	7.6	7.5	7.4	7.2	6.7	6.4
9.1	9.1	8.5	8.3	8.2	7.7	7.6	7.5	7.3	7.1	6.5
9.2	9.2	8.6	8.4	8.3	8.1	7.7	7.6	7.4	7.2	6.6
9.3	9.3	8.7	8.5	8.4	8.2	8.1	7.7	7.5	7.3	6.7
9.4	9.4	9.1	8.6	8.5	8.3	8.2	8.1	7.6	7.4	7.1
9.5	9.5	9.2	8.7	8.6	8.4	8.3	8.2	7.7	7.5	7.2
9.6	9.6	9.3	9.1	8.7	8.5	8.4	8.3	8.1	7.6	7.3
9.7	9.7	9.4	9.2	9.1	8.6	8.5	8.4	8.2	7.7	7.4

30% CF 30% CF 15% CF 0% CF

Semaine	XX							XX							XX							Temps min							
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7								
#	Jour																												
Tâches de traitement																													
6	<p>Nettoyage des larves</p> <ul style="list-style-type: none"> · Préparer 8 seaux avec des linges à tofu · Accrocher les lignes à tofu à l'intérieur des seaux · Mettre 5 kg de larves récoltées par seau · Laver les larves à l'eau jusqu'à ce qu'elles soient propres · Laisser les larves s'égoutter, les enlever du tissu et placer dans un grand bac avec la tourbe de coco 																												20
7	<p>Broyage de déchets (M5)</p> <ul style="list-style-type: none"> · Préparer le seau de transfert des déchets sous le broyeur · Broyer tous les déchets séparés · Remplacer le seau de transfert plein et peser 																												90
8	<p>Préparer et mettre en place les unités d'incubation</p> <ul style="list-style-type: none"> · Préparer 36 unités d'incubation propres · Ajouter 1 kg de substrat à chaque incubateur · Placer 4 unités d'incubation dans une caisse · Répéter le processus jusqu'à ce que 36 unités soient faites · Préparer 36 coupes de 10'000 5-DOL et ajouter une coupe à chaque unité · Placer les caisses dans le cadre de l'incubateur et ajouter l'étiquette 																												30
9	<p>Configurer les unités larvaires</p> <ul style="list-style-type: none"> · Prendre des caisses avec le total de 36 unités d'incubation à partir de la date la plus ancienne · Préparer 36 caisses larvaires avec palette et 5 cadres de ventilations · Peser 9 kg de substrat, les ajouter à la caisse et ajouter le contenu d'une incubateur · Répéter les étapes pour les 36 unités larvaires · Mise en place d'une palette : placer 6 caisses par niveau et les couvrir de cadre de ventilation, répéter 5 fois pour chaque palette 																												40
10	<p>Entretien du compostage (M6)</p> <ul style="list-style-type: none"> · Ajouter les déchets provenant de la collecte, de la récolte et de l'opération de pépinière sur le tout nouveau tas de compost · Retourner le tas de compost · Retourner les vieux tas de compost une fois par semaine 																												30

Semaine		XX							XX							XX							Temps min
#	Jour	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	
Tâches de traitement																							
11	Nettoyage des caisses et des seaux · Déplacer tous les matériaux de la pépinière et de l'opération de traitement des déchets vers la zone de nettoyage dans le bâtiment du compost · Nettoyer avec un nettoyeur haute pression																						90
Tâches d'entretien																							
U1	Nettoyer la zone de broyage des déchets · Laveuse haute pression																						10
U2	Zone de récolte propre · Balayer le sol																						10
U3	Zone de compostage propre · Laveuse haute pression																						15
U4	Stockage propre du compost · Balayer le sol																						30
U5	Salle de stockage propre · Balayer le sol et les surfaces																						15
U6	Laver les torchons de tofu (60-90 °C)																						15

Semaine		XX							XX							XX							Temps min
#	Jour	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	
Tâches de suivi et de mesure																							
M1	Tri des déchets · Mesurer et noter le poids des déchets reçus à partir de différentes sources de déchets																						10
M2	Récolte de palettes · Mesurer et noter le poids de chaque caisse d'une palette en plaçant des piles de 3 sur la balance																						10
M3	Séparation manuelle des résidus · Mesurer et noter le poids des larves après avoir éliminé manuellement les résidus																						10
M4	Traitement des résidus · Mesurer et noter le poids du résidu fin après ensachage																						10
M5	Broyage de déchets · Mesurer et noter le poids des déchets après le broyage																						10
M6	Entretien du compost · Mesurer et noter le poids des différents flux de résidus avant de les empiler																						10
Total																						640	

D

Annexe D

Fiche de suivi des paramètres de productivité dans l'unité d'élevage

Nom du responsable		Code de date	
--------------------	--	--------------	--

Données sur les œufs

Code de la date de ce jour

Données cage d'amour	Masse des œufs récoltés (g)	Commentaires
12.2	67.3	
	73.5	Poids de la masse de l'œuf à partir de la cage d'amour
11.5	-	

Code de date de la cage d'amour gérée

Données sur les 5-DOL

Date bac d'éclosion	# 5-DOL en 2 grammes		Moyenne (#)	Masse 5-DOL (g)	# de 5-DOL
11.4	971	953	962	1,558	750,000

Données sur les Pré-pupes

Masse totale x Moyenne

Date bac de la pépinière de larves	Masse pré-pupes (g)	Date bac de la pépinière de larves	Masse pré-pupes (g)
10.6	113		
	145		
	67		
9.7	105		
Masse 100 PP (échantillons de tous les PP) 2x	1: 26.3 g	2: 25.5 g	Moyenne: 25.9 g

Garde la trace du nombre de pré-pupes récoltées dans les conteneurs du bac de la pépinière de larves

Poids d'un échantillon aléatoire de 200 pré-pupes prélevées de la récolte groupée de conteneurs du bac de la pépinière de larves d'aujourd'hui

Pré-pupes dans la boîte de nymphose

Date cage sombre pour le récipient de nymphose	# de boîtes	PP ajouté par boîte ce jour (g)	Total PP (g)
12.4	16	500	1500

Code de la date future de la cage sombre qui sera mise en place avec ces conteneurs de pupation

Pré-pupes cumulées par conteneur de nymphose. Voir la fiche d'hier pour le nombre précédent

Remplissage de la cage d'amour

Réglage	Vide	1 ^{er} lot	2 ^{ème} lot	3 ^{ème} lot	4 ^{ème} lot	5 ^{ème} lot	masse 20 mouches
ID cage sombre		9.3	10.3	11.3			1.68 g
Masse cage d'amour	914	921	1,144	1,634			

IDs des cages sombres auxquelles sont liées les cages d'amour

Poids de la cage d'amour vide (avec cintre)

Poids cumulé cage d'amour après chaque connexion à une cage sombre (y compris le cintre)

D

Annexe D

Copie maîtresse de la fiche de suivi des paramètres de productivité dans l'unité d'élevage

Nom du responsable		Code de date	
--------------------	--	--------------	--

Données sur les œufs

Données cage d'amour	Masse des œufs récoltés (g)	Commentaires

Données sur les 5-DOL

Date bac d'éclosion	# 5-DOL en 2 grammes	Moyenne (#)	Masse 5-DOL (g)	# de 5-DOL

Données sur les Pré-pupes

Date bac de la pépinière de larves	Masse pré-pupes (g)	Date bac de la pépinière de larves	Masse pré-pupes (g)
Masse 100 PP (échantillons de tous les PP) 2x	1:	2:	Moyenne:

Pré-pupes dans la boîte de nymphose

Date cage sombre pour le récipient de nymphose	# de boîtes	PP ajouté par boîte ce jour (g)	Total PP (g)

Remplissage de la cage d'amour

Réglage	Vide	1 ^{er} lot	2 ^{ème} lot	3 ^{ème} lot	4 ^{ème} lot	5 ^{ème} lot	masse 20 mouches
ID cage sombre							
Masse cage d'amour							

Commentaires

--

Nom du responsable		Code de date	
--------------------	--	--------------	--

Tri et prétraitement des déchets

Source de déchets	Reçu (kg)	Types de substrat et fractions de déchets	Vers la transformation (kg)
<p>Notez l'origine des différents flux de biodéchets arrivant sur le site.</p>		Type:	<p>Notez les différents types de substrats entrant dans le traitement des BSF (par exemple, fruits, déchets de restaurants, produits de boulangerie).</p>
		Type:	
		Compostage	
		Recyclage des matières inorganiques	

Récolte de palettes

Code de palette :		Code de palette :		Code de palette :	
	Poids (kg)		Poids (kg)		Poids (kg)
Caisse 1 + 2 + 3		Caisse 1 + 2 + 3		Caisse 1 + 2 + 3	
Caisse 4 + 5 + 6		Caisse 4 + 5 + 6		Caisse 4 + 5 + 6	
Caisse 7 + 8 + 9		Caisse 7 + 8 + 9		Caisse 7 + 8 + 9	
Caisse 10 + 11 + 12		Caisse 10 + 11 + 12		Caisse 10 + 11 + 12	
Caisse 13 + 14 + 15		Caisse 13 + 14 + 15		Caisse 13 + 14 + 15	
Caisse 16 + 17 + 18		Caisse 16 + 17 + 18		Caisse 16 + 17 + 18	
Caisse 19 + 20 + 21		Caisse 19 + 20 + 21		Caisse 19 + 20 + 21	
Caisse 22 + 23 + 24		Caisse 22 + 23 + 24		Caisse 22 + 23 + 24	
Caisse 25 + 26 + 27		Caisse 25 + 26 + 27		Caisse 25 + 26 + 27	
Caisse 28 + 29 + 30		Caisse 28 + 29 + 30		Caisse 28 + 29 + 30	
Caisse 31 + 32 + 33		Caisse 31 + 32 + 33		Caisse 31 + 32 + 33	
Caisse 34 + 35 + 36		Caisse 34 + 35 + 36		Caisse 34 + 35 + 36	
Poids total (kg)		Poids total (kg)		Poids total (kg)	
Larves		Larves		Larves	
Résidu séparé manuellement		Résidu séparé manuellement		Résidu séparé manuellement	
Résidus (calculé)		Résidus (calculé)		Résidus (calculé)	

Poids de toutes les larves de la palette après séparation mécanique

Résultats après soustraction du poids des larves et triage manuel de matériau du poids total

Poids du résidu manuellement séparé

Échantillonnage pour l'entrée du substrat, la sortie des résidus et les larves

Pallet code:	DATE + CODE de palette:			DATE + CODE de palette:			DATE + CODE de palette:		
	50g Substrat	50g Résidus	20 LMSN	50g Substrat	50g Résidus	20 LMSN	50g Substrat	50g Résidus	20 LMSN
Plateau 1									
Humide+T1									
Sec+T1									
Plateau 2									
Humide+T2									
Sec+T2									
Plateau 3									
Humide+T3									
Sec+T3									

Indiquer le code de la palette en fonction du calendrier de l'annexe E

Indiquez la masse exacte des échantillons avec ±50g de substrat, ±50g de résidu et 20 LMSN comptées

Indiquer le poids du plateau vide, puis plateau + matériau humide et ensuite poids du plateau + matériau sec après séchage

Nom du responsable		Code de date	
--------------------	--	--------------	--

Tri et prétraitement des déchets

Source de déchets	Reçu (kg)	Types de substrat et fractions de déchets	Vers la transformation (kg)
		Type:	
		Compostage	
		Recyclage des matières inorganiques	

Récolte de palettes

Code de palette :		Code de palette :		Code de palette :	
	Poids (kg)		Poids (kg)		Poids (kg)
Caisse 1 + 2 + 3		Caisse 1 + 2 + 3		Caisse 1 + 2 + 3	
Caisse 4 + 5 + 6		Caisse 4 + 5 + 6		Caisse 4 + 5 + 6	
Caisse 7 + 8 + 9		Caisse 7 + 8 + 9		Caisse 7 + 8 + 9	
Caisse 10 + 11 + 12		Caisse 10 + 11 + 12		Caisse 10 + 11 + 12	
Caisse 13 + 14 + 15		Caisse 13 + 14 + 15		Caisse 13 + 14 + 15	
Caisse 16 + 17 + 18		Caisse 16 + 17 + 18		Caisse 16 + 17 + 18	
Caisse 19 + 20 + 21		Caisse 19 + 20 + 21		Caisse 19 + 20 + 21	
Caisse 22 + 23 + 24		Caisse 22 + 23 + 24		Caisse 22 + 23 + 24	
Caisse 25 + 26 + 27		Caisse 25 + 26 + 27		Caisse 25 + 26 + 27	
Caisse 28 + 29 + 30		Caisse 28 + 29 + 30		Caisse 28 + 29 + 30	
Caisse 31 + 32 + 33		Caisse 31 + 32 + 33		Caisse 31 + 32 + 33	
Caisse 34 + 35 + 36		Caisse 34 + 35 + 36		Caisse 34 + 35 + 36	
Poids total (kg)		Poids total (kg)		Poids total (kg)	
Larves		Larves		Larves	
Résidu séparé manuellement		Résidu séparé manuellement		Résidu séparé manuellement	
Résidus (calculé)		Résidus (calculé)		Résidus (calculé)	

Échantillonnage pour l'entrée du substrat, la sortie des résidus et les larves

Pallet code:	DATE + CODE de palette:			DATE + CODE de palette:			DATE + CODE de palette:		
	50g Substrat	50g Résidus	20 LSMN	50g Substrat	50g Résidus	20 LSMN	50g Substrat	50g Résidus	20 LSMN
Plateau 1									
Humide+T1									
Sec+T1									
Plateau 2									
Humide+T2									
Sec+T2									
Plateau 3									
Humide+T3									
Sec+T3									

Nom du responsable		Code de date	
--------------------	--	--------------	--

L'exploitant de ce jour

Code de la date de ce jour

Méthode de séchage

Matériel de séchage utilisé	Séchoir à tambour (torréfaction)
-----------------------------	----------------------------------

Données de séchage

Masse à l'entrée (kg)	Masse à la sortie (kg)	Temps de séchage (minutes)	Commentaires
5	1.5	35	
5	1.5	35	
5	1.5	35	
5	1.5	35	
Total à l'entrée (kg)	Total à la sortie (kg)		
20	6		

Quantité de larves ajoutée au séchoir

Quantité de larves retirée du séchoir

Temps passé dans le séchoir

A la fin de la journée, résumer la masse totale « à l'entrée »

A la fin de la journée, résumer la masse totale « à la sortie »

Données sur les larves pour le fractionnement

Code de date de production	Commentaires
19.2	Larves rôtis

Code de date de production des larves séchées

Type de larves séchées

Fractionnement

Larves à l'entrée (kg)	Tourteau de presse à la sortie (kg)	Huile brute à la sortie (kg)	Commentaires
20	14		

Quantité totale de larves ajoutées à la presse à vis

Quantité totale de tourteaux de pressage et d'huile brute de BSF obtenue

Broyage de tourteau

Tourteau de presse sec à l'entrée (kg)	Farine à la sortie (kg)	Commentaires
14	14	

Quantité de farine collectée

Raffinage de l'huile

Huile brute à l'entrée (kg)	Huile à la sortie (kg)	Commentaires
4	2.5	

Quantité d'huile collectée

Nom du responsable		Code de date	
--------------------	--	--------------	--

Méthode de séchage

Matériel de séchage utilisé	
-----------------------------	--

Données de séchage

Masse à l'entrée (kg)	Masse à la sortie (kg)	Temps de séchage (minutes)	Commentaires
Total à l'entrée (kg)	Total à la sortie (kg)		

Données sur les larves pour le fractionnement

Code de date de production	Commentaires

Fractionnement

Larves à l'entrée (kg)	Tourteau de presse à la sortie (kg)	Huile brute à la sortie (kg)	Commentaires

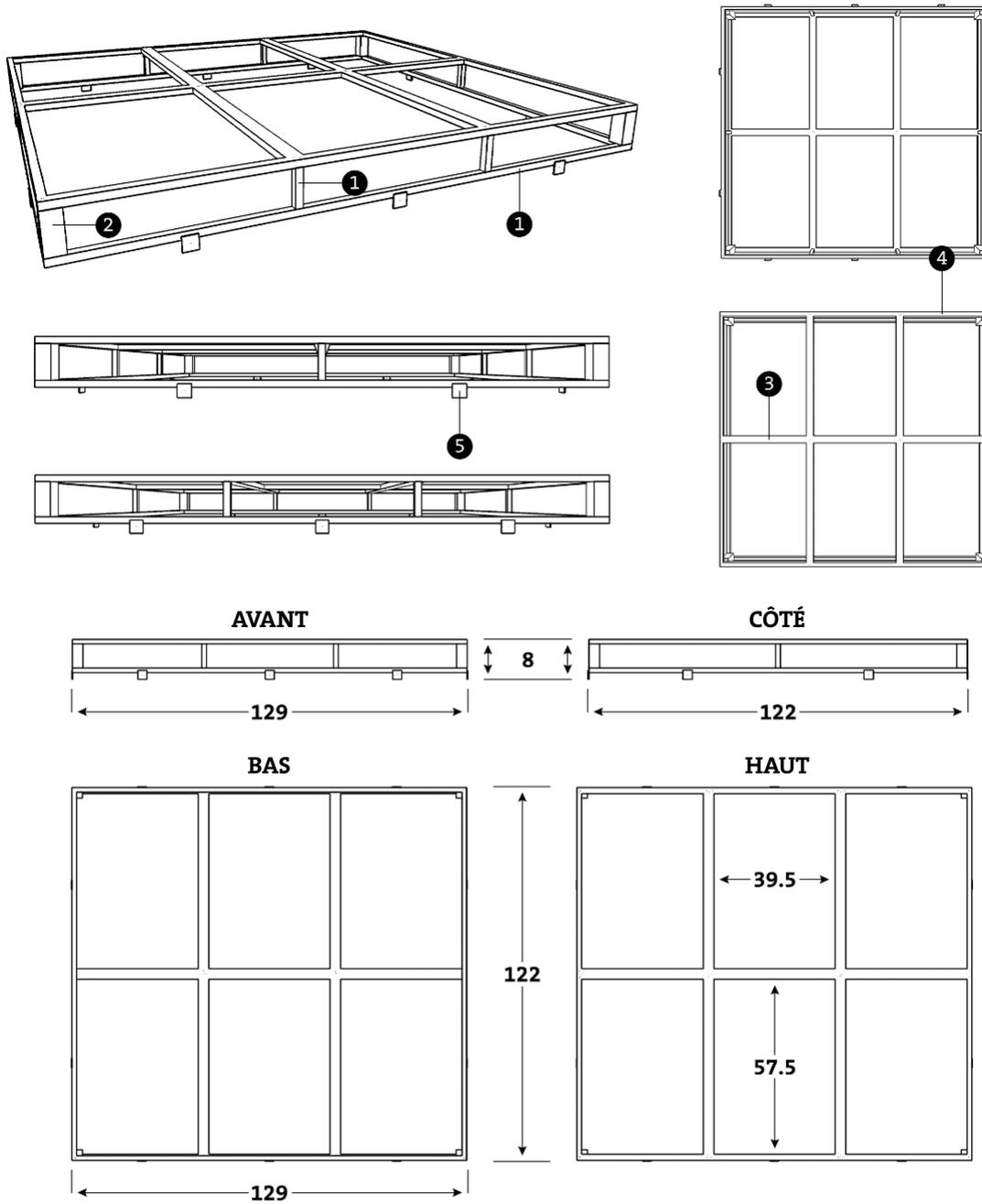
Broyage de tourteau

Tourteau de presse sec à l'entrée (kg)	Farine à la sortie (kg)	Commentaires

Raffinage de l'huile

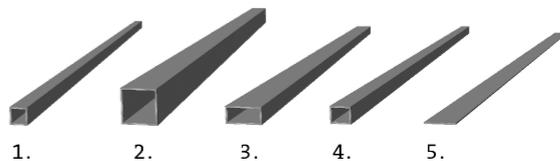
Huile brute à l'entrée (kg)	Huile à la sortie (kg)	Commentaires

Cadre de ventilation pour l'empilage des bacs à larves

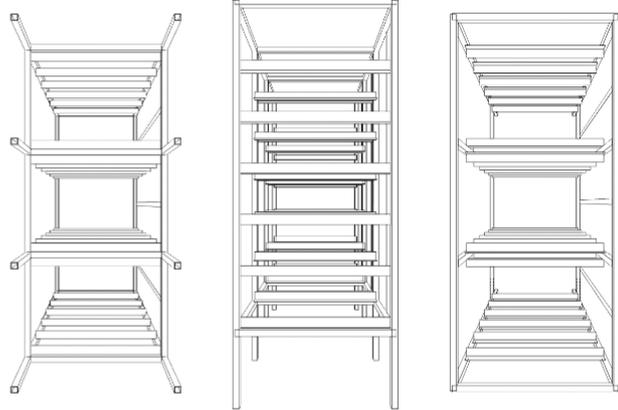
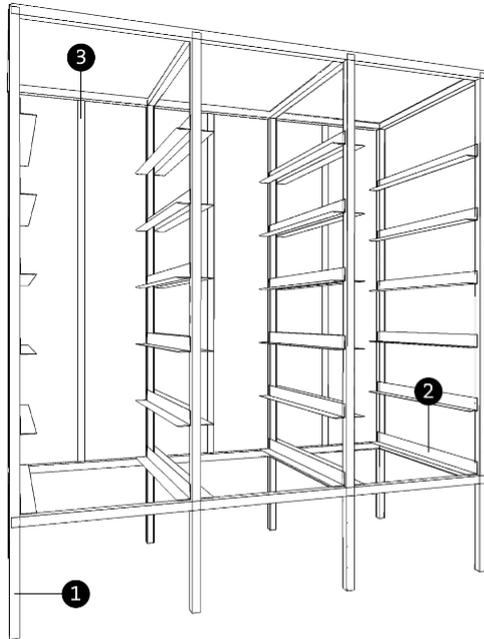


Matériel utilisé

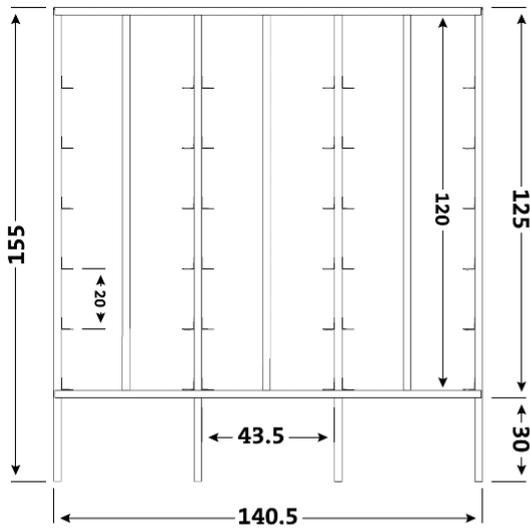
1. 1.75 x 1.75 cm tube creuse en acier carré
2. 3.5 x 3.5 tube creuse en acier carré
3. 3.5 x 1.75 cm tube creuse en acier carré
4. 2 x 1.75 cm tube creuse en acier carré
5. 3 cm plaque d'acier



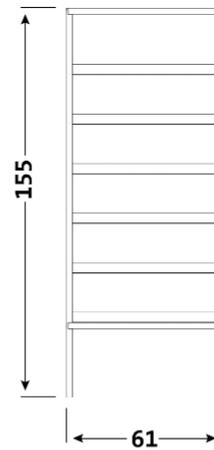
Cadre pour l'empilage des incubateurs



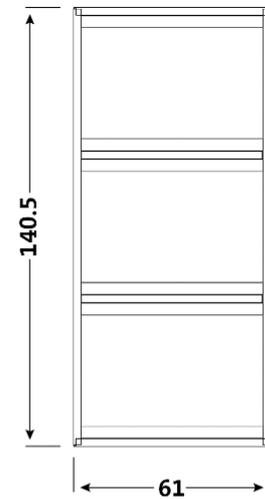
AVANT



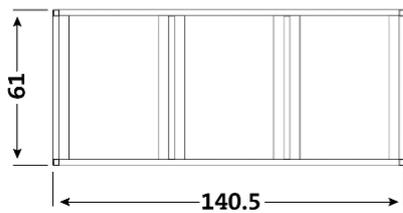
CÔTÉ



HAUT

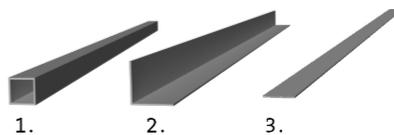


BAS

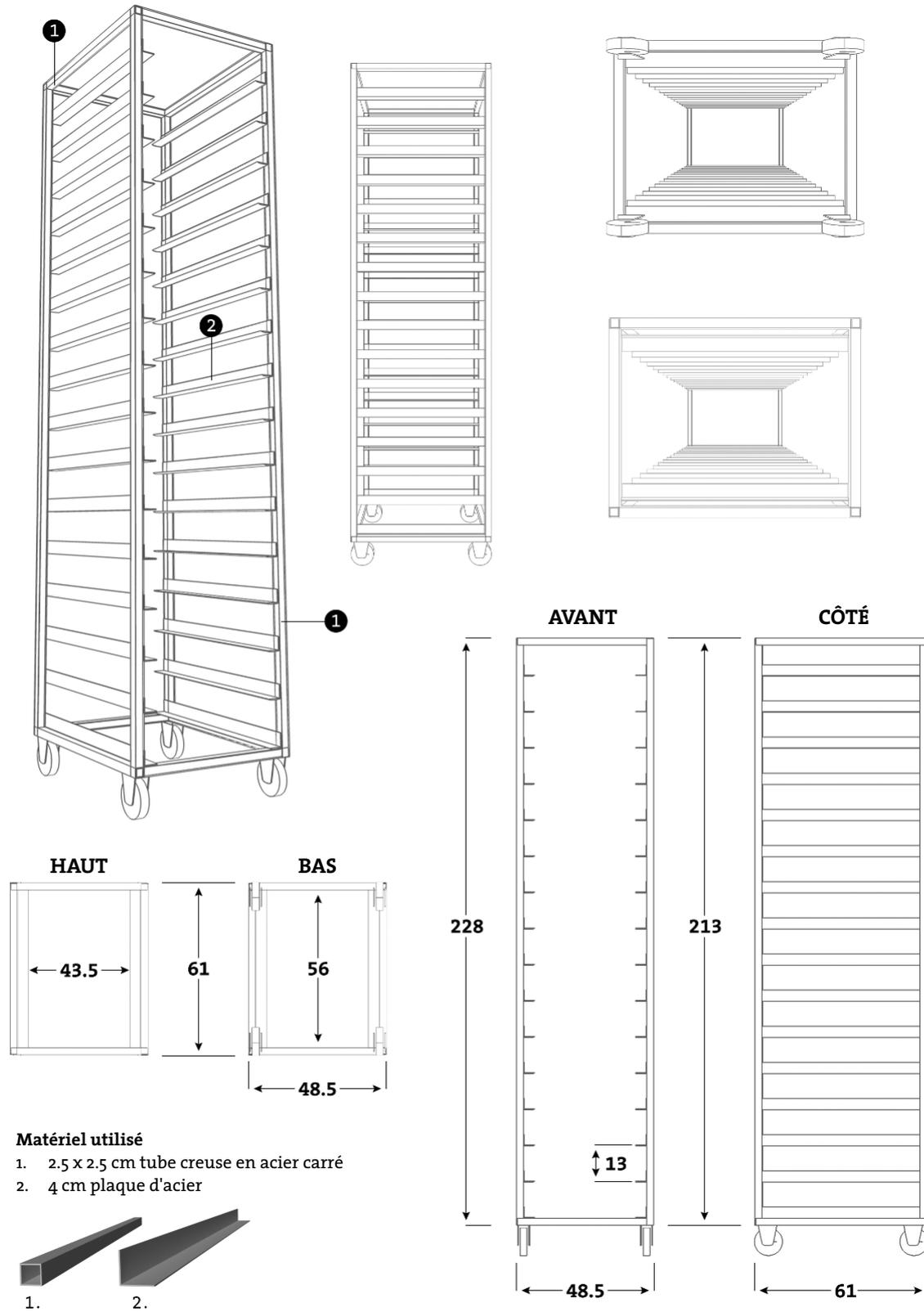


Matériel utilisé

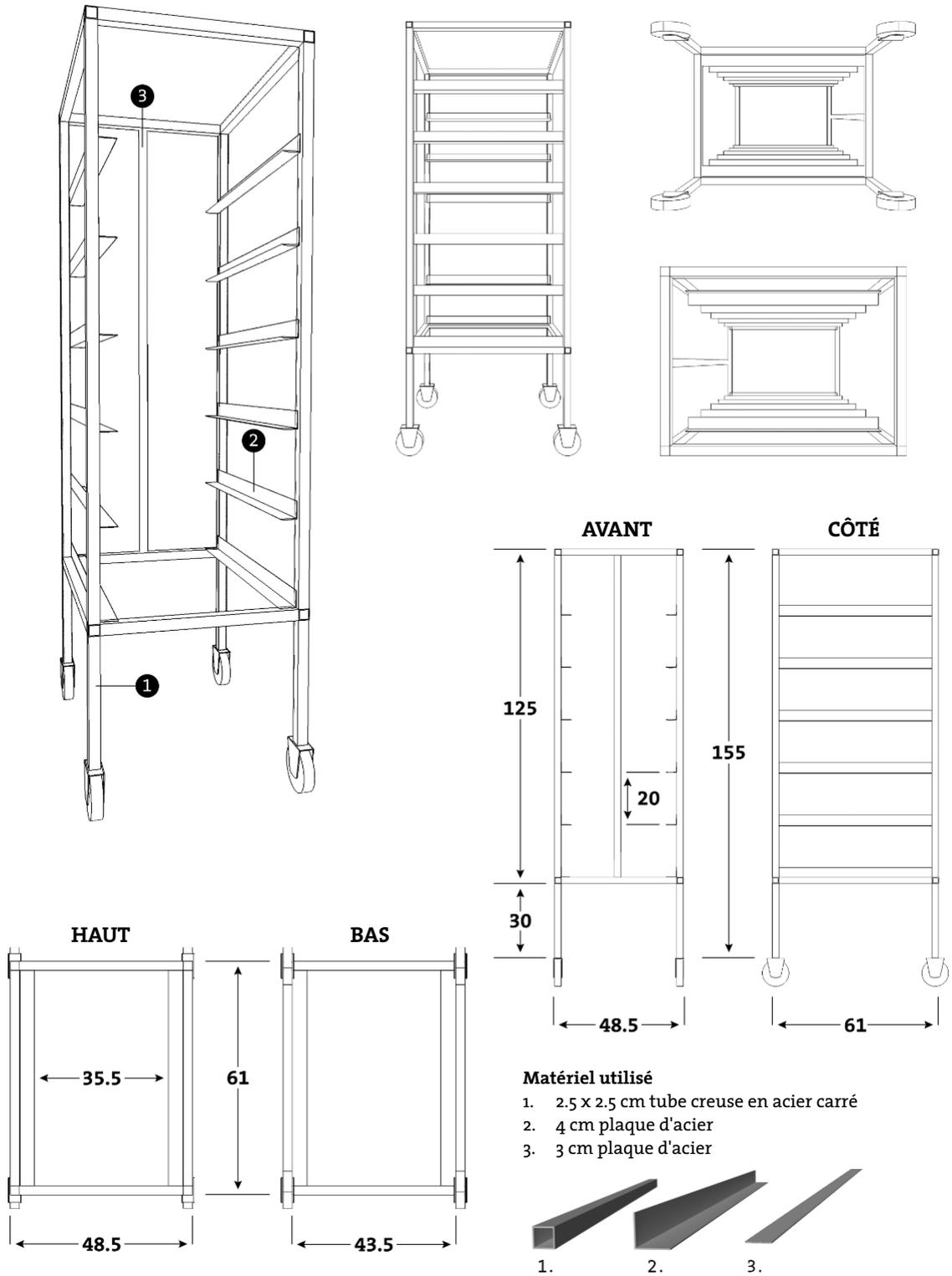
1. 2.5 x 2.5 cm tube creuse en acier carré
2. 4 cm plaque d'acier
3. 3 cm plaque d'acier



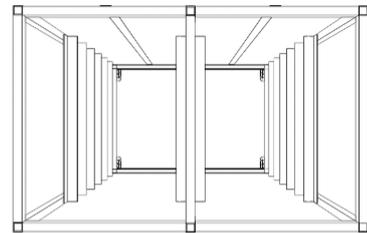
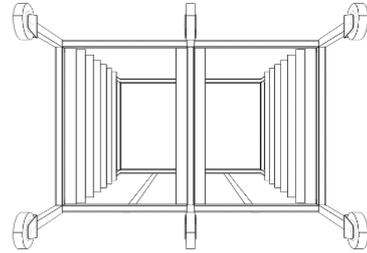
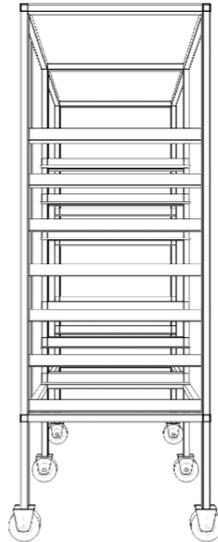
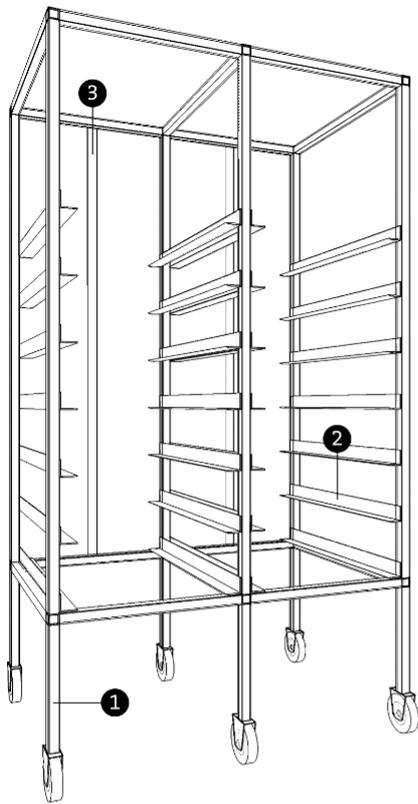
Cadre pour empiler les cages de nymphose



Etagère pour les bacs de la pépinière de larves

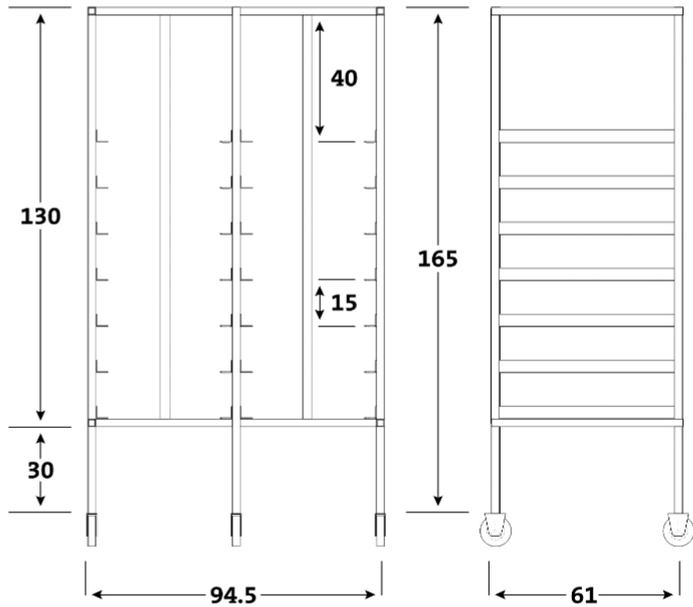


Cadre de douche d'éclosion

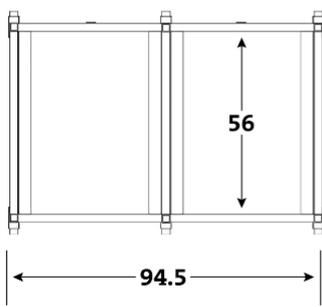


AVANT

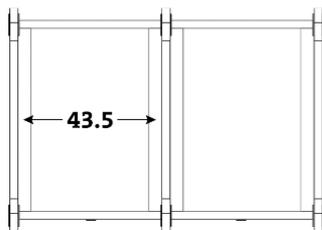
CÔTÉ



HAUT

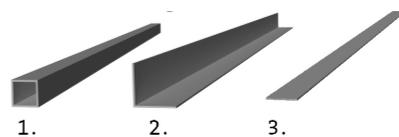


BAS

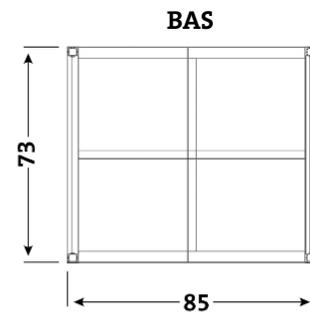
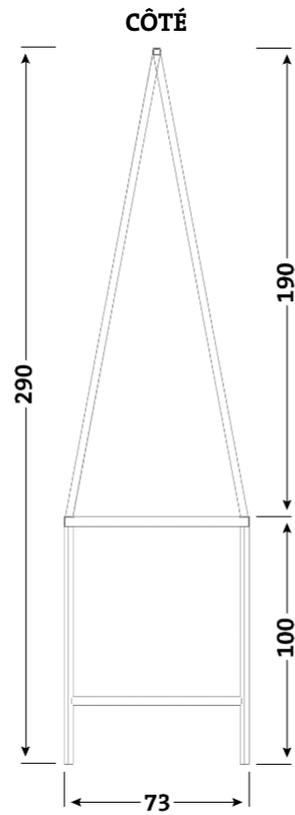
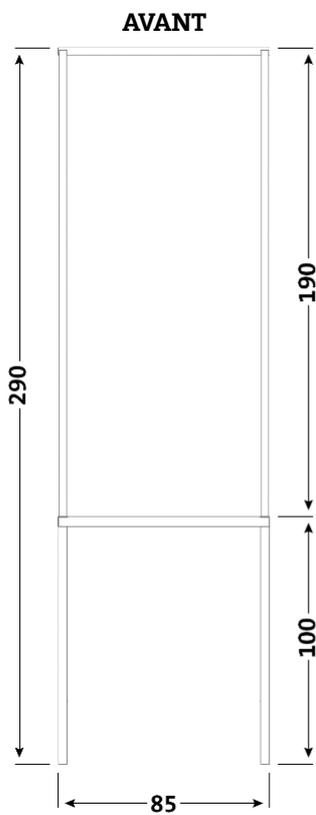
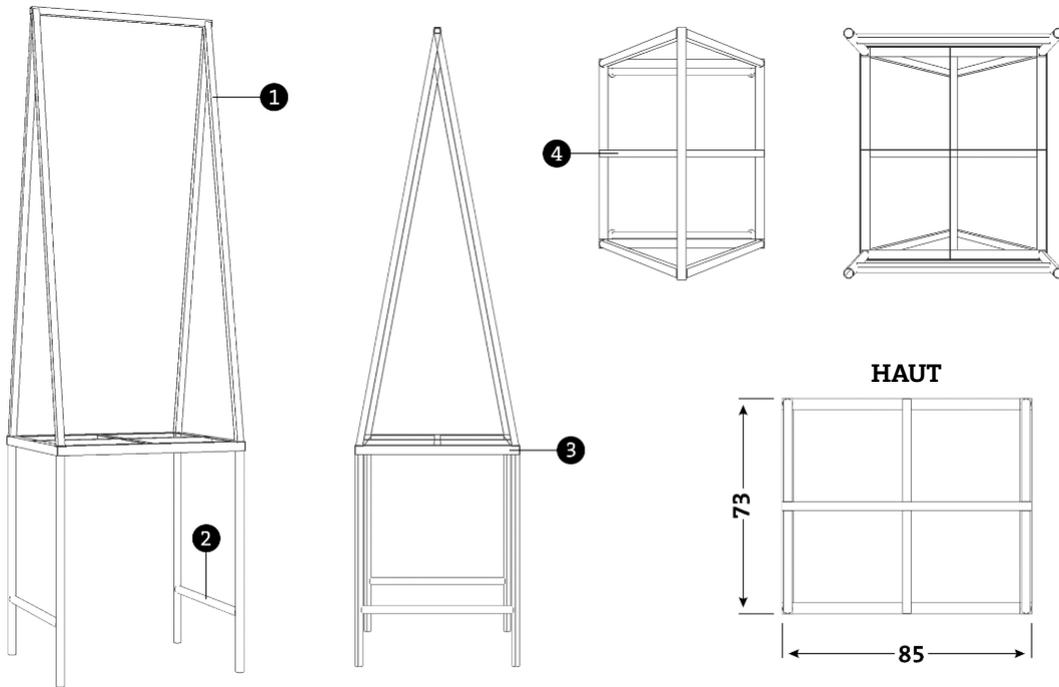


Matériel utilisé

1. 2.5 x 2.5 cm tube creuse en acier carré
2. 4 cm plaque d'acier
3. 3 cm plaque d'acier

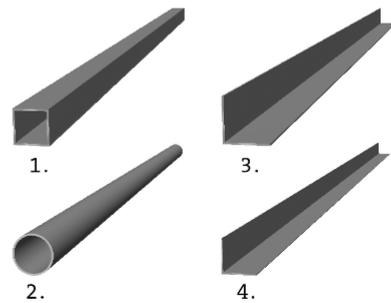


Cadre de transfert mobile pour cage d'amour

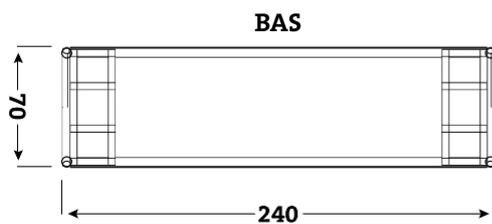
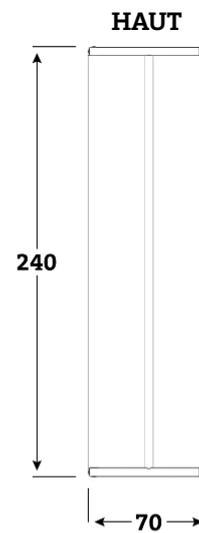
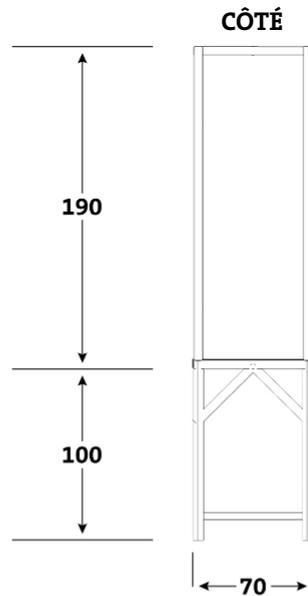
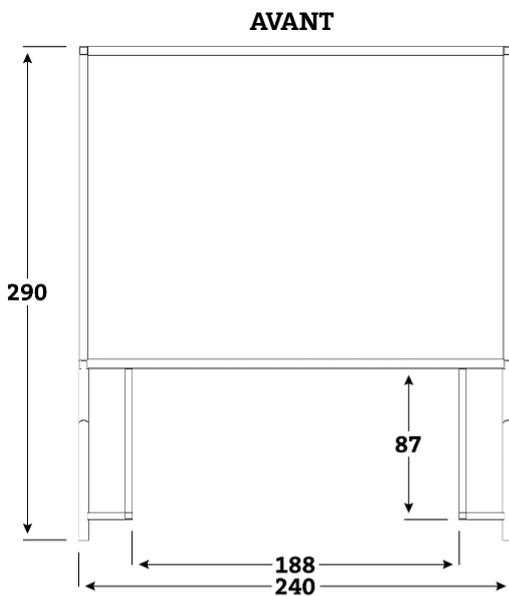
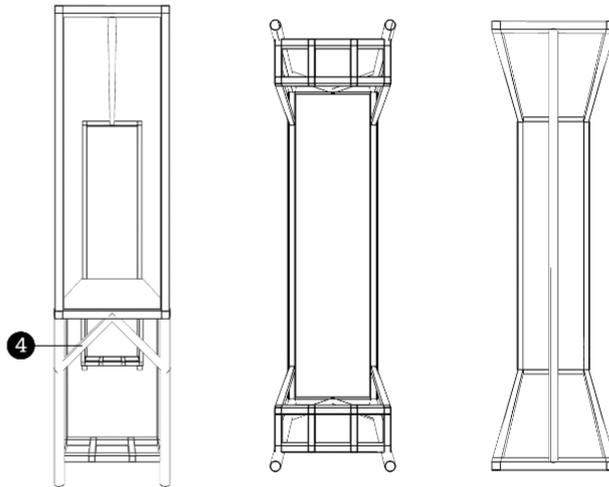
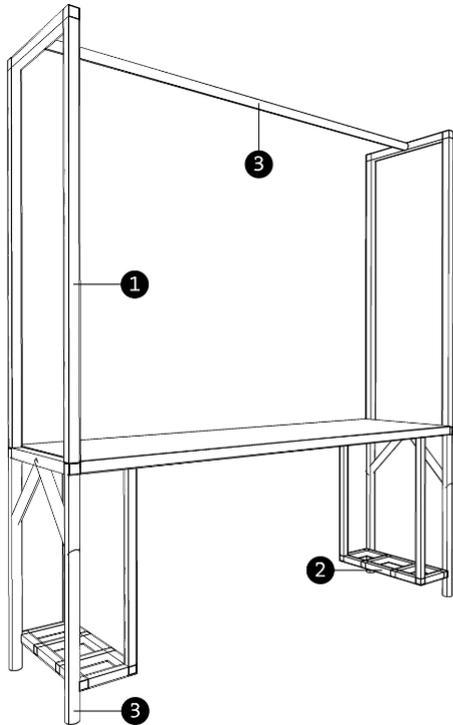


Matériel utilisé

1. 3 x 3 cm tube creux carré en acier
2. 3 cm tube creux en acier
3. 4 cm plaque d'acier
4. 3 cm plaque d'acier

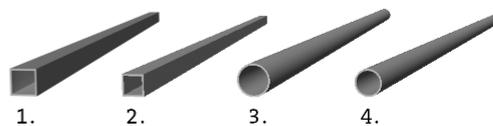


Cadre de table cage d'amour

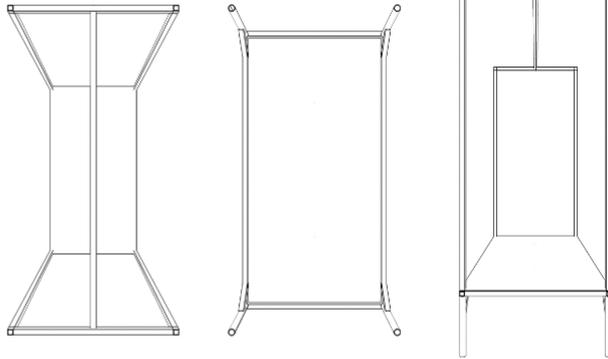
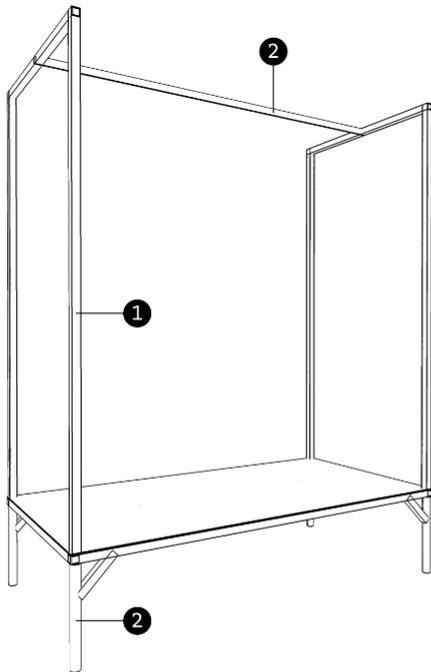


Matériel utilisé

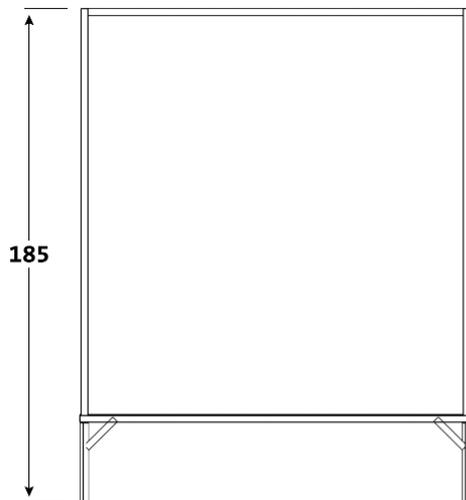
1. 2.5 x 2.5 cm tube creuse en acier carré
2. 2 x 2 cm tube creuse en acier carré
3. 3 cm tube creuse en acier
4. 2.5 cm tube creuse en acier



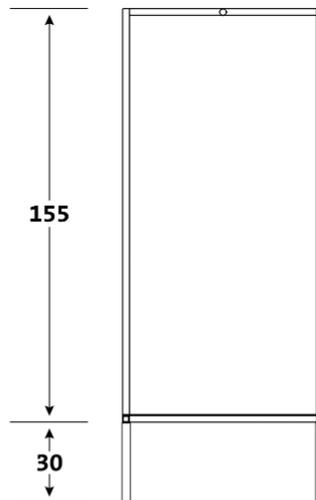
Cadre de table cage sombre



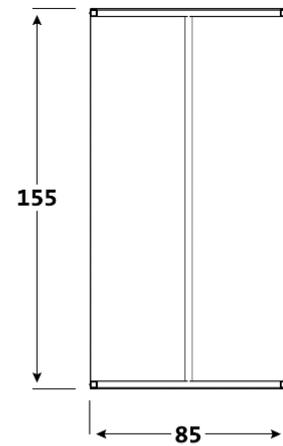
AVANT



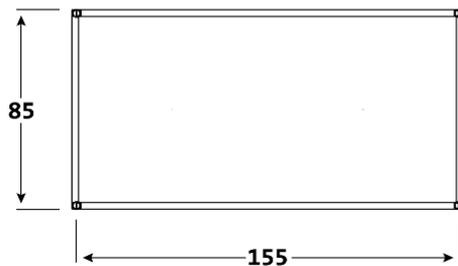
CÔTÉ



HAUT

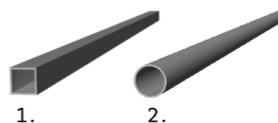


BAS

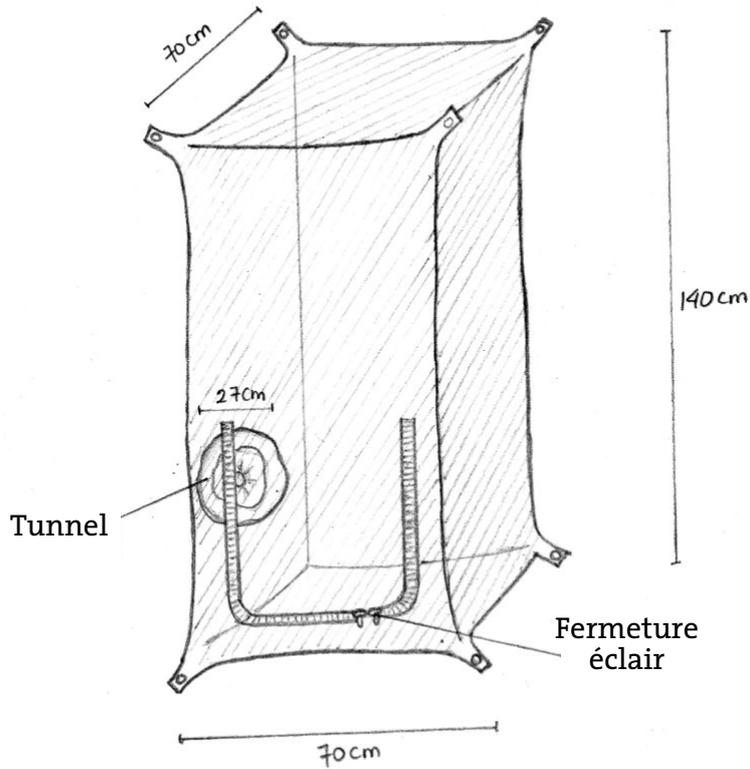


Matériel utilisé

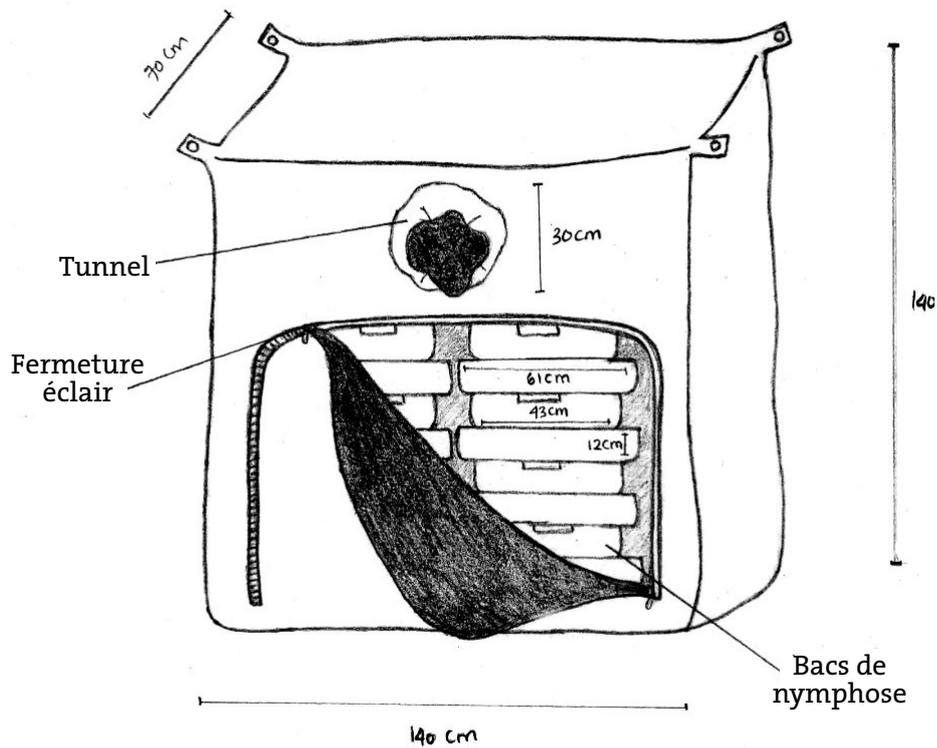
1. 2,5 x 2,5 cm tube creuse en acier carré
2. 3 cm tube creuse en acier



Cage d'amour



Cage sombre



Nom de l'article	Dimensions	Unités requises	Capacité / unité	
Unité d'élevage MSN				
Bacs de nymphose	60 × 40 × 12	186	7,500	Pré-pupes/caisse
Cadre bacs de nymphose	243 × 48.5 × 61	5	16	Caisses/cadres
Cage sombre	140 × 140 × 70	8	16	Caisses/cages
Cadre cage sombre	145 × 75 × 190	8	1	Cadre de la cage
Mélangeur de ciment	Max 350 kg	1	512	Caisses/jour/mixeur
Cage d'amour	140 × 70 × 70	29	8,000	Mouches/cage
Supports d'œufs	25 × 5 × 3	290	10	Supports/cage
Moissonneuse mouches	290 × 73 × 85	1	12	Cages sombres/moissonneuse
Cadre de la cage d'amour	289 × 240 × 70	10	3	Cages/cadres
Bac d'éclosion	60 × 40 × 12	63	665,000	5-DOL/caisse
Cadre de douche d'éclosion	165 × 94.5 × 61	4	10	Caisses/cadres
Porte-œufs	D4.5	40	10	Supports/cadre
Bac de la pépinière de larves	55x35 × 14	75	10,000	Larve/bac
Bac de transfert	60 × 40 × 12	75	1	Conteneur/bac à larve
Etagère bacs de la pép. de larves	155 × 48.5 × 61	12	6	Conteneur/cadre
Bacs de stockage en vrac	80 L	6	5,000,000	5-DOL/triple lot de bacs
Table de travail	180 × 70 × 60	1	6	Cadres/tables de pépinière
Balance pour vrac	Max 150 kg	1	10,000,000	5-DOL/balance
Balance pour vrac	Max 35 kg	2	4,000,000	5-DOL/balance
Balance de précision	Max 2 kg	4	2,000,000	5-DOL/balance
Machine à laver	Max 5 kg	1	16	Cages/machine à laver
Unité de conversion LMSN				
Incubateurs	30 × 20 × 10	3,875	1	kg déchets/caisse
Caisse de support d'incubation	60 × 40 × 15	969	4	Incubateurs/caisse
Cadre de l'incubateur	155 × 141 × 61	39	18	Caisses/cadre
Bacs à larves	60 × 40 × 15	3,875	11	kg déchets/caisse
Palette	129 × 122 × 15	108	36	Caisses/palettes
Cadres de ventilation	129 × 122 × 12	540	5	Cadres par palette
Chariot à palettes	Max 2 ton	2	2,520	kg déchets/trolley
Broyeur	1 tonne/heure	1	8,000	kg déchets/broyeur/jour
Tamis à secousses	1 tonne/heure	1	3,150	kg résidus/passoire/jour
Nettoyeur haute pression	-	2	2,520	kg déchets/unité/jour
Balance pour vrac	Max 150 kg	3	2,000	kg déchets/unité/jour
Unité de post-traitement de LMSN (seule la capacité est fournie, car la quantité dépend du choix des produits)				
Kit de d'assainissement	Sur mesure		120	kg larves fraîches/jour
Micro-ondes de cuisine	32 L		8	kg larves fraîches/jour
Micro-onde industrielle	Max-30B		210	kg larves fraîches/jour
Poêle Wok pour torréfaction	Sur mesure		24	kg larves fraîches/jour
Séchoir à tambour pour le grillage	Sur mesure		60	kg larves fraîches/jour
Four	Sur mesure		30	kg fresh larvae/day
Presse à vis	DL-ZYJ10B		40	kg larves séchées/jour
Presse à vis industrielle	ZX80		160	kg larves séchées/jour
Broyeur	AGR-GRP-180		480	kg tourteau/jour

Eawag
Überlandstrasse 133
8600 Dübendorf
Suisse
Téléphone +41 (0)58 756 52 86
www.eawag.ch
www.sandec.ch

Cet ouvrage traite des déchets organiques urbains provenant des ménages, des activités commerciales et des institutions. Il décrit l'approche de la valorisation des biodéchets par les larves d'insectes, en prenant l'exemple de la mouche soldat noire (MSN), *Hermetia illucens*.

Ce biosystème artificiel consiste à nourrir des biodéchets séparés aux larves de MSN, qui sont élevées dans une pépinière. Les larves se développent sur les déchets et en réduisent la biomasse. À la fin du processus, les larves sont récoltées et, si nécessaire, transformées en un produit d'alimentation animale approprié. Ce guide est destiné à un usage pratique. Il explique les matériaux et équipements nécessaires, ainsi que chaque étape de travail, à la manière d'un livre de cuisine avec ses recettes respectives et les matériaux requis. Il comprend toutes les informations nécessaires pour développer et exploiter une installation de traitement des déchets MSN, capable de traiter cinq tonnes de déchets par jour. Cette deuxième édition de 2021 s'appuie sur la première version publiée en 2017. Elle inclut nos expériences plus récentes et décrit les évolutions ainsi que nos suggestions actualisées. En particulier, cette deuxième édition comporte de nouveaux chapitres sur le post-traitement des larves et la commercialisation des produits à base de larves, sur l'analyse des coûts des opérations de BSF et des installations respectives, ainsi que des informations sur la conception du site et les options de modèles commerciaux pour le traitement des déchets de MSN.

Cette deuxième édition a bénéficié de manière significative de deux projets. "FORWARD" c'est un projet de R&D bascerté en Indonésie et financé par le Secrétariat d'État à l'économie suisse (SECO), dans le cadre d'un accord-cadre avec le ministère indonésien des travaux publics et du logement (PU-PeRa). Il travaille en étroite collaboration avec les autorités gouvernementales nationales et locales, avec des chercheurs indonésiens et avec des entreprises privées sélectionnées pour faire progresser et généraliser la mise en œuvre du traitement des déchets par la MSN. "SIBRE" est un projet de recherche financé par la Fondation SwissRe dont l'objectif est de générer des connaissances et des outils sur le traitement des déchets MSN à l'intention des petites et moyennes entreprises et des municipalités. L'accent a été mis principalement sur les perspectives économiques et le développement de protocoles standard pour les produits dérivés des larves de MSN et leur test dans le contexte indonésien.