



CLIMATE &  
CLEAN AIR  
COALITION  
TO REDUCE SHORT-LIVED  
CLIMATE POLLUTANTS

a UNEP convened initiative

# CRÉER DES OPPORTUNITÉS POUR LE TRAITEMENT DES DÉCHETS À L'AIDE DE LA MOUCHE SOLDAT NOIRE (BSF)

## Le guide pour les opérateurs

Septembre 2025



Cette publication peut être reproduite en tout ou en partie et sous quelque forme que ce soit à des fins éducatives ou non lucratives sans autorisation spéciale du détenteur des droits d'auteur, à condition que la source soit mentionnée. Le Programme des Nations Unies pour l'environnement apprécierait de recevoir un exemplaire de toute publication utilisant cette publication comme source. Cette publication ne peut être utilisée à des fins de revente ou à toute autre fin commerciale sans l'autorisation écrite préalable du Programme des Nations Unies pour l'environnement. Les demandes d'autorisation, accompagnées d'une déclaration précisant l'objet et l'étendue de la reproduction, doivent être adressées au Directeur de la Division de la communication, Programme des Nations Unies pour l'environnement, P. O. Box 30552, Nairobi 00100, Kenya.

**Avertissements**

Les appellations employées et la présentation des données dans cette publication n'impliquent en aucune manière l'expression d'une opinion quelconque de la part du Secrétariat des Nations Unies concernant le statut juridique d'un pays, d'un territoire, d'une ville ou d'une zone, ou de ses autorités, ni concernant la délimitation de ses frontières ou limites.

La mention d'une société commerciale ou d'un produit dans le présent document n'implique pas l'approbation du Programme des Nations Unies pour l'environnement ou des auteurs. L'utilisation des informations contenues dans le présent document à des fins publicitaires ou promotionnelles n'est pas autorisée. Les noms et symboles de marques commerciales sont utilisés à des fins rédactionnelles, sans intention d'enfreindre les lois sur les marques commerciales ou les droits d'auteur.

Les opinions exprimées dans cette publication sont celles des auteurs et ne reflètent pas nécessairement celles du Programme des Nations Unies pour l'environnement. Nous regrettons toute erreur ou omission qui aurait pu être commise involontairement. Ni les auteurs ni le Programme des Nations Unies pour l'environnement ne peuvent être tenus responsables des dommages résultant de l'utilisation de ce document.

© Cartes, photos et illustrations comme spécifié.

Photo de couverture: Bram Dortmans/Eclose

**Citation suggérée :**

Climate and Clean Air Coalition (2025). Créer des opportunités pour le traitement des déchets par la mouche soldat noire (BSF) : une boîte à outils pour les opérateurs. Paris.

# Remerciements

## Détails du contrat :

Ce document a été élaboré dans le cadre du projet «Biomass Utilisation By Insects For Green Solutions In Africa » (BUGS-AFRICA) financé par la Climate and Clean Air Coalition (CCAC) et du projet « Sustainable Waste-based Insect Farming Technologies » (SWIFT) financé par le programme « Solution-Oriented Research for Development » (SOR4D), subvention n° 400440\_213241/1.

Les auteurs remercient les experts suivants pour toutes leurs contributions.

- Africa Circular : Maja Biemann
- Carbon Turnaround : Herwig A. Ragossnig
- PREVENT Waste Alliance : Martin Kerres, Carina Martens

## Présenté par :

Africa Circular Foundation  
Mauritsweg 44  
3012 JV Rotterdam, Pays-Bas

## Auteurs :

Christian Zurbrügg,  
Daniela A. Peguero,  
Stefan Diener,  
Bram Dortmans,  
Piotr Barczak

## Personnes à contacter :

Bram Dortmans ;  
[Bram.Dortmans@eclose.info](mailto:Bram.Dortmans@eclose.info)

Daniela Peguero ;  
[Daniela.Peguero@eawag.ch](mailto:Daniela.Peguero@eawag.ch)

Secrétariat du CCAC:

[secretariat@ccacoalition.org](mailto:secretariat@ccacoalition.org)

# Table des matières

1	Préparer le terrain	6
1.1	Qu'est-ce que la conversion des biodéchets par la mouche soldat noire ?	6
1.2	Justification et portée	7
2	Éléments d'une installation de conversion des biodéchets par les BSF	10
2.1	Approvisionnement en substrat	12
2.2	Unité de reproduction des mouches	13
2.3	Unité d'élevage	15
2.4	Traitement des produits	17
2.5	Utilisation et/ou vente	17
2.6	Sécurité, hygiène et maintenance	18
2.7	Garantir le bien-être des BSF	19
3	Indicateurs clés de performance dans l'élevage des BSF	21
4	Modèles opérationnels dans la conversion des biodéchets par les BSF	24
4.1	Modèles de production	24
4.1.1	Échelle des opérations et choix de la technologie	24
4.1.2	Emplacement des opérations	25
4.2	Principale proposition de valeur et modèle économique	26
4.2.1	Production d'aliments et/ou de déjections	27
4.2.2	Gestion des déchets et crédits carbone	28
4.2.3	Production d'œufs ou de jeunes larves	29
4.2.4	Production de produits de niche à forte valeur ajoutée	30
5	Procédures opérationnelles standard	33
6	Planification et mise à l'échelle de la conversion des biodéchets par les mouches soldats noires	35
6.1	Évaluation de la faisabilité	35
6.2	Stratégie commerciale et planification	36
6.2.1	Évaluation financière	36
6.2.2	Conception pilote et validation du concept	37
6.2.3	Surmonter les défis liés au développement de votre entreprise	37
7	Dépannage dans la conversion des biodéchets par les BSF	40
8	Lectures clés	41

# Préparation du terrain

# 1 Préparer le terrain

Ce guide destiné aux opérateurs s'adresse aux opérateurs actuels et potentiels dans le domaine de la conversion des biodéchets par les mouches soldats noires (BSF), aux entrepreneurs, aux investisseurs et aux ONG. Il offre des conseils pratiques sur la planification de la mise en œuvre des BSF ainsi que sur la standardisation des opérations quotidiennes en fonction du choix des options du système et des éléments technologiques nécessaires à ces applications.

Cette boîte à outils s'appuie sur des rapports existants et des données pratiques, en particulier :

- [Climate and Clean Air Coalition \(2025\)](#). Transformer les déchets organiques grâce aux mouches soldats noires : un guide à l'intention des décideurs, des entrepreneurs et des responsables de la mise en œuvre pour exploiter le potentiel des systèmes de conversion des déchets organiques par les mouches soldats noires.
- [Diener, S., et Gold, M. \(2022\)](#). Étude mondiale sur le secteur des mouches soldats noires, Fonds climatique infranational.
- [Zurbrügg C., et al. \(2024\)](#). Le traitement des déchets par les mouches soldats noires est-il une solution durable ? Une approche d'évaluation de la faisabilité.
- [Dortmans B.M.A., et al \(2021\)](#). Traitement des biodéchets par les mouches soldats noires - Guide étape par étape, 2e édition.

## 1.1 Qu'est-ce que la conversion des biodéchets par la mouche soldat noire ?

La technologie de conversion des biodéchets par la mouche soldat noire (*Hermetia illucens*) est une approche innovante, durable et efficace de la gestion des déchets organiques (biodéchets). Elle répond aux défis de la gestion des déchets tout en produisant des aliments riches en protéines, des amendements organiques pour les sols et d'autres sous-produits précieux. En outre, la conversion des biodéchets par la mouche soldat noire offre plusieurs opportunités commerciales intéressantes dans divers secteurs.

- Elle répond à un besoin croissant en sources de protéines durables pour les industries de l'aquaculture, de la volaille, de l'élevage porcin et des aliments pour animaux de compagnie.
- Elle offre une alternative rentable et écologique aux aliments traditionnels à base de farine de poisson et de soja.
- Elle répond à une prise de conscience et à une demande croissantes en

matière d'engrais organiques (frass) destinés à l'agriculture et au jardinage.

- Elle fournit des engrais durables et riches en nutriments qui favorisent des rendements agricoles sains.
- Elle crée des produits qui peuvent être vendus ou utilisés pour remplacer en partie les produits conventionnels, réduisant ainsi la dépendance vis-à-vis des produits importés.
- Elle offre un service et une solution de gestion des déchets aux producteurs de déchets ou aux autorités locales chargées de la gestion des déchets (par exemple, les municipalités, les grands producteurs alimentaires et les exploitations agricoles) qui recherchent des alternatives durables à l'élimination des déchets et des innovations en faveur d'une économie circulaire.
- Elle ouvre des opportunités pour fournir des services d'éducation et de formation ainsi que des services de conseil.

La technologie de conversion des biodéchets par les BSF exploite la capacité des larves de BSF à convertir les biodéchets en produits de valeur. Le processus commence

par la collecte et le prétraitement des biodéchets, qui peuvent inclure des déchets alimentaires, des résidus agricoles et du fumier. Dans l'unité de reproduction, les œufs de BSF éclosent en larves néonates (larves nouvellement écloses). Après cinq jours d'élevage avec une alimentation nutritive (par exemple, de la nourriture pour poulets), les larves âgées de cinq jours (5-DOL) sont ensuite introduites dans les biodéchets, où elles les consomment et les décomposent rapidement. Pendant environ deux semaines, les larves se nourrissent de biodéchets, grandissent et réduisent considérablement le volume des biodéchets, jusqu'à 75 %. Avant atteindre le stade de pré-pupes, où elles deviennent brun foncé, les larves sont récoltées et peuvent ensuite être utilisées ou transformées en aliments pour animaux ou en d'autres produits. Les excréments restants (résidus larvaires) sont riches en nutriments et en micro-organismes bénéfiques, et peuvent servir d'engrais organique et d'amendement du sol (figure 2-2).

Les principaux avantages de la technologie de conversion des biodéchets par les BSF peuvent être résumés comme suit :

- La technologie BSF recycle les déchets organiques (déchets biologiques) en produits utiles, réduisant ainsi l'utilisation des décharges et les émissions de méthane qui en découlent.
- Les larves de BSF traitent rapidement les déchets, offrant un débit de traitement élevé et une réduction du volume des biodéchets.
- La technologie BSF génère de la biomasse pour l'alimentation animale, réduisant ainsi la dépendance vis-à-vis des sources d'alimentation importées et conventionnelles.
- La technologie BSF est polyvalente et peut être mise en place à l'aide d'équipements peu coûteux et avec de faibles besoins en énergie par rapport

aux méthodes conventionnelles de traitement des déchets.

- La technologie BSF convient à différents types de biodéchets et est adaptable aux petites exploitations agricoles comme aux grandes installations industrielles.
- La polyvalence de la conversion des biodéchets par les BSF ouvre de nombreuses perspectives aux entrepreneurs et aux entreprises pour développer des activités durables et rentables, des partenariats stratégiques, des produits innovants et des solutions évolutives qui peuvent positionner efficacement ces entreprises sur les marchés locaux.

## 1.2 Justification et portée

La conversion des biodéchets par les BSF suscite un intérêt croissant de la part de divers acteurs. Cela se traduit par des investissements dans de grandes entreprises de BSF à travers le monde, mais aussi par la création de nouvelles entreprises à petite et moyenne échelle. C'est particulièrement le cas dans les pays à faible et moyen revenu, où les entreprises de BSF s'appuient de plus en plus sur des approches décentralisées et peu technologiques pour donner aux agriculteurs, aux entrepreneurs et aux communautés les moyens de créer des emplois, d'accroître leur résilience en s'attaquant à leurs problèmes de déchets et de produire eux-mêmes leurs aliments pour animaux et leurs engrains.

Malgré l'intérêt croissant pour la conversion des biodéchets par les BSF, sa généralisation a jusqu'à présent été entravée par plusieurs obstacles. Parmi les problèmes courants, on peut citer :

- Le partage limité des connaissances a été identifié comme un obstacle majeur. L'échange d'informations est très difficile car les réseaux sont dispersés et informels. Les connaissances sont

- souvent dispersées dans des articles de recherche difficiles d'accès et de compréhension. Les programmes pilotes ainsi que les installations de BSF existantes manquent de documentation sur leur configuration et leurs procédures, ou ne sont délibérément pas partagés afin d'obtenir un avantage concurrentiel. Tout cela rend plus difficile l'obtention de conseils consolidés.
- Dans certaines régions, il existe un manque de ressources accessibles et complètes ou de bonnes pratiques pour la mise en place et la gestion d'exploitations agricoles de BSF, en particulier pour les agriculteurs ou les nouveaux entrepreneurs. La conversion des biodéchets par les BSF nécessitant des connaissances spécifiques en biologie, en environnement et en ingénierie, les agriculteurs ou les exploitants sans formation spécialisée peuvent rencontrer des difficultés pour planifier ou optimiser leurs activités.
- Les entrepreneurs ou les agriculteurs peuvent également manquer d'informations claires sur les réglementations, les certifications ou les opportunités de marché, ce qui nécessite un partage des connaissances et une collaboration.

Outre les nouvelles plateformes de partage des connaissances, telles que la communauté WhatsApp « [BSF-Africa](#) », cette boîte à outils espère combler en partie cette lacune.

La portée du présent document se concentre sur les installations simplifiées de conversion des biodéchets par les BSF à petite et moyenne échelle, principalement basées sur la main-d'œuvre et non industrialisées, ainsi que sur les aspects opérationnels de ces systèmes. Le choix des systèmes couverts dans cette boîte à outils se concentre uniquement sur les systèmes 2, 3 et 4 des six systèmes décrits par [la Climate and Clean Air Coalition \(2025\)](#) :

- SYSTÈME 1 : Système domestique à micro-échelle
- SYSTÈME 2 : Approche BSF simplifiée SIMBA
- SYSTÈME 3 : Installation centralisée dans une région tropicale
- SYSTÈME 4 : Système décentralisé basé sur des conteneurs
- SYSTÈME 5 : Installation centralisée de moyenne à grande échelle
- SYSTÈME 6 : Pionniers de l'industrie à grande échelle

Après avoir présenté les éléments clés d'une opération de conversion des biodéchets par les BSF (**chapitre 2**) et les indicateurs de performance clés pour l'exploitation d'une conversion des biodéchets par les BSF (**chapitre 3**), cette boîte à outils présente deux options de modèles de production des BSF et quatre modèles commerciaux différents à prendre en considération (**chapitre 4**). Par la suite, cette boîte à outils propose des conseils consolidés sur les procédures d'exploitation de la conversion des biodéchets par les BSF, également appelées « procédures d'exploitation standard » pour une approche BSF simplifiée (SIMBA), ainsi qu'un guide étape par étape pour l'exploitation d'une installation de petite à moyenne taille (**chapitre 5**). Si vous envisagez de mettre en place un système de conversion des biodéchets par les BSF, le **chapitre 6** propose une approche de planification et de mise en œuvre par étapes, puis décrit brièvement les considérations financières liées à la mise en œuvre et à l'exploitation d'un système de BSF. Pour la modélisation des coûts et des revenus ainsi que l'estimation des émissions de gaz à effet de serre (GES), des liens vers des outils Excel sont fournis. Le **chapitre 7** énumère certains aspects du dépannage dans le cadre de la conversion des biodéchets par les BSF. Enfin, le **chapitre 8** fournit d'autres lectures clés sur la conversion des biodéchets par les BSF.



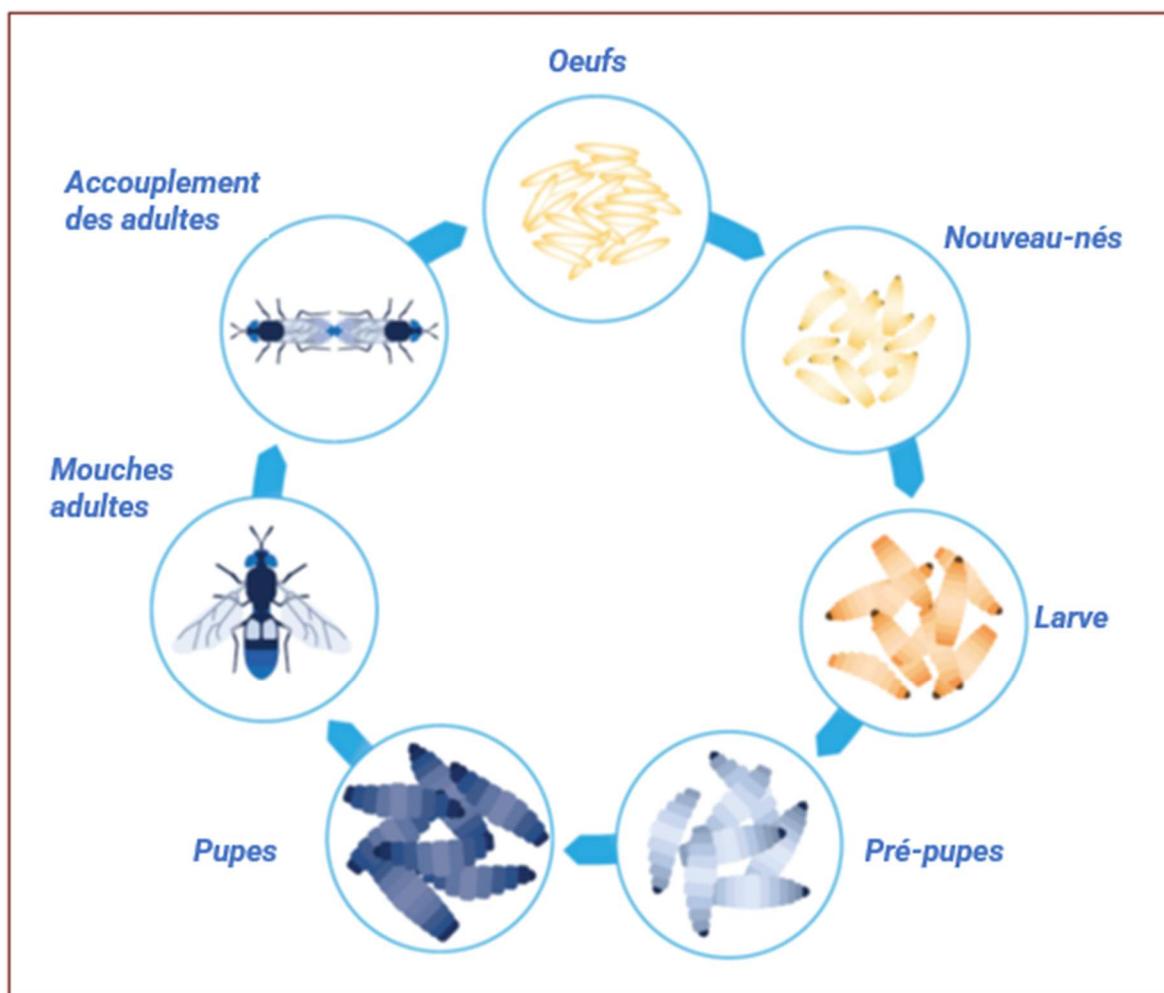
# Éléments de la conversion des biodéchets par les BSF

## 2 Éléments d'une installation de conversion des biodéchets par les BSF

Les BSF sont naturellement présents dans les zones tropicales et subtropicales du monde entier. Les conditions optimales pour leur cycle de vie sont réunies dans les zones où la température varie entre 25 °C et 30 °C et où le taux d'humidité est compris entre 60 et 80 %. Ces zones sont donc particulièrement adaptées à l'installation de conversion des biodéchets par les BSF.

Pour optimiser la production et l'efficacité d'une installation de conversion des biodéchets par les BSF, il est fondamental de comprendre le cycle de vie des BSF. Figure 2-1 illustre le cycle de vie des BSF. L'importance des différentes étapes pour la conversion des biodéchets est expliquée ci-dessous.

Figure 2-1: Les étapes du cycle de vie de la mouche soldat noire

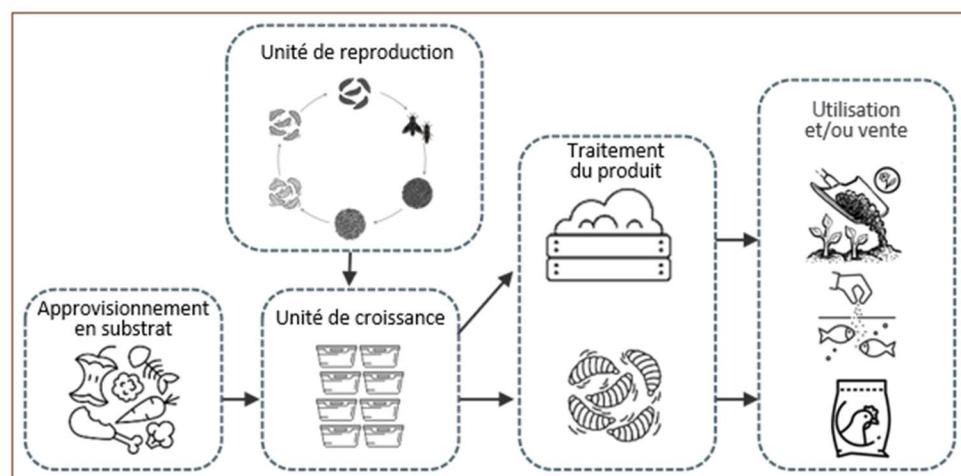


Source : Climate and Clean Air Coalition (2025)

- **Stade œuf à larve** : une mouche femelle adulte pond entre 300 et 800 œufs dans des crevasses près de matières organiques en décomposition. Ces œufs éclosent en 2 à 3 jours. Les larves nouvellement émergées (également appelées néonates ou éclosions) commencent immédiatement à se nourrir. Les larves de la mouche soldat noire se nourrissent d'une grande variété de matières organiques et les transforment ainsi en biomasse précieuse.
- **Stade larvaire à pré-pupal** : pendant environ 10 à 14 jours, les larves se nourrissent de biodéchets et passent de moins de 1 mm à environ 2,5 cm (ou en poids : de 0,003 g à 0,2 g), en fonction des caractéristiques du substrat et de sa valeur nutritionnelle. Pour une croissance optimale, les larves ont besoin de biodéchets humides (avec une teneur en humidité d'environ 60 à 75 %) qui leur fournissent suffisamment de nutriments. Une fois arrivées à maturité, les larves entrent au stade de pré-pupes, au cours duquel elles cessent de se nourrir et cherchent des endroits appropriés et sûrs pour se métamorphoser.
- **Stade de la nymphe à la mouche adulte** : une fois que les larves ont trouvé un endroit approprié et sûr, elles passent du stade de pré-pupes à celui de pupes. Les pupes sont de couleur foncée, rigides et immobiles. Le stade de pupes dure environ 14 jours, après quoi les mouches adultes émergent.
- **De la mouche adulte aux œufs** : les mouches adultes n'ont pas besoin de se nourrir et ne peuvent consommer que de l'eau, leur objectif principal étant la reproduction. Dans des conditions idéales (température, humidité et lumière), les mouches s'accouplent et la femelle pond des œufs fertiles dans des crevasses. Le cycle de vie s'achève ainsi en 45 jours environ.

Le cycle de vie des BSF, et donc la conversion des biodéchets, peuvent être optimisés en utilisant le cycle naturel dans les installations de conversion des biodéchets par les BSF. La conception technique et les opérations ont pour objectif de gérer et d'optimiser les étapes du cycle de vie avec leurs exigences et leurs conditions environnementales respectives afin de garantir un processus de bioconversion continu et efficace et une bonne récolte de larves et de déjections. Une installation de conversion des biodéchets par les BSF peut être subdivisée en différents éléments, comme le montre la Figure 2. Chaque élément de l'installation est présenté plus en détail ci-dessous.

**Figure 2-2: Éléments d'une installation de conversion des biodéchets par les BSF**



Source : Eawag

## 2.1 Approvisionnement en substrat

Un facteur essentiel pour optimiser les systèmes de BSF est l'approvisionnement, la préparation et l'utilisation de substrats appropriés (déchets biologiques) dont se nourrissent les larves pour grandir. Les substrats disponibles, leur préparation et leur utilisation ont une incidence directe sur la croissance des larves, l'efficacité de la réduction des déchets et la teneur nutritionnelle des larves et des excréments.

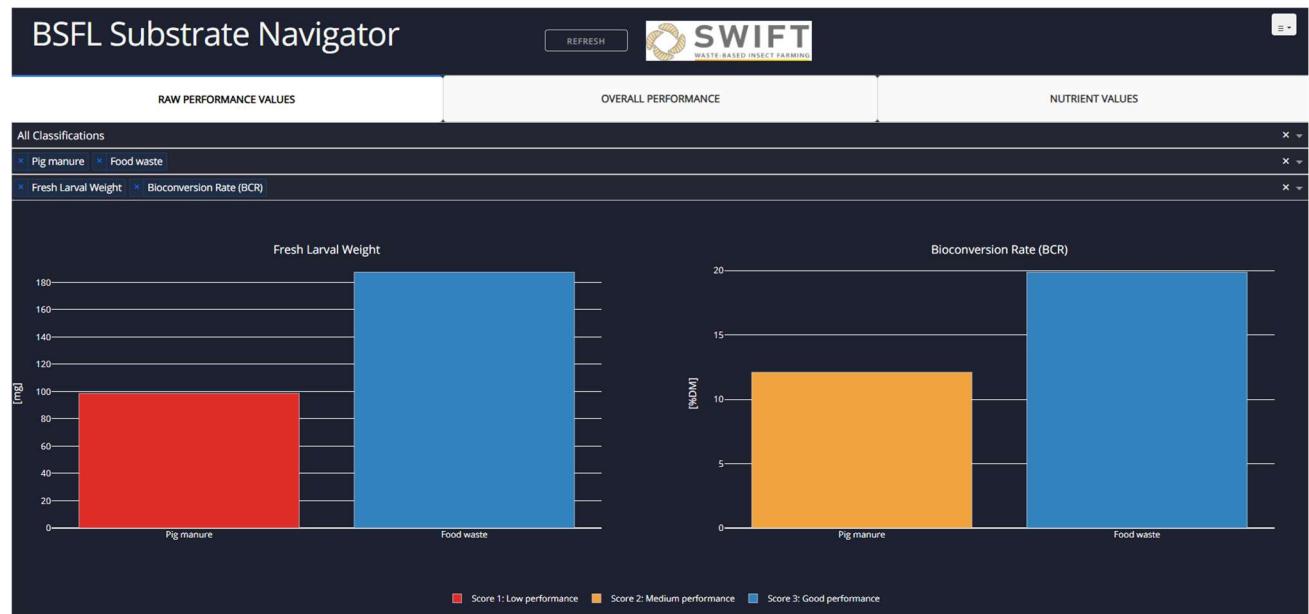
Les larves de BSF se développent particulièrement bien sur des substrats riches en nutriments digestibles tels que les protéines (>10 % de protéines dans la masse sèche totale), les glucides non fibreux (par exemple, l'amidon et le glucose ; 20 à 30 % de la masse sèche), de graisses (10 à 15 % de la masse sèche) et pauvres en

fibres non digestibles (par exemple, hémicellulose, cellulose et lignine) et en matières non organiques. Le taux d'humidité optimal du substrat se situe entre 60 et 75 %. Souvent, une combinaison de différents types de substrats (par exemple, fumier de porc, fruits et légumes ou cultures agricoles) peut être la plus bénéfique pour fournir une alimentation équilibrée et une humidité optimale aux larves.

**Pour évaluer la pertinence des substrats dont vous disposez, vous pouvez utiliser le BSFL Substrate Navigator. Cet outil en ligne est conçu à la fois pour les praticiens et les chercheurs et fournit des informations scientifiques basées sur la littérature concernant les performances et les valeurs nutritives de certains substrats pour les larves de mouches soldats noires (BSFL).**

Figure 2-2 montre un exemple de capture d'écran comparant les valeurs de performance du fumier de porc et des déchets alimentaires en termes de poids des larves fraîches et de taux de bioconversion.

Figure 2-2: Exemple de capture d'écran du *BSFL Substrate Navigator*



Source : <https://bsfl-substrate-navigator.onrender.com/>

Une fois que vous avez déterminé la composition des biodéchets, il est important de s'assurer de leur qualité pour une utilisation ultérieure. Les matériaux à très forte teneur en cellulose et en lignine, tels que le bois, la paille et le papier, ne sont pas digestibles par les BSFL. Ces matériaux doivent être évités comme substrat unique, mais peuvent servir d'agent de charge pour équilibrer l'humidité ou ajouter de la structure au substrat. De plus, les substances toxiques telles que les métaux lourds, les pesticides et les teneurs élevées en sel ou en acide peuvent menacer les larves et doivent être évitées. D'autres contaminants tels que le plastique, le verre ou les métaux peuvent ne pas être nocifs pour les larves, mais doivent être éliminés car cela améliore la sécurité et prévient les dommages physiques aux larves ou à l'équipement. De plus, éviter ces contaminants empêche la pollution des excréments, préservant ainsi la qualité du sol lorsque ceux-ci sont épandus.

La prochaine étape consiste à garantir le niveau d'humidité et à réduire la taille des particules du substrat. Les substrats secs peuvent être humidifiés (par exemple en ajoutant de l'eau ou des déchets alimentaires liquides), tandis que les matériaux trop humides peuvent être drainés ou mélangés à un matériau plus sec (par exemple de la sciure de bois, du son de blé, de la fibre de coco). Le hachage, le broyage ou le concassage augmentent la surface du substrat, ce qui facilite la digestion du matériau par les larves. Une texture fine mais pas trop compacte favorise le mouvement des larves et la circulation de l'oxygène.

Enfin, les substrats préparés doivent être utilisés rapidement ou stockés dans des conteneurs hygiéniques, frais, hermétiques et non corrosifs afin de ralentir la détérioration microbienne ou l'infestation par des parasites. Les substrats frais peuvent être conservés pendant 2 à 5 jours,

mais ne doivent pas dépasser une semaine, sauf s'ils sont traités par fermentation.

L'utilisation des substrats est souvent soumise à des réglementations nationales, en particulier lorsque les larves sont utilisées dans l'alimentation animale. Certains pays limitent l'utilisation de certains types de déchets pour l'alimentation des insectes (par exemple, les déchets contenant de la viande). Le respect des lois locales est essentiel pour les opérations à l'échelle commerciale.

Le choix des substrats légalement autorisés pour la conversion des biodéchets par les BSF est généralement un compromis entre différentes caractéristiques du substrat, telles que : la qualité nutritionnelle, la sécurité, la pureté, les quantités disponibles, la saisonnalité, la complémentarité avec les chaînes de valeur existantes, l'effort logistique d'approvisionnement, les coûts et les avantages environnementaux.

L'approvisionnement en substrats étant un aspect essentiel de l'activité des BSF, la diversification des fournisseurs contribue à réduire les risques de dépendance et de rupture d'approvisionnement. En outre, il est conseillé de conclure des contrats d'approvisionnement à long terme afin de renforcer la résilience de l'activité de BSF.

## 2.2 Unité de reproduction des mouches

L'unité de reproduction des mouches se compose d'une zone, d'une structure et d'équipements dédiés où sont conservées les larves, les pré-pupes, les pupes et les mouches adultes. Cette unité, parfois appelée « cage d'amour », joue un rôle essentiel dans le maintien d'un cycle de production continu de larves afin d'approvisionner l'unité d'élevage et de maintenir un certain nombre de larves pour compléter le cycle de vie.

Les conditions optimales pour l'unité de reproduction des mouches sont les

suivantes : température ambiante comprise entre 25 et 32 °C, humidité de l'air comprise entre 60 et 80 % et lumière (lumières vives et puissantes avec un spectre correspondant à la lumière naturelle du soleil, ou lumière naturelle du soleil) pendant 12 à 16 heures par jour.

Dans l'unité de reproduction, les pupes sont conservées dans des boîtes placées dans des cages en filet (figure 2-4). Lorsque les pupes se transforment en mouches et émergent dans les cages en filet, idéalement à une densité d'environ 5 000 mouches/m<sup>3</sup>, on leur fournit de l'eau à boire et on les stimule à s'accoupler à l'aide de la lumière du soleil. Bien que la lumière soit essentielle, il faut toutefois éviter l'exposition directe au soleil, car cela pourrait entraîner une déshydratation rapide des mouches. Les femelles sont naturellement attirées par les matières organiques en décomposition et pondent leurs œufs dans les crevasses. Afin de tirer parti de ce comportement, on leur fournit délibérément des matériaux comportant des fentes et des crevasses, appelés « eggies », où elles déposent leurs œufs. Ces eggies sont récoltés régulièrement (tous les jours ou tous les deux jours) et transférés vers un autre endroit pour l'éclosion. Les eggies sont placés sur un substrat nutritif dans des boîtes d'éclosion. Les nouveau-nés étant particulièrement sensibles aux conditions environnementales et à la qualité de la nourriture, il est conseillé de les garder dans un environnement contrôlé et protégé dans des conteneurs de nurserie pendant 4 à 7 jours afin d'augmenter leur taux de survie et de les nourrir avec un substrat nutritif spécial (par exemple, de la nourriture pour poulets). Lorsque les œufs éclosent, les nouveau-nés tombent dans le substrat fourni et commencent à se nourrir et à grandir.

Après environ 5 à 7 jours, les jeunes larves sont prêtes à être transférées dans l'unité d'élevage pour la conversion des biodéchets (expliquée dans la section suivante). Environ

2 à 5 % de la population de larves est conservée dans l'unité de reproduction, où elle est nourrie et laissée à croître jusqu'à ce qu'elle atteigne le stade de pupe. Cela clôt le cycle de vie et garantit une reproduction suffisante des mouches pour soutenir la conversion des biodéchets. Bien que plus coûteux, le fait de fournir aux larves de l'unité de reproduction un substrat nutritif contrôlé réduit le risque d'échec.

L'alimentation influe sur les caractéristiques physiologiques et morphologiques des mouches adultes, en particulier sur la fertilité des femelles. Par conséquent, le maintien d'une alimentation constante des larves dans l'unité de reproduction contribue à garantir une colonie saine et productive.

Une autre option consiste à garder toutes les larves dans l'unité d'élevage, puis à en conserver une partie pour qu'elles se transforment en pupes afin de boucler le cycle de vie dans l'unité de reproduction.

La mise en place d'un système de surveillance est essentielle pour suivre les indicateurs clés de performance (ICP) dans l'unité de reproduction (voir chapitre 3). Les ICP les plus importants sont les suivants :

- le nombre de larves conservées pour la pupaison,
- le nombre de pupes,
- le nombre de larves âgées de 5 ou 7 jours obtenues après l'éclosion, et
- la masse d'œufs (en grammes).

Une bonne hygiène dans l'unité de reproduction est essentielle pour maintenir un environnement reproductif sain, ce qui garantit une production d'œufs saine, réduit le risque de maladie et améliore l'efficacité globale de l'unité de reproduction. Cela doit reposer sur des soins de routine, notamment le nettoyage régulier de tous les équipements et des surfaces, ainsi qu'une lutte minutieuse contre les parasites.

Figure 2-3: Éléments d'une unité de reproduction.

		
Cages d'amour dans une installation au Kenya	Œufs dans des passoires à thé au-dessus de la nourriture – ce qu'on appelle la « douche des nouveau-nés »	Conteneurs de nurserie pour produire de nouvelles pré-pupes pour l'unité de reproduction (Ouganda)

Source : ©Eclose

### 2.3 Unité d'élevage

L'unité d'élevage comprend la conversion des déchets par les larves et la récolte des larves et des excréments. Dans l'unité d'élevage, les jeunes larves (âgées de 5 à 7 jours), provenant de l'unité de reproduction, sont nourries avec des biodéchets dans des caisses, des bassins, des conteneurs ou d'autres enclos pendant une période d'environ 10 jours. L'objectif est d'obtenir une croissance optimale des larves pendant cette période, tout en maintenant les coûts opérationnels aussi bas que possible.

La taille des conteneurs utilisés détermine le nombre de larves et la quantité de substrat. Les paramètres « densité des larves » (nombre de larves par  $\text{cm}^2$  de surface du conteneur) et « quantité de substrat » (kg par  $\text{cm}^2$  de surface) sont les deux paramètres critiques dans le fonctionnement de l'unité d'élevage, la densité des larves étant idéalement réduite en fonction de l'âge (et donc de la taille) des larves. Les formules indiquées dans tableau -21 fournissent une estimation de ces valeurs en fonction de la taille du conteneur.

**Tableau 2-1: Calcul du nombre de larves et de la quantité de biodéchets en fonction de la surface du conteneur**

Nombre de larves âgées de 5 à 10 jours, par conteneur	= surface du conteneur (en cm <sup>2</sup> ) × 30
Nombre de larves âgées de 10 à 17 jours, par conteneur	=Surface du conteneur (en cm <sup>2</sup> ) × 6
Quantité totale de substrat de biodéchets (kg)	= Surface du conteneur (en cm <sup>2</sup> )/200

La densité des larves est importante, car les larves de BSF dépendent de leurs mouvements collectifs et de leur alimentation pour décomposer efficacement les matières organiques. Si la densité des larves est trop faible ou trop élevée, le système devient moins rentable (main-d'œuvre, espace, intrants par rapport aux extrants). Une densité de larves trop faible a des effets négatifs, tels que :

- Un risque accru que le substrat ne soit pas complètement utilisé et reste humide le jour de la récolte. Il est alors presque impossible de séparer les larves des excréments.
- Un mélange insuffisant du substrat peut entraîner un aération moins efficace, avec un risque de pourriture, de moisissure, de développement d'agents pathogènes et de reproduction de mouches domestiques à l'intérieur du substrat.
- En fonction de la température ambiante, la chaleur métabolique peut être insuffisante pour maintenir la température optimale pour la croissance.
- Une stimulation microbienne moindre, entraînant une conversion plus lente à mesure que le système devient moins actif et moins efficace sur le plan biologique.
- Réduction globale de la récolte, même si chaque larve atteint une taille importante, ce qui entraîne une diminution de la rentabilité (main-

d'œuvre, espace, intrants par rapport à la production).

Une densité larvaire trop élevée a également des effets négatifs, tels que :

- Augmentation de la chaleur microbienne et métabolique qui peut dépasser les plages de température optimales, ce qui stresse les larves.
- Une concurrence intense entre les larves pour des nutriments limités. Cela entraîne un retard de croissance et une diminution du gain de biomasse.
- Lorsqu'elles sont en concurrence pour se nourrir, toutes les larves n'ont pas un accès égal à la nourriture. Il en résulte une grande variation de taille et une uniformité réduite lors de la récolte.

L'approvisionnement du substrat peut se faire en une seule fois pour toute la période, mais elle peut également être divisée en deux, une première au début de la croissance et une seconde 4 jours plus tard.

À l'âge de 15 à 17 jours, les larves sont alors séparées des excréments, ce qui est appelé "la récolte". Le moment idéal pour la récolte est indiqué par des caractéristiques visuelles : lorsque quelques larves présentent une couleur beige-brun au lieu de leur couleur beige clair habituelle. Les excréments doivent avoir une couleur foncée, presque noire. Les particules les plus fines de ces excréments doivent avoir une forme ronde. Lorsque les excréments ont un taux d'humidité approprié, il ne devrait idéalement rester que très peu de

matière collée à votre main lorsque vous les pressez. La séparation s'effectue par tamisage avec une maille d'environ 4 mm.

**Figure 2 -5: Éléments d'une unité d'élevage.**



Bassins biologiques dans une installation en Côte d'Ivoire



Caisses empilées, chacune contenant 12 kg de déchets, en Indonésie



Dosage de jeunes larves dans des caisses d'élevage, aux Philippines

Source : ©Eawag & Eclose

## 2.4 Traitement des produits

Les larves récoltées peuvent être utilisées directement comme aliment pour animaux, sous forme de « larves fraîches », le jour même de la récolte ou après avoir été conservées dans des conditions appropriées pendant quelques jours. Si les larves doivent être conservées pendant plus d'une semaine, elles doivent être tuées et séchées. Les larves peuvent être tuées en les blanchissant brièvement pendant quelques secondes dans de l'eau bouillante. Une fois tuées, les larves peuvent être séchées au micro-ondes, dans un four à air chaud classique ou au soleil.

Outre les larves, la récolte produit des excréments, un mélange d'excréments larvaires, de substrat non digéré, d'exosquelettes mués et de microbes. Les excréments ne peuvent pas être considérés comme un produit stable. Pour les utiliser de manière sûre et efficace (en particulier comme engrais), il est recommandé de les traiter par compostage. Le compostage des excréments s'effectue dans des tas retournés ou des andains pendant une période de 4 à 6 semaines. Cela permet non seulement de stabiliser la matière

organique, mais aussi d'améliorer la disponibilité des nutriments et de réduire les agents pathogènes potentiels.

## 2.5 Utilisation et/ou vente

Les produits BSF peuvent être utilisés pour l'alimentation animale et l'amendement des sols. Les larves de BSF sont riches en protéines (40 à 50 % de la masse sèche) et en graisses (30 à 40 % de la masse sèche), ce qui en fait une alternative appropriée à la farine de poisson dans l'alimentation animale. Les larves fournissent également des graisses bénéfiques, telles que l'acide laurique, qui peuvent améliorer le contenu énergétique des régimes alimentaires des animaux. De plus, les larves fournissent des acides aminés essentiels, des minéraux clés tels que le calcium et le phosphore, ainsi que des peptides antimicrobiens. Qu'elles soient utilisées dans l'aquaculture, l'aviculture ou l'alimentation des animaux de compagnie, les larves de BSF constituent une option alimentaire durable et économiquement viable. Les larves récoltées peuvent être données directement aux animaux (par exemple, poulets, canards, porcs, poissons), en remplacement de jusqu'à 20 % de l'alimentation conventionnelle en poids. Il convient de

noter ici que lorsque des larves séchées sont utilisées, le taux de remplacement ne doit pas dépasser 5 à 8 % du poids de l'alimentation. Outre leur utilisation comme aliments pour animaux, les larves peuvent également être transformées en produits à plus forte valeur ajoutée. En voici quelques exemples :

- Le dégraissage des larves permet d'obtenir une graisse pure de haute qualité (c'est-à-dire > 99 % de graisse)
- L'exosquelette des mouches et des larves de BSF contient du polymère de chitine (larves : 8 à 12 % de la masse sèche ; exuvies : 22 à 26 % de la masse sèche) qui a des effets négatifs sur la croissance du bétail, notamment des poissons, de la volaille et des porcs. Cependant, la chitine est un biopolymère précieux qui trouve des applications dans les industries pharmaceutique, biomédicale et agricole.
- Tous les stades de vie du BSF contiennent de la mélanine, un pigment de haut poids moléculaire. La mélanine a des applications potentielles dans l'électronique, les cosmétiques et la médecine.

Ces options pourraient ouvrir de nouveaux marchés, mais il convient d'examiner attentivement les étapes supplémentaires de transformation et de traitement nécessaires, qui s'accompagnent généralement de défis technologiques et opérationnels et d'une augmentation des coûts.

Les excréments de BSF servent d'amendement riche en nutriments qui peut améliorer la santé des sols et favoriser des pratiques agricoles durables. Ils contiennent des nutriments essentiels tels que l'azote, le phosphore et le potassium (NPK), ce qui les rend comparables au compost. Les excréments peuvent également être convertis en biochar par pyrolyse. Le biochar peut être utilisé comme substitut au charbon

de bois ou comme amendement pour le sol et est considéré comme un moyen efficace de séquestration du carbone. En outre, les excréments frais peuvent produire des quantités importantes de biogaz lorsqu'ils sont traités par digestion anaérobiose, fournissant ainsi une source de combustible. Là encore, il convient d'examiner attentivement les étapes supplémentaires de traitement et de transformation nécessaires, qui s'accompagnent généralement de défis technologiques et opérationnels et d'une augmentation des coûts.

En ce qui concerne les ventes, bien qu'il en soit encore à ses débuts, le marché des produits dérivés des BSF affiche une croissance prometteuse avec des applications dans l'alimentation aquacole, l'alimentation animale et les engrains organiques. Cela inclut également des marchés de niche, comme les aliments pour animaux de compagnie (poissons d'ornement, oiseaux chanteurs), ainsi que les protéines d'insectes pour l'aquaculture et la volaille. Les prix des produits dérivés des BSF dépendent fortement de facteurs locaux et du niveau de transformation des produits. En général, les produits dérivés des BSF doivent rivaliser avec les produits établis, à moins que leurs avantages supplémentaires ne puissent être clairement mis en évidence auprès des clients. Par exemple, les larves de BSF contiennent de la chitine et des composés antimicrobiens qui, bien qu'indigestes, peuvent améliorer le microbiote intestinal et la résistance aux maladies chez les animaux.

## 2.6 Sécurité, hygiène et maintenance

Les aspects liés à la sécurité et à l'hygiène sont essentiels dans les systèmes de conversion des biodéchets par les BSF, en raison de la nature de la matière première (biodéchets) et des risques potentiels qu'elle présente pour les travailleurs, les

consommateurs, les animaux et l'environnement.

Les agents pathogènes, les contaminants et les toxines présents dans la matière première constituent un défi majeur. Les substrats qui contiennent des sous-produits animaux (par exemple, les déchets d'abattoirs) peuvent, par l'intermédiaire des insectes, introduire des bactéries nocives, des prions ou d'autres contaminants dans la chaîne alimentaire. Les métaux lourds ou les produits chimiques présents dans le substrat peuvent s'accumuler dans les larves et, à leur tour, lorsqu'elles sont données à manger aux animaux ou aux humains, peuvent entraîner une bioaccumulation. Veiller à ce que les insectes soient nourris avec des substrats sûrs, contrôlés et transformés correctement permet d'éviter les menaces pour la santé publique et contribue à renforcer la confiance dans les produits à base d'insectes.

Au cours des opérations, les travailleurs sont exposés à des agents pathogènes, des spores de moisissure, de la poussière, des odeurs et des allergènes, ainsi qu'à des risques physiques liés aux blessures. Les bonnes pratiques pour éviter ces risques comprennent la fourniture d'équipements de protection individuelle (EPI), le nettoyage, des installations sanitaires et une bonne ventilation.

Enfin, le maintien de l'hygiène dans l'installation elle-même est essentiel pour garantir un cycle de vie productif et efficace et contribuer ainsi à la durabilité des opérations. Le nettoyage régulier des installations et des équipements est un élément essentiel de la gestion de l'hygiène. Les meilleures pratiques comprennent le nettoyage quotidien des surfaces et des outils après la manipulation des déchets ou des larves, le nettoyage régulier des filets, des conteneurs, des surfaces ouvertes et des zones de déchets, ainsi que le stockage

sûr des déchets. Ces mesures contribuent à minimiser l'infestation par les mouches domestiques ou les rongeurs, à éviter les odeurs désagréables et à prévenir l'accumulation d'agents pathogènes ou la contamination microbienne qui pourraient affecter la santé des mouches, des œufs et des larves.

## 2.7 Garantir le bien-être des BSF

Comme pour tout autre élevage, il est important de prendre en compte le bien-être des animaux. Les mouches, larves et pupes de BSF ne font pas exception. Un aspect essentiel de la conversion des biodéchets par les BSF est l'étape de mise à mort des larves. Plus la mort des larves est lente, plus elle est susceptible de causer de la souffrance. Les méthodes les plus humaines sont l'ébouillantage/blanchiment, la congélation rapide dans l'azote liquide et le broyage, car ces approches provoquent une mort quasi instantanée.

D'autres considérations relatives au bien-être des BSF consistent à leur fournir des conditions de vie adaptées et à les manipuler correctement afin de minimiser leur stress et leur anxiété. Cela inclut une alimentation et une hydratation adéquates, un environnement de vie approprié offrant des conditions adaptées, notamment un abri et la possibilité d'exprimer des comportements naturels, tels que le mouvement et l'interaction sociale. Un autre aspect critique qui menace le bien-être des BSF est leur modification génétique. Parmi les exemples préoccupants, on peut citer les modifications génétiques visant à améliorer leur capacité alimentaire et la taille des larves, ou à modifier les gènes qui contrôlent la taille et la forme des ailes afin de développer des adultes incapables de voler, qui pourraient alors être hébergés dans des cages plus petites ([Climate and Clean Air Coalition \(2025\)](#)).

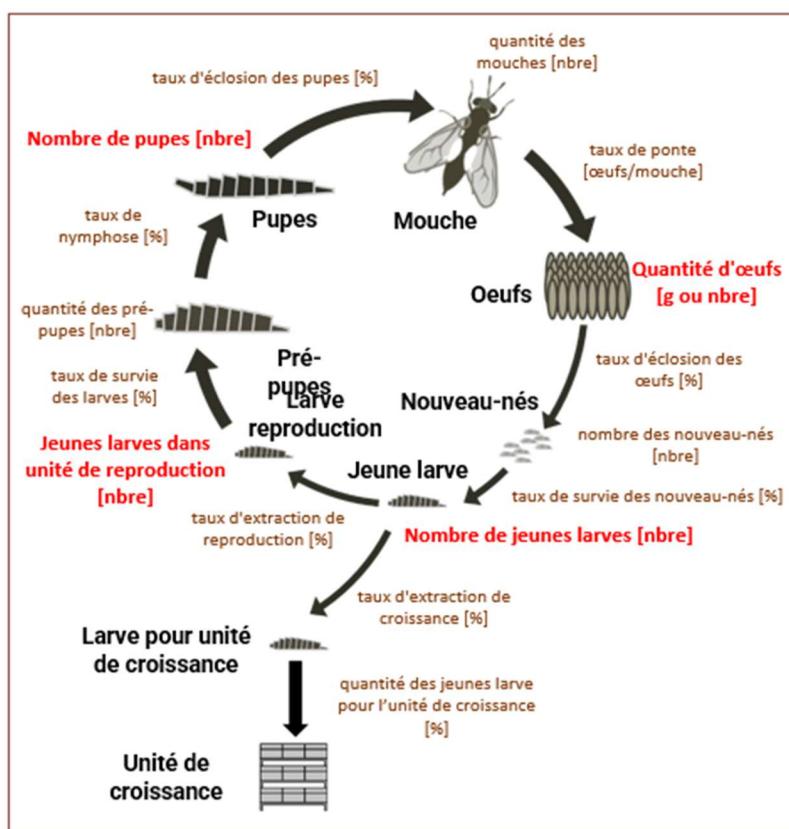
# Indicateurs clés de performance dans l'élevage des BSF

### 3 Indicateurs clés de performance dans l'élevage des BSF

L'exploitation d'une installation de conversion des biodéchets par les BSF à petite (<1 t/jour), moyenne (1-30 t/jour) ou grande (>30 t/jour) échelle nécessite une surveillance et une évaluation continues et minutieuses des performances. Les données collectées peuvent être utilisées pour signaler les problèmes de performance qui doivent être pris en compte. Les indicateurs de performance clés (IPC) les plus courants peuvent être classés par élément de l'installation de BSF.

Au niveau de l'unité de reproduction, comme l'illustre la figure 3-1, le suivi des IPC a pour objectif de maintenir des conditions optimales pour la pupaison, l'accouplement, la ponte, l'éclosion des œufs, les premiers jours d'alimentation des larves et l'alimentation des larves reproductrices afin d'obtenir à nouveau des pupes.

**Figure 3-1: Indicateurs clés de performance dans une unité de reproduction. Les indicateurs clés sont surlignés en rouge.**



Source : Eawag

L'un des indicateurs clés de performance est l'indicateur de performance de reproduction (RPI). En fonction des données disponibles, il peut être calculé sur la base du poids des œufs, RPI-E (pour les œufs), ou sur la base du nombre de larves, RPI-L (pour les larves). Bien que le RPI-E soit plus facile à évaluer, il ne tient pas compte de la quantité d'œufs infertiles, d'œufs desséchés ou de nouveau-nés qui ne trouvent jamais de nourriture. Le RPI-L est donc une mesure plus précise de la performance. Le RPI-L aide également à déterminer le taux d'extraction de reproduction nécessaire pour maintenir une production constante de larves dans l'unité de reproduction.

**Tableau 3-1: Formules pour l'indicateur de performance de reproduction (RPI) des œufs et des larves**

RPI-E	= Quantité d'œufs [g]/quantité de pupes [nombre]= $\frac{\text{Egg amount [g]}}{\text{Pupae amount [number]}}$
RPI-L	= Quantité de jeunes larves [nombre]/Quantité= $\frac{\text{Young larvae amount [number]}}{\text{Pupae amount [number]}}$

Dans l'unité d'élevage, les indicateurs clés de performance mettent en évidence la qualité de la croissance des BSF et la qualité de la digestion du substrat. Les mesures importantes comprennent:

- Quantités de biodéchets alimentés (poids en kg/conteneur)
- Teneur en humidité du biodéchet et des excréments (%)
- Jeunes larves ajoutées (nombre/conteneur ou poids/conteneur)
- Larves récoltées (nombre/conteneur ou poids/conteneur)
- Frass récolté (poids/conteneur)

Ces données permettent de calculer des indicateurs clés de performance tels que :

**Tableau 3-3: Indicateurs clés de performance pour l'unité d'élevage**

Indicateur clé de performance	Formule	Description
Taux de bioconversion (%)	= Gain en biomasse larvaire (kg)/Quantité de substrat apporté (kg)= $\frac{\text{Larval biomass gain (kg)}}{\text{Biowaste amounts fed (kg)}} \times 100$	Mesure l'efficacité avec laquelle les larves transforment les biodéchets en biomasse larvaire.
Taux de réduction des déchets (%)	= $\frac{(\text{Substrat initial} - \text{Substrat résiduel})}{\text{Initial substrate}} \times 100 \times 100$	Mesure la quantité de déchets qui a été réduite.
Taux de survie (%)	= Nombre de larves récoltées/Nombre de larves Initial= $\frac{\text{Number of harvested larvae}}{\text{Number of young larvae added}} \times 100 \times 100$	Indique le pourcentage de larves qui survivent jusqu'au stade de la récolte.

Enfin, les paramètres économiques doivent également être régulièrement surveillés afin d'évaluer la viabilité financière des opérations. Il s'agit notamment des coûts opérationnels par tonne de biodéchets convertis (salaires, consommables), des coûts d'amortissement des investissements en capital, ainsi que des revenus, qui permettent de calculer le bénéfice net, le retour sur investissement et la valeur actuelle nette.

# Modèles opérationnels dans la conversion des biodéchets par les BSF

## 4 Modèles opérationnels dans la conversion des biodéchets par les BSF

### 4.1 Modèles de production

Dans la conversion des biodéchets, la production d'aliments pour animaux ou toute autre activité agricole, on peut distinguer différents modèles de production, en fonction de la manière et du lieu où la production a lieu ou où les « services » sont rendus. Les modèles de production varient en fonction de l'échelle, du type de ressources utilisées et de la structure organisationnelle ou entrepreneuriale.

#### 4.1.1 Échelle des opérations et choix de la technologie

Les décisions relatives à l'échelle des opérations et à l'application de la technologie et des équipements par rapport à l'utilisation des ressources humaines constituent une décision clé dans la planification et la mise en place d'une installation de BSF.

Dans les pays à revenu élevé, la plupart des installations s'appuient davantage sur la technologie et l'automatisation et moins sur la main-d'œuvre humaine, notamment en raison du coût élevé de la main-d'œuvre. Étant donné que ce secteur est relativement nouveau et très complexe, les technologies adaptées restent encore limitées et coûteuses. En outre, l'augmentation des investissements technologiques et leur application vont de pair avec le choix d'une production à plus grande échelle afin de maximiser les économies d'échelle.

Dans les pays à faible et moyen revenu où les coûts de main-d'œuvre sont moins élevés, les approches à faible technologie qui s'appuient sur les ressources humaines présentent un avantage concurrentiel. Cela offre également davantage de possibilités de fonctionner à plus petite échelle et de s'appuyer sur des équipements simples, adaptés au contexte local. Le compromis lié au fonctionnement à petite échelle est le faible rendement des produits et le coût relativement élevé de l'achat de substrats, ainsi que les dépenses de marketing et de

vente par unité de produit générée. Les activités BSF à petite échelle visent donc souvent l'« auto-utilisation » plutôt que d'être exploitées comme une activité entrepreneuriale à but lucratif.

Cette boîte à outils se concentre sur les pays à faible et moyen revenu, mettant donc l'accent sur la conversion des biodéchets par les BSF à petite et moyenne échelle, simplifiée, principalement basée sur la main-d'œuvre et non industrialisée. Le choix des systèmes couverts dans cette boîte à outils se concentre uniquement sur les systèmes 2, 3 et 4 des six systèmes décrits par [la Climate and Clean Air Coalition \(2025\)](#) :

- **SYSTÈME 1** : Système domestique à micro-échelle
- **SYSTÈME 2** : Approche BSF simplifiée SIMBA
- **SYSTÈME 3** : Installation centralisée dans les régions tropicales
- **SYSTÈME 4** : Système décentralisé/basé sur des conteneurs
- **SYSTÈME 5** : Installation centralisée de moyenne à grande échelle
- **SYSTÈME 6** : Pionniers de l'industrie à grande échelle

**SYSTÈME 2** : L'approche simplifiée de BSF (SIMBA) est une installation généralement exploitée à temps partiel par des agriculteurs. La capacité de traitement est comprise entre 50 kg et 250 kg de substrat par semaine. Le travail est effectué manuellement à l'aide d'équipements très simples et en partie « faits maison ». L'infrastructure comprend un hangar de

reproduction et d'élevage, ombragé mais bien ventilé, et protégé de la pluie et du vent. Les opérations comprennent le broyage des biodéchets provenant de sources locales et l'utilisation de plusieurs conteneurs en plastique de différentes tailles pour la conversion. La reproduction est aussi simple que possible, les pré-pupes se développant en mouches qui pondent leurs œufs dans un seul enclos. Les produits sont généralement utilisés sur place (autoconsommation) ou destinés à la vente aux petits agriculteurs du voisinage ou au marché local des aliments pour animaux de compagnie.

**SYSTÈME 3 :** Ce système est de taille moyenne et fonctionne comme une entreprise commerciale et entrepreneuriale dédiée, convertissant entre 1 et 15 tonnes de substrat par jour. Les déchets proviennent de sources sélectionnées telles que les déchets des marchés, les restes d'une usine de jus de fruits ou/et les restes alimentaires d'une chaîne de restaurants. La qualité et la quantité du substrat doivent être fiables. En raison de leur plus grande échelle, les opérations se déroulent tout au long de l'année, 5 à 7 jours par semaine. Les infrastructures nécessaires comprennent un hangar de reproduction et d'élevage avec un sol en béton, ombragé mais bien ventilé, et protégé de la pluie et du vent. Un système simple de contrôle climatique (technologie de chauffage/refroidissement) peut être nécessaire, mais l'installation dépend des températures ambiantes chaudes appropriées de sa situation géographique. Comme dans le système 2, la majeure partie du travail est effectuée manuellement, mais à temps plein dans l'installation. Des équipements mécanisés sont utilisés pour broyer et mélanger les déchets et pour tamiser les produits après l'étape de conversion. Les larves et les excréments sont généralement vendus à des clients locaux, soit frais, soit transformés par séchage (larves) ou compostage (excréments).

**SYSTÈME 4 :** Ce système repose sur un modèle dans lequel une installation centrale exploite une unité de reproduction à grande échelle, puis une série décentralisée d'unités d'élevage autonomes sont situées à proximité de la source de production des déchets. Le processus de conversion étant simple, seul le climat doit être contrôlé dans les unités d'élevage. Les jeunes larves sont fournies par l'unité de reproduction aux unités d'élevage, et les larves élevées et les excréments sont collectés dans les unités d'élevage, puis transformés et vendus par le centre opérationnel. En général, ce type d'unités d'élevage peut traiter jusqu'à cinq tonnes de biodéchets par jour. Ce système fonctionne bien lorsqu'une grande quantité de biodéchets est produite en un seul endroit (par exemple, un marché ou une industrie) mais qu'il n'existe pas de solution à proximité pour gérer ces déchets. Il présente également des avantages lorsque les infrastructures routières existantes sont insuffisantes et que le transport de grandes quantités de déchets serait difficile.

#### 4.1.2 Emplacement des opérations

L'emplacement de la conversion des biodéchets par les BSF peut être choisi selon trois approches différentes : une approche centralisée, une approche décentralisée et un modèle hybride en étoile.

Dans le **modèle de production centralisé**, tous les processus de conversion des biodéchets par les BSF sont regroupés dans une seule installation. Les biodéchets sont collectés auprès de diverses sources et transportés vers une usine centrale, où une unité de reproduction est exploitée et où les biodéchets sont ensuite convertis en larves et en excréments. Cette configuration met l'accent sur le contrôle centralisé et vise à maximiser l'efficacité, la cohérence et les avantages liés à l'échelle. Dans le cadre d'une exploitation centralisée, il est plus facile de contrôler et de normaliser les matières premières, les soins apportés aux larves et les produits finis (par exemple,

farine protéinée, excréments). Cependant, comme cela implique le transport de grandes quantités de déchets provenant de différentes sources vers le site de BSF, des véhicules et des frais de transport peuvent être nécessaires. Idéalement, un tel modèle fonctionne mieux si la « livraison des déchets » et ses coûts sont gérés par une autre entité (par exemple, le service municipal de gestion des déchets). Les produits peuvent être utilisés sur place dans le cas d'une ferme ou vendus de manière centralisée par l'intermédiaire de détaillants ou de gros clients.

Dans un **modèle de production décentralisé**, la conversion des biodéchets par les BSF est répartie entre de nombreuses petites installations locales. Chaque installation traite les déchets générés à proximité. En général, l'échelle des opérations est de petite à moyenne, et les produits sont soit utilisés sur place (autoconsommation), soit vendus à des clients situés à proximité (agriculteurs et communauté). Ces multiples petites opérations peuvent fonctionner de manière totalement indépendante (y compris la reproduction, l'élevage et la transformation) ou travailler en réseau, bénéficiant ainsi de certaines chaînes d'approvisionnement communes, de certains processus communs ou de voies de vente et de commercialisation communes. Cependant, d'un point de vue commercial, chaque unité fonctionne de manière indépendante.

Le modèle de production hybride **en étoile** est une approche qui combine les avantages de la production centralisée et décentralisée dans le cadre d'une approche entrepreneuriale combinée afin d'optimiser la logistique et la cohérence, et de bénéficier d'économies d'échelle. Ici, une installation de traitement centrale est chargée des opérations critiques telles que l'unité de reproduction et éventuellement le traitement du produit final (par exemple, le séchage des larves, la vente des larves, emballage et

vente des excréments), tandis que les rayons sont un réseau de petites installations de culture locales (par exemple, des fermes, des producteurs de déchets ou des points de traitement communautaires) qui s'occupent des étapes initiales telles que l'approvisionnement et la préparation du substrat de biodéchets, le traitement du substrat (culture) et éventuellement aussi le traitement et la vente des produits. Les unités de culture peuvent être exploitées comme décrit dans le **SYSTÈME 2** ou dans le **SYSTÈME 4**. Les avantages de ce modèle hybride sont le contrôle centralisé de la qualité et des étapes techniques, ainsi que l'augmentation de l'échelle globale, tout en conservant la flexibilité nécessaire pour ajouter de nouveaux rayons et la flexibilité de chaque rayon pour s'adapter aux déchets locaux et aux capacités techniques. Ce modèle offre une approche équilibrée, combinant l'efficacité centralisée et la portée décentralisée, ce qui le rend particulièrement bien adapté aux initiatives d'économie circulaire dans les régions où les flux de déchets sont diversifiés et dispersés.

## 4.2 Principale proposition de valeur et modèle économique

Différentes propositions de valeur clés et différents modèles commerciaux peuvent être envisagés pour la conversion des biodéchets par les BSF en fonction des produits et de la configuration de la production. Nous distinguons ici quatre modèles commerciaux différents en fonction de leur proposition de valeur principale, adaptés sur la base de [la Climate and Clean Air Coalition \(2025\)](#). Ces différentes propositions de valeur peuvent également être combinées dans un même modèle commercial. Les modèles commerciaux sont les suivants:

1. Production d'aliments pour animaux et/ou de frass,
2. Gestion des déchets et crédits carbone,

3. Production d'œufs ou de jeunes larves, et
4. Produits de niche à forte valeur ajoutée.

#### 4.2.1 Production d'aliments et/ou de déjections

La principale proposition de valeur de ce modèle commercial est la suivante :

- l'utilisation pour son propre compte ou la vente de larves comme aliment pour animaux, en tant qu'alternative durable à la farine de poisson et à la farine de soja, et
- l'utilisation propre ou la vente des excréments comme alternative au compost, aux amendements pour sols et/ou aux engrains chimiques.

Afin de garantir une qualité et une cohérence stables et fiables des larves et des excréments, ce type d'entreprise utilise généralement des sous-produits homogènes et hautement nutritifs sélectionnés comme substrat pour l'élevage des larves. Il peut s'agir de déchets provenant de l'industrie agroalimentaire, des brasseries, de la pulpe issue de l'industrie des jus de fruits ou d'autres sous-produits organiques du

secteur alimentaire ou agricole. La vente des produits repose principalement sur l'obtention d'une certification, un marketing solide avec des démonstrations et la fourniture de recommandations sur l'utilisation des produits. La qualité stable des produits dépend de la qualité et de la composition stables du substrat, ainsi que du strict respect des procédures opérationnelles standard. En matière de marketing, la concurrence sur les prix avec les aliments conventionnels constitue généralement un défi. Il convient donc de mettre l'accent sur la valeur ajoutée/les avantages des produits afin d'obtenir un avantage concurrentiel. L'auto-utilisation des produits peut être intégrée dans une exploitation agricole intégrée, avec l'avantage supplémentaire de renforcer l'indépendance et même de réduire les dépenses liées à l'achat d'aliments pour animaux. Dans ces cas d'auto-utilisation, des profits supplémentaires peuvent également être générés grâce à la vente d'œufs de poule de meilleure qualité, à la croissance plus rapide des poulets de chair et à l'amélioration de la production de poissons et de porcs.

**Figure 4-1: Modèle économique pour la production d'aliments pour animaux et/ou de fumier**

<b>&gt; Partenaires clés</b> Chaîne d'approvisionnement stable et fiable en substrats (producteurs de déchets sélectionnés) Partenaire de transport (facultatif)	<b>&gt; Activités clés</b> Fonctionnement efficace et fiable de l'unité de reproduction et de croissance pour produire des larves et de frass de haute qualité	<b>&gt; Propositions de valeur</b> Prix compétitifs pour les aliments et les engrains locaux Les clients ont réduit leur dépendance aux produits extérieurs (importés) et aux fluctuations de prix correspondantes.	<b>&gt; Relations clients</b> Utilisation recommandée du produit Démonstration des bénéfices	<b>&gt; Segments de clientèle</b> Producteurs d'aliments pour animaux Commerce de détail Éleveurs de bétail (poulets, poissons, porcs, canards, etc.) Producteurs d'engrais Culturiers Pépiniéristes Paysagistes
	<b>&gt; Ressources clés</b> Personnel compétent Technologie rentable Opérations standardisées Marque	<b>&gt; Chaînes</b> Livraison de produits Services de vulgarisation agricole		
<b>&gt; Frais</b> Salaires Dépenses d'exploitation des équipements Marketing et ventes Coût des déchets de substrat (?)		<b>&gt; Flux de revenus</b> Vente de larves et de frass Économies sur l'achat d'aliments et d'engrais (avec autoconsommation)		

Source : Eawag

#### 4.2.2 Gestion des déchets et crédits carbone

La principale valeur ajoutée de ce modèle économique réside dans le fait qu'il offre une alternative plus durable aux services de gestion des déchets. Il met l'accent sur le traitement des biodéchets dans le respect de l'environnement et sur la réduction des déchets qui, sans cela, seraient éliminés de manière incontrôlée, générant d'importantes émissions de gaz à effet de serre (GES). Ce modèle économique repose sur la rémunération du traitement des déchets (appelée « redevance d'entrée ») et sur la réduction des émissions de GES grâce à la vente de crédits carbone.

Dans de nombreux pays, les entreprises commerciales et industrielles sont tenues de gérer leurs déchets de manière indépendante et appropriée. Dans ce cas, les entreprises de BSF ont la possibilité de recevoir et de traiter ces déchets en échange d'une redevance d'entrée. Le traitement de déchets spécifiques menaçant l'environnement, tels que les jacinthes d'eau envahissantes ou les déchets d'abattoirs, peut également être une option. En contrepartie, l'entreprise peut être confrontée à des défis en matière d'exploitation et de qualité des produits. Comme de nombreux déchets biologiques différents doivent être gérés, ceux-ci ne sont pas tous adaptés à la croissance des larves de BSF. Cela peut entraîner une diminution de la quantité de larves produites et une moindre uniformité de la qualité des produits.

Les crédits carbone issus de la conversion des biodéchets par les BSF pourraient jouer un rôle de plus en plus important en tant que source de revenus. Cependant, ce secteur n'est pas encore pleinement développé et en est encore à ses balbutiements. Les crédits carbone sont des certificats négociables qui représentent la

réduction, l'élimination ou la prévention d'une tonne métrique d'émissions d'équivalent dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>eq). La conversion des biodéchets par les BSF permet d'éviter les émissions liées aux pratiques traditionnelles de gestion des déchets (élimination non contrôlée) et à la production industrielle d'aliments pour animaux et d'engrais. Pour chaque tonne de biodéchets détournée d'un site d'élimination, l'on évite l'émission d'CH<sub>4</sub>, ce qui équivaut à 1,15 tonne de CO<sub>2</sub> évitée. La réduction nette des émissions grâce à la conversion par les BSF au lieu de l'élimination s'élève à 1,1 tonne d'équivalent CO<sub>2</sub> par tonne de biodéchets convertis. Cela correspond à une consommation évitée d'environ 470 litres d'essence par tonne de biodéchets convertis. L'utilisation de larves et de frass à la place de farine de poisson, de farine de soja ou d'engrais permet également d'éviter les émissions liées à la production de ces produits conventionnels, bien que cela n'ait pas encore été quantifié de manière systématique. En outre, l'utilisation des excréments améliore également la rétention du carbone dans le sol (séquestration du carbone), une autre mesure d'atténuation des GES. Pour bénéficier du marché des crédits carbone, il faut toutefois disposer d'une méthodologie approuvée de surveillance et de vérification de la réduction nette des émissions de carbone. Celle-ci est encore en cours d'élaboration.

Cette boîte à outils fournit un « calculateur » d'émissions de GES des BSF sous forme de fichier Excel qui peut être téléchargé gratuitement et qui prend en compte les opérations décrites dans le SYSTÈME 2 :

- [Calculateur d'émissions de GES](#)

En fonction de l'échelle des opérations (c'est-à-dire les quantités de déchets à traiter), cet outil estime les émissions en équivalents CO<sub>2</sub> à l'aide de valeurs issues d'études scientifiques, ainsi que de

méthodologies établies présentées comme suit :

- **Émissions directes** : elles comprennent les émissions de GES provenant de la reproduction et de l'élevage des BSF, ainsi que du processus de compostage des excréments.
- **Émissions indirectes** : elles comprennent toutes les émissions liées à l'utilisation de combustibles et à la consommation d'électricité pour faire fonctionner l'ensemble du processus de BSF (par exemple, le transport du substrat, le fonctionnement des équipements mécanisés). L'outil ne tient pas compte des combustibles ou de l'électricité liés à la climatisation, partant du principe que les conditions climatiques ambiantes sont propices à

- la conversion des biodéchets par les BSF.
- **Émissions évitées** : elles comprennent toutes les émissions qui seraient produites si ces déchets étaient mis en décharge ou compostés. Les émissions évitées grâce à l'utilisation de larves et de déjections, qui permettent d'éviter la production et le transport de farine de poisson ainsi que d'engrais, ne sont actuellement pas prises en compte dans cet outil.
  - **Émissions nettes évitées** : il s'agit de la différence entre les émissions évitées et la somme des émissions directes et indirectes. Il s'agit de la quantité d'émissions qui peut ensuite être créditee comme réduction d'émissions (par exemple, certificats carbone).

**Figure 4-2: Modèle économique pour la gestion des déchets et les crédits carbone**

<b>&gt; Partenaires clés</b> Services de gestion des déchets ou producteurs de déchets Partenaire de transport (facultatif) Autorités nationales Partenaires d'échange de droits d'émission de carbone	<b>&gt; Activités clés</b> Valorisation des déchets Surveillance des émissions	<b>&gt; Propositions de valeur</b> Prix compétitif pour une solution de gestion des déchets à faibles émissions Suivi et audit transparents des émissions et des réductions d'émissions	<b>&gt; Relations clients</b> Clients détenteurs de certificats d'échange de droits d'émission de carbone Démonstration des avantages	<b>&gt; Segments de clientèle</b> Principal : Autorités de gestion des déchets Grands producteurs de déchets Autorités nationales en charge des objectifs nationaux d'émissions
			<b>&gt; Chaînes</b> Certification de réduction des émissions	
<b>&gt; Frais</b> Salaires Dépenses d'exploitation des équipements Développement des certifications Contrôle et audit des certificats d'émission		<b>&gt; Flux de revenus</b> Ventes d'équivalents CO2 Frais d'entrée pour la gestion des déchets		

Source: Eawag

### 4.2.3 Production d'œufs ou de jeunes larves

La principale proposition de valeur de ce modèle est la vente d'œufs ou de jeunes larves à d'autres installations de BSF. Il peut s'agir d'une vente unique pour les start-ups de BSF ou d'une vente intermittente ou régulière pour les installations de BSF qui rencontrent des difficultés de reproduction ou qui ne disposent pas d'unité de reproduction. Cette approche est comparable à d'autres élevages où des éleveurs spécialisés fournissent de jeunes animaux (par exemple, des poussins, des porcelets) à des agriculteurs qui les élèvent ensuite jusqu'à leur maturité.

Les avantages de ce modèle résident dans son indépendance vis-à-vis de l'approvisionnement en substrat issu de biodéchets. L'entreprise doit s'assurer de disposer des connaissances

spécialisées nécessaires pour exploiter de manière fiable l'unité de reproduction, une opération plus délicate et plus sensible.

**Figure 4-3: Modèle économique pour la production d'œufs ou de jeunes larves**

<b>Partenaires clés</b> Agriculteurs et exploitants du BSF	<b>Activités clés</b> Reproduction BSF Gestion du réseau Expédition et livraison des produits	<b>Propositions de valeur</b> Prix compétitif pour les œufs et les jeunes larves Expédition sûre, fiable et régulière des produits aux clients	<b>Relations clients</b> Fidélisation de la clientèle Démonstration opérationnelle pour les start-ups	<b>Segments de clientèle</b> Exploitants/agriculteurs BSF (unités de croissance) Start-ups BSF Installations de recherche et universitaires
	<b>Ressources clés</b> Personnel compétent Technologie rentable Opérations standardisées		<b>Chaînes</b> Fidélisation de la clientèle grâce à des structures de réseau et/ou coopératives	
<b>Frais</b> Salaires Dépenses d'exploitation des équipements Marketing, ventes et expédition		<b>Flux de revenus</b> Vente d'œufs et de jeunes larves		

Source : Eawag

#### 4.2.4 Production de produits de niche à forte valeur ajoutée

Ces dernières années, certaines entreprises ont tenté de concentrer leur proposition de valeur non pas sur les aliments pour animaux et les engrains, mais plutôt sur des produits de niche à forte valeur ajoutée pouvant être obtenus grâce à la conversion des biodéchets par les BSF. Il s'agit notamment de la chitine/chitosane, de la mélanine et du biochar.

*Chitine/chitosane* : l'exosquelette des insectes contient un polymère, la chitine, qui, une fois désacétylé, devient du chitosane, un produit qui présente un intérêt commercial.

- Agriculture : la chitine/le chitosane améliore le microbiote du sol, stimule la croissance des plantes et déclenche des réponses immunitaires chez celles-ci. Elle améliore également la germination et la résistance aux maladies.
- Médecine et pharmacie : le chitosane favorise la régénération des tissus et possède des propriétés antimicrobiennes.

- Traitement de l'eau : le chitosane lie les particules en suspension dans l'eau, facilitant ainsi la purification ou l'élimination des toxines des eaux usées industrielles.
- Industrie alimentaire : des films biodégradables en chitosane sont utilisés pour l'emballage des aliments.
- Cosmétiques : le chitosane est utilisé dans les lotions, les crèmes anti-âge et les shampoings en raison de ses propriétés filmogènes et antimicrobiennes.

*Mélanine* : toutes les étapes du cycle de vie des BSF contiennent de la mélanine, un pigment de haut poids moléculaire. Elle sert d'antioxydant et d'agent de protection des gènes, possède des propriétés antimutagènes et peut absorber les métaux lourds et neutraliser les produits de peroxydation lipidique. La mélanine peut également être considérée comme un semi-conducteur naturel et peut donc trouver son application dans des dispositifs électroniques biodégradables en médecine ou dans des gadgets de surveillance non récupérables dans des environnements sensibles.

**Biochar :** le biochar peut être produit à partir de la pyrolyse des excréments des BSF. Le biochar peut être utilisé comme amendement du sol, pour capturer et séquestrer le carbone

dans les sols. Le charbon peut également être briqueté pour remplacer le charbon de bois, l'un des combustibles de cuisson les plus courants dans le monde.

**Figure 4-4: Modèle économique pour la production de produits de niche**

<b>&gt; Partenaires clés</b> Chaîne d'approvisionnement stable et fiable pour les substrats Partenaire de transport (facultatif)	<b>&gt; Activités clés</b> Fonctionnement efficace et fiable de l'unité de reproduction et de croissance	<b>&gt; Propositions de valeur</b> Conversion des déchets en larves et excréments Conversion et traitement des larves et excréments récoltés en produits de niche	<b>&gt; Relations clients</b> Utilisation recommandée du produit Démonstration des bénéfices	<b>&gt; Segments de clientèle</b> Segments de clientèle spécialisés pour produits de niche
	<b>&gt; Ressources clés</b> Personnel compétent Technologie économique Contrôle qualité Marque		<b>&gt; Chaînes</b> Amélioration de produits sur mesure Services de conseil pour des produits alternatifs aux matériaux conventionnels	
<b>&gt; Frais</b> Salaires Dépenses liées à l'exploitation des équipements Opérations spécialisées pour le perfectionnement des produits Marketing et ventes		<b>&gt; Flux de revenus</b> Ventes de substances raffinées à partir de produits dérivés du BSF		

Source : Eawag

# Procédures opérationnelles standard

## 5 Procédures opérationnelles standard

Les procédures opérationnelles standard (SOP) sont un ensemble détaillé de procédures bien définies, étape par étape, conçues pour guider les opérateurs dans l'exécution cohérente d'une tâche ou d'un processus de routine spécifique. Dans la conversion des biodéchets par les BSF, les SOP jouent un rôle essentiel pour garantir le succès, la sécurité et l'évolutivité, ce qui contribue à une reproduction efficace dans le cycle de vie des BSF, ainsi qu'à un rendement et une qualité constants des larves, des excréments et des sous-produits. Dans l'unité de reproduction comme dans l'unité d'élevage, elles contribuent à normaliser les tâches et leur calendrier à différentes étapes du processus. Selon l'ampleur des opérations, les activités peuvent comprendre des tâches quotidiennes ou, dans le cas d'opérations à petite échelle, des tâches qui ne nécessitent que quelques heures par semaine à certains jours. Cela permet de maintenir des taux de croissance des larves et une composition des produits fiables, quels que soient l'opérateur ou le lieu. Les principaux avantages du respect strict des SOP peuvent être résumés comme suit :

- *Hygiène et biosécurité* : le respect des SOP est essentiel pour prévenir l'accumulation d'agents pathogènes et les épidémies. Elles comprennent des tâches telles que le nettoyage régulier et la gestion des déchets, protégeant à la fois la santé des travailleurs et vos mouches et larves.
- *Suivi des performances* : l'utilisation systématique des SOP garantit également le suivi des indicateurs clés de performance et la détection précoce des problèmes.
- *Compétences et efficacité de la main-d'œuvre* : les SOP sont utiles car elles simplifient la formation des nouveaux employés et facilitent la supervision en décrivant clairement les procédures. Elles peuvent également réduire les erreurs humaines et améliorer l'efficacité opérationnelle globale.
- *Évolutivité et reproductibilité* : les procédures opérationnelles standard validées facilitent la reproduction de la conversion des BSF sur d'autres sites ou par d'autres opérateurs.
- *Conformité réglementaire* : le respect des procédures opérationnelles standard permet de démontrer aux autorités réglementaires que l'installation se conforme aux normes et législations locales et internationales en matière d'hygiène, de sécurité alimentaire et de protection de l'environnement. Cela peut ensuite faciliter la certification des produits dérivés des BSF.

Cette boîte à outils fournit des SOP pour deux échelles d'exploitation différentes :

- **Petite échelle - SIMBA** : il s'agit d'une approche simplifiée de la BSF, qui est exploitée à temps partiel à petite échelle et ne nécessite que quelques heures de travail par semaine, certains jours seulement. SIMBA convient pour une première initiation à la conversion des biodéchets par la BSF ou pour une petite unité qui effectue la conversion des biodéchets par la BSF à titre d'activité secondaire à temps partiel (par exemple, dans une ferme). Deux SOP SIMBA sont disponibles gratuitement :
  - Approche simplifiée utilisant la mouche soldat noire (SIMBA) – Unité de reproduction : procédure opérationnelle standard. Publié en 2025.
  - Approche simplifiée de la mouche soldat noire (SIMBA) – Unité d'élevage : procédure opérationnelle standard. Publié en 2025
- **Moyenne échelle – Guide étape par étape pour la conversion des biodéchets par la mouche soldat noire** : ce document explique le matériel et l'équipement nécessaires, ainsi que chaque étape de travail, pour développer et exploiter une installation de traitement des déchets de taille moyenne utilisant la mouche soldat noire, capable de traiter 5 tonnes de déchets par jour.
- **Traitement des biodéchets par la mouche soldat noire - Guide étape par étape, 2e édition**, publié en 2021

# Planification et mise à l'échelle de la conversion des biodéchets par les mouches soldats noires

# 6 Planification et mise à l'échelle de la conversion des biodéchets par les mouches soldats noires

## 6.1 Évaluation de la faisabilité

Pour envisager de devenir entrepreneur et exploitant de BSF, il faut d'abord évaluer si les conditions locales sont favorables à la conversion des biodéchets par les BSF. Cela passe par une étude de faisabilité ciblée sur la zone sélectionnée pour votre future installation de BSF potentielle.

Un guide détaillé sur la manière de mener une évaluation de faisabilité spécifique à la conversion des biodéchets par les mouches soldats noires est décrit dans « Le traitement des déchets par les mouches soldats noires est-il une solution durable ? Une approche d'évaluation de faisabilité », publié en 2024 et disponible gratuitement en ligne.

Une fois la zone géographique de l'installation de BSF potentielle définie, le guide d'évaluation de faisabilité mentionné ci-dessus indique les aspects à évaluer et suggère la meilleure façon de procéder. Si les résultats de l'évaluation ne donnent pas de réponse absolue par OUI ou par NON, les informations recueillies aideront à identifier les opportunités, mais indiqueront également les menaces potentielles auxquelles pourrait être confrontée une installation de conversion des biodéchets par les BSF.

Examen réglementaire : les lois et réglementations nationales et locales peuvent avoir une incidence sur l'approvisionnement en substrats, les opérations de BSF et les marchés pour les produits BSF. Il est donc important d'évaluer soigneusement les politiques, législations, règlements, règles et réglementations existants qui ont une incidence positive ou négative sur les installations et les opérations BSF. Par exemple :

- Les biodéchets étant la source, les activités de BSF peuvent être influencées par la législation spécifique à la gestion des déchets (c'est-à-dire les biodéchets).
- L'élevage de larves étant similaire à tout autre élevage animal, cette activité peut être soumise aux mêmes réglementations que celles qui s'appliquent aux autres animaux d'élevage destinés à la consommation animale ou humaine.
- Si vous souhaitez vendre ou utiliser des produits dérivés de la conversion des biodéchets par les BSF, vous devrez vérifier les réglementations relatives à l'alimentation animale ou à l'utilisation d'engrais. Celles-ci peuvent être réglementées par la législation agricole.

Évaluation des matières premières (substrats) : un aspect important de l'évaluation de la faisabilité concerne la source et la qualité des biodéchets disponibles comme alimentation principale des larves. La disponibilité, la consistance et la qualité nutritionnelle des matières premières sont importantes pour la performance et la rentabilité des entreprises de conversion des biodéchets par les BSF. Il est donc essentiel de comprendre quelles matières premières sont disponibles, en quelle quantité et d'où elles proviennent. L'objectif idéal est de garantir une chaîne d'approvisionnement en substrat stable, riche en nutriments et à faible coût pour les opérations de BSF. Voici quelques exemples de questions auxquelles il faut répondre :

- Certaines matières premières issues de biodéchets ont-elles un coût ?
- Comment et qui gérera le transport ?
- Les accords d'achat peuvent-ils être facilement conclus ?

Lors de l'évaluation de la faisabilité, il ne faut pas nécessairement se concentrer sur un seul type de biodéchets qui permet d'obtenir la croissance la plus élevée. Il est également possible d'envisager un mélange de types de biodéchets, ce qui permet d'obtenir une efficacité optimale en tenant compte de l'accessibilité et des coûts, du temps de traitement, de la sécurité des biodéchets et du taux de bioconversion.

Étude de marché : Comprendre le marché pour la proposition de valeur spécifique est un aspect essentiel lors de l'évaluation de la viabilité financière. Cela s'avère souvent difficile, car les marchés autour du BSF en sont encore à leurs balbutiements en termes d'que ce soit pour le BSF en tant que service de gestion des déchets, pour la vente d'œufs ou de jeunes larves de BSF, pour les larves en tant qu'aliments pour animaux, pour les excréments ou pour des produits de niche. Il est donc difficile de déterminer le volume et les prix du marché. Néanmoins, les fourchettes de prix possibles basées sur les services actuellement fournis ou les produits actuellement utilisés fournissent une première estimation. Comprendre les besoins et les perceptions des clients permet en outre de mieux cerner la manière dont le produit BSF doit être perfectionné avant sa commercialisation et indique la perception des clients à l'égard du produit et leur volonté de passer des produits conventionnels aux produits BSF.

Environnement opérationnel : l'adéquation climatique du site potentiel, ainsi que la disponibilité des terres et des ressources humaines sont d'autres aspects à évaluer avec soin dans le cadre d'une étude de faisabilité. Bien que la conversion des biodéchets par les BSF soit également possible si les conditions climatiques sont défavorables, cela entraînera des coûts d'investissement plus élevés pour les infrastructures du bâtiment ainsi que des coûts d'exploitation plus élevés, par exemple pour la climatisation à l'intérieur de

l'installation. Des conditions défavorables pourraient donc menacer la viabilité financière.

## 6.2 Stratégie commerciale et planification

Le résultat de l'évaluation de faisabilité est fondamental pour l'étape suivante, à savoir l'élaboration d'une stratégie commerciale et d'un plan de développement. Cela implique de décider d'un modèle de production (échelle et niveau de technologie), ainsi que de la proposition de valeur choisie (voir chapitre 5).

### 6.2.1 Évaluation financière

La planification d'une installation de BSF nécessite également un plan financier préliminaire des coûts et des recettes qui estime les dépenses d'investissement (CAPEX) (par exemple, la construction, l'équipement) et les dépenses d'exploitation (OPEX) (par exemple, la main-d'œuvre, la logistique des matières premières) en fonction de l'échelle d'exploitation choisie. Cette boîte à outils fournit deux outils différents pour estimer approximativement les coûts d'une future installation BSF :

- Pour les opérations à petite échelle, basées sur les opérations SIMBA, un **modèle de coûts et de revenus sous Excel** peut être téléchargé gratuitement. En fonction de l'échelle d'exploitation prévue (définie par la quantité de biodéchets à traiter chaque semaine), la saisie de certains coûts unitaires d'équipement permet de voir quels investissements seraient nécessaires et quels revenus seraient requis pour atteindre le seuil de rentabilité. Bien qu'à cette petite échelle, la « main-d'œuvre » ne soit pas considérée comme une dépense en espèces, le modèle permet néanmoins de saisir les « salaires » comme élément de coût.
- De même, pour les opérations à moyenne échelle, comme décrit dans le guide étape par étape sur les BSF, un

### **modèle Excel de coûts et de revenus**

peut être téléchargé gratuitement avec des fonctions similaires. Ce modèle suppose un personnel à temps plein (compte tenu de l'échelle plus importante).

#### **6.2.2 Conception pilote et validation du concept**

Au lieu de se lancer précipitamment dans des opérations à grande échelle, il est fortement recommandé de commencer par des opérations de BSF à petite échelle, puis de procéder à une mise à l'échelle progressive. Cela permet d'apprendre à petite échelle, d'améliorer et de rationaliser les procédures et d'optimiser les équipements si nécessaire. Le fait de commencer par un projet pilote à petite échelle permet également de limiter le risque d'échec des opérations dû à un manque de connaissances pratiques sur les processus et les marchés. Cela évite ainsi des investissements initiaux disproportionnés. La mise en place d'un projet pilote pour les activités de conversion des biodéchets par le BSF peut être bénéfique à plusieurs égards :

- **Prévision des coûts futurs** : sur la base des données financières issues de l'exploitation d'une installation pilote, il est plus facile d'estimer les coûts d'une future mise à l'échelle, car les données sont spécifiques et pertinentes au niveau local. Par exemple, l'approvisionnement en biodéchets pour l'installation pilote permettra de formuler des hypothèses réalistes concernant le coût des matières premières (par exemple, le prix et les coûts de transport) et facilitera les négociations pour la conclusion d'accords de reprise.
- **Établissement d'indicateurs de performance clés pertinents** : tester l'unité d'élevage avec les biodéchets disponibles localement permettra d'obtenir des informations sur la

croissance des larves (taux de bioconversion (BCR)) et la réduction des déchets (efficacité de réduction des déchets (WRE)) (voir chapitre 3).

- **Tester les fonctionnalités** : l'applicabilité des équipements et des procédures opérationnelles (par exemple, la densité des larves et les régimes alimentaires) peut être testée dans des conditions réelles. Envisagez d'utiliser des équipements disponibles localement et d'adapter des technologies provenant d'autres secteurs. Cela permettra d'affiner les procédures et la conception des équipements afin de garantir une production efficace et stable d'œufs et de jeunes larves, ainsi qu'un bon fonctionnement de l'unité d'élevage.
- **Tester le marché de vente** : la première production de larves et de frass permettra de contrôler la composition et la qualité des produits et offrira la possibilité de faire une première entrée sur les marchés. Cela inclut l'établissement de relations avec les clients, par exemple en donnant des produits BSF à des clients cibles pour qu'ils les testent et en recueillant leurs commentaires sur la qualité et la facilité d'utilisation.
- **Développement des capacités** : l'exploitation d'une installation pilote permettra de renforcer progressivement les compétences du personnel et d'acquérir une expérience pratique.
- **Établir l'engagement des parties prenantes** : la démonstration du succès des opérations à l'échelle pilote peut servir à attirer des investisseurs potentiels pour la mise à l'échelle ou des acheteurs potentiels pour les produits. Elle peut également servir de site de démonstration à des fins de marketing et pour obtenir ou garantir une licence d'exploitation.

#### **6.2.3 Surmonter les défis liés au développement de votre entreprise**

Bien que la conversion des biodéchets par les BSF ne diffère pas fondamentalement de

l'élevage, ce secteur manque d'expérience à long terme en matière de développement technologique et d'optimisation. Comme pour toute innovation, se lancer dans quelque chose de nouveau signifie généralement faire face à l'incertitude, tant sur le plan technique que commercial. Des difficultés peuvent survenir en matière de développement, de recrutement et de constitution d'équipe, ainsi que sur les marchés.

*Mise à l'échelle :* De nombreuses installations de BSF rencontrent des difficultés lorsqu'elles passent d'une échelle pilote à une échelle commerciale. La mise à l'échelle progressive et la modularité constituent un moyen d'atténuer ce risque. Grâce à des procédures bien établies et à des compétences acquises progressivement lors de l'exploitation de l'installation pilote, une augmentation progressive de l'échelle et des opérations à l'aide d'une approche modulaire en termes d'infrastructure et d'équipement réduit le risque de dépenses d'investissement élevées et d'erreurs de conception.

*Personnel et équipe :* Les compétences et l'expérience de l'équipe travaillant dans l'installation de BSF sont des éléments cruciaux de la conversion des biodéchets par les BSF. Les problèmes et les défis sont inévitables, mais c'est la manière dont les opérateurs réagissent, s'adaptent et préviennent les récidives qui les rend exceptionnels. L'expérience montre que les personnes qui ont déjà été actives dans le secteur agricole (par exemple, l'agriculture et l'élevage) ont les compétences nécessaires pour s'engager dans la conversion des biodéchets par les BSF et en apprendre rapidement les spécificités.

Des expériences positives ont été réalisées en offrant des possibilités de formation (par exemple, des ressources en ligne et hors ligne) au personnel et en lui permettant d'entrer en contact avec d'autres personnes partageant les mêmes idées. Les communautés de pratique BSF en ligne se généralisent et facilitent les échanges, le développement de réseaux et le partage des connaissances, comme la [communauté WhatsApp BSF-Africa](#).

*Marchés :* si le modèle commercial repose sur la vente de produits, il est important de consacrer suffisamment de temps au développement des produits en étroite collaboration avec les clients et un large éventail de parties prenantes. Cela permet de comprendre ce que les clients attendent du produit. L'expérience montre que les clients veulent avoir des preuves des avantages du produit et souhaitent obtenir de l'aide sur la manière d'utiliser les produits (c'est-à-dire les larves ou les excréments).

Pour pouvoir répondre à des questions telles que « *Comment formuler un aliment pour animaux contenant des larves de BSF ?* » ou « *Quelle quantité de frass faut-il épandre sur le sol pour différents types de cultures ?* », il peut être nécessaire de réaliser des essais préliminaires avec les produits sur place ou de mettre à disposition une parcelle de démonstration que les clients peuvent visiter et découvrir par eux-mêmes. En outre, l'obtention d'une certification peut ajouter de la valeur aux produits et renforcer la confiance dans ceux-ci, même si ce processus peut s'avérer fastidieux.



# Dépannage dans la conversion des biodéchets par les BSF

## 7 Dépannage dans la conversion des biodéchets par les BSF

Des problèmes et des défis liés à l'exploitation de la conversion des biodéchets par les BSF surviendront inévitablement. Il est donc très important d'identifier le problème - « la difficulté » - à un stade précoce et d'en comprendre les causes afin de le résoudre. Ainsi, un tel incident peut être utilisé comme une occasion d'apprendre à adapter les contrôles et les procédures afin d'éviter que ce problème ne se reproduise. En outre, des mesures doivent être mises en place afin que, si le même problème se reproduit, il puisse être traité de la manière la plus efficace possible. Le dépannage comprend donc :

- **Observation** : rechercher les écarts par rapport à la normale.
- **Mesure** – Traiter et analyser les données qui montrent des signes d'écart.
- **Isolation de la mesure corrective** – Ne modifier qu'un seul aspect à la fois afin d'identifier au mieux la cause spécifique du problème.

- **Correction** – Mettre en œuvre la correction, la réparer et surveiller de près son effet.
- **Documentation** – Consignez le problème et la solution mise en œuvre pour référence future.
- **Apprentissage** – S'appuyer sur le processus de dépannage permettra de mettre en œuvre des mesures préventives afin d'éviter que ce problème ne se reproduise.

Sur la base des expériences partagées dans les installations de conversion des biodéchets de BSF, des mesures préventives doivent être mises en œuvre afin de réduire la probabilité de problèmes. Ces mesures comprennent :

- Mettre en œuvre des procédures opérationnelles standardisées pour l'alimentation, le nettoyage et la récolte.
- Effectuer des contrôles réguliers de la qualité des déchets avant l'alimentation.
- Maintenir une bonne hygiène afin de réduire le risque de présence d'agents pathogènes et de parasites.
- Surveiller et analyser méticuleusement les paramètres environnementaux et opérationnels afin de détecter les écarts à un stade précoce.
- Former le personnel à la biosécurité et à la détection précoce des problèmes grâce à une observation attentive.

## 8 Lectures clés

Brendow, J. (2025) Calculateur d'émissions de gaz à effet de serre. Thèse MSC, EPFL.

Climate and Clean Air Coalition (2024). BLACK SOLDIER FLY TECHNOLOGY . Utiliser la nature pour valoriser les déchets organiques et créer une économie circulaire permettant de réduire les émissions. (infographies)

Climate and Clean Air Coalition (2025). Transformer les déchets organiques grâce aux mouches soldats noires : un guide à l'intention des décideurs, des entrepreneurs et des responsables de la mise en œuvre pour exploiter le potentiel des systèmes de mouches soldats noires en matière de déchets organiques.

Diener, S., et Gold, M. (2022). Étude mondiale sur le secteur des mouches soldats noires, Fonds climatique infranational.

Diener, S., Dortmans, B.M.A., Peguero, D., Zurbrügg, C. (2025). Approche simplifiée de la mouche soldat noire (SIMBA) – Unité de reproduction : procédure opérationnelle standard. Eawag : Institut fédéral suisse des sciences et technologies aquatiques, Dübendorf, Suisse.

Diener, S., Dortmans, B.M.A., Peguero, D., Zurbrügg, C. (2025). Approche simplifiée de la mouche soldat noire (SIMBA) – Unité d'élevage : procédure opérationnelle standard. Eawag : Institut fédéral suisse des sciences et technologies aquatiques, Dübendorf, Suisse.

Dortmans B.M.A., et al (2021). Traitement des biodéchets par la mouche soldat noire – Guide étape par étape, 2e édition. Eawag

Dortmans B.M.A., Zurbrügg C. (2021). Calculateur Excel simplifié pour une installation BSF de taille moyenne. Eawag

Joly, G. ; Nikiema, J. (2019). Expériences mondiales en matière de traitement des déchets à l'aide de la mouche soldat noire (*Hermetia illucens*) : de la technologie à l'activité commerciale. Colombo, Sri Lanka : Institut international de gestion de l'eau (IWMI). Programme de recherche du CGIAR sur l'eau, les terres et les écosystèmes (WLE). 62 p. (Série sur la récupération et la réutilisation des ressources 16). doi:10.5337/2019.214

Lidden, C. (2025). BSF-SIMBA - Modèle de coûts et de revenus. Eawag

Martinussen, A.M.L., Muganga, A. K. (2023). Projet de rapport Cartographie de la chaîne de valeur de la mouche soldat noire en Afrique de l'Est. FAO

Vernooij, A.G., Veldkamp, T. (2018). Insects for Africa ; Développer les opportunités commerciales pour les insectes dans l'alimentation animale en Afrique de l'Est. Wageningen Livestock Research, Rapport 1150.

Zurbrügg C., et al. (2024). Le traitement des déchets par la mouche soldat noire est-il une solution durable ? Une approche d'évaluation de la faisabilité.

## À PROPOS DE LA CCAC

La Coalition pour le climat et l'air pur (CCAC), convoquée par le PNUE, est un partenariat volontaire regroupant plus de 190 parties prenantes, dont plus de 91 pays partenaires, qui cherchent à réduire les émissions de méthane et d'autres superpolluants afin de limiter le réchauffement climatique à 1,5 °C. Grâce à son fonds fiduciaire, la CCAC aide les pays à réduire les émissions de superpolluants dans tous les secteurs d'ici 2030, tout en plaident en faveur d'une ambition accrue et en faisant progresser les dernières avancées scientifiques pertinentes pour l'élaboration des politiques. Il existe différentes possibilités de financement, notamment pour le renforcement des institutions, la planification nationale, les politiques et la réglementation, ainsi que la transformation sectorielle.

Après une décennie de succès dans la mobilisation des ambitions mondiales en matière de méthane, le secrétariat de la CCAC assure également les fonctions de secrétariat du Global Methane Pledge (GMP), un engagement volontaire de plus de 150 pays à réduire les émissions mondiales de méthane d'au moins 30 % d'ici 2030 par rapport aux niveaux de 2020.



a UNEP convened initiative

### CCAC SECRETARIAT

secretariat@ccacoalition.org

 ccacoalition.org

 facebook.com/ccacoalition

 linkedin.com/company/ccacoalition

 @CCACoalition