

## Instructions pour l'élevage et l'engraissement de la mouche soldat noire

Production de protéines alimentaires à partir de résidus d'origine végétale





La Suisse importe plus de 80 % des protéines brutes contenues dans les aliments pour les animaux de rente et l'aquaculture. Même dans l'agriculture biologique. Une stratégie envisageable pour couvrir les besoins en protéines consiste donc à développer des aliments à base d'insectes. Cela permettrait de transformer les résidus de la production de denrées alimentaires en Suisse et de réduire le gaspillage alimentaire. Près de 60 % de l'ensemble des déchets alimentaires pourraient être utilisés pour l'alimentation des animaux d'élevage, dont font aussi partie les insectes comestibles. Cette part des pertes alimentaires provient en particulier de la transformation (38 %), directement de l'agriculture (13 %) ou du commerce (8 %). L'élevage de larves d'insectes pour la production d'aliments pour animaux peut donc contribuer à résoudre divers problèmes tout en créant des synergies:

- En nourrissant les insectes, il est possible de réintroduire les aliments gaspillés dans le cycle global. De grandes quantités de déchets alimentaires seraient ainsi conservées dans le cycle des éléments nutritifs.
- L'élevage d'insectes permet de produire des protéines brutes et des matières grasses de grande qualité. Cela permettrait d'éviter les importations de grandes quantités de marchandises et des transports longues distances tout en réduisant la consommation d'espace et d'eau, ainsi que la surpêche.
- La mise en place de sites efficaces et durables pour l'élevage d'insectes permettrait d'améliorer le bilan climatique et la gestion des ressources de l'agriculture suisse.

## Contenu

Alimentation animale: la mouche soldat noire	
<i>Hermetia illucens</i> .....	3
Vie de la mouche soldat .....	3
Engraissement de l' <i>Hermetia</i> .....	5
Élevage et remonte .....	12
Organisation de l'élevage et de l'engraissement d' <i>Hermetia</i> .....	21
Perspectives .....	23

## Alimentation animale: la mouche soldat noire *Hermetia illucens*

Parmi la multitude d'insectes potentiels, la larve de la mouche soldat noire est l'insecte de prédilection pour l'alimentation animale, en particulier pour les raisons suivantes:

- Elle recycle un large éventail de substances organiques en décomposition.
- L'élevage à haute densité est possible sans morsures mutuelles ni cannibalisme.
- Elle ne souffre pour l'instant d'aucune maladie connue, mais parvient à réduire la pression de divers agents pathogènes dans son environnement.
- Elle ne produit pas de toxines défensives et ne transmet pas de maladies.

- Son cycle de reproduction est facile à contrôler.
- Sa teneur en protéines est élevée et le profil d'acides aminés est intéressant.
- Les essais alimentaires à base de farine d'*Hermetia* incorporée dans les rations alimentaires de poissons, de volailles et de porcs ont été couronnés de succès.

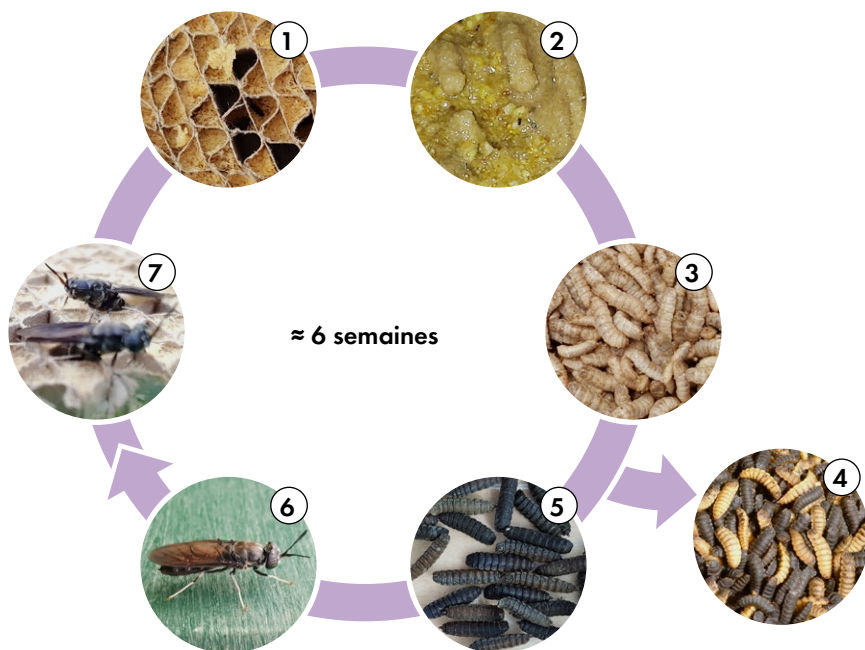
Ces propriétés ont placé la mouche soldat noire au centre de nombreuses études scientifiques, de concepts de gestion et de valorisation des déchets, ainsi que de réflexions sur la politique agricole.

## Vie de la mouche soldat

La mouche soldat noire (*Hermetia illucens*), ci-après appelée «*Hermetia*», appartient à la famille des *Stratiomyidea*. Dans la littérature spécialisée anglaise, elle est dénommée «Black Soldier Fly» (BSF).

Elle fait partie de l'ordre des diptères (*Diptera*). La mouche et la puppe mesurent environ deux centimètres, les mouches mâles étant légèrement plus petites que les femelles.

### Illustration 1: Cycle de vie d'*Hermetia illucens* et durée des différents stades de développement



En règle générale, les périodes indiquées concernent environ les deux tiers des individus d'une population/génération donnée. Même dans des conditions optimales et constantes, certaines larves se développent plus rapidement et d'autres avec beaucoup de retard. Grâce à cette variabilité ancrée génétiquement, au moins une partie de la population peut, dans la nature, éviter d'éventuelles conditions de développement défavorables (p. ex. manque de nourriture, phases de sécheresse, etc.).

#### 1. Œufs: 3 à 5 jours

#### 2. Jeunes larves: 6 à 8 jours

De l'éclosion de l'œuf à la fin du 2<sup>e</sup> stade larvaire

#### 3. Larves d'engraissement: 12 à 16 jours

Du 3<sup>e</sup> au 5<sup>e</sup> stade larvaire

#### 4. Fin de l'engraissement et récolte

L'engraissement se termine avant que les larves, sous forme de pré-pupes sombres, ne cessent de s'alimenter et cherchent un endroit approprié pour la nymphose. La récolte a lieu dès que les premières pré-pupes apparaissent (au plus tard lorsque la proportion de pré-pupes atteint 20%, vers les jours 18 à 22 du développement larvaire).

#### 5. Stade de puppe: 7 à 12 jours

#### 6. Mouche adulte: 7 à 21 jours

Les mouches fraîchement écloses atteignent leur maturité sexuelle au bout de 2 à 3 jours; les femelles éclosent environ 1 à 2 jours après les mâles, la copulation a lieu environ 3 jours après l'émergence hors de la nymphe.

#### 7. Ponte

Au plus tôt 2 jours après la copulation, la femelle pond un paquet de 200 à 1300 œufs.

## Cycle de vie

La durée d'un cycle (d'œufs à œufs) est d'environ 6 semaines dans les conditions optimales de stations d'élevage fermées. Le cycle de vie peut toutefois varier considérablement. Alors qu'il peut se raccourcir dans les habitats originels des régions tropicales et subtropicales, des circonstances plus défavorables en termes de température, d'humidité, de nourriture et/ou d'ensoleillement entraînent des retards importants. Après de nombreuses années de mise en place et d'optimisation d'une station d'élevage d'*Hermetia* au FiBL à Frick, les données suivantes peuvent servir de valeurs de référence. Voir illustration 1, page 3.

La mouche adulte peut survivre 1,5 à 3 semaines durant lesquelles sa nourriture est exclusivement liquide. Elle vit sur ses réserves d'énergie (graisse). La femelle meurt peu après la seule et unique ponte, le mâle en fonction de sa constitution.

## Conditions environnementales d'élevage

*Hermetia* n'est pas très exigeante en matière de nourriture, mais son environnement artificiel doit répondre à certaines exigences. Des conditions climatiques appropriées sont décisives pour permettre un élevage sur le long terme. Un mode d'élevage adéquat et une alimentation conforme aux besoins sont des conditions fondamentales pour que l'élevage et l'engraissement soient efficaces. C'est peut-être l'une des raisons pour lesquelles l'effectif des producteurs professionnels de larves est resté relativement modeste dans toute l'Europe.

Les exigences de l'*Hermetia* en matière de température ambiante varient en fonction de son stade de développement. Les mouches, les œufs et les jeunes larves ont besoin de 27 à 30 °C et d'une humidité relative d'au moins 60 %, mais également d'une forte source de lumière dont le spectre contient des fractions en UV-A pour déclencher la copulation et la maturation des œufs. Les larves à engraisser nécessitent une température de 25 à 28 °C. Les températures inférieures à 23 °C ralentissent le développement et en dessous de 17 °C, celui-ci est bloqué. Des températures supérieures à 32 °C peuvent avoir des effets négatifs.

## Aliments autorisés pour l'élevage d'*Hermetia*

En principe, les larves d'*Hermetia* sont extrêmement peu exigeantes en ce qui concerne le choix de la nourriture. Contrairement à d'autres insectes spécialisés, l'*Hermetia* s'accommode de nombreuses sources de nourriture différentes. Le substrat alimentaire doit être dans un processus de décomposition humide ou à l'état de bouillie prête à être absorbée à l'aide des pièces buccales de la larve.

Hors de l'Europe, l'*Hermetia* omnivore est également nourrie avec des restes d'animaux ou des matières fécales. Du point de vue de la réduction des déchets, ceci constitue un autre point très intéressant, surtout dans les régions métropolitaines tropicales.

En Suisse et dans l'UE, seuls les résidus d'origine végétale issus de l'agriculture et de la chaîne de transformation sont autorisés dans l'alimentation d'*Hermetia*. Celle-ci peut ainsi être utilisée comme support protéique pour les poissons carnassiers, la volaille et les porcs. L'interdiction dans l'UE et en Suisse d'utiliser des protéines transformées d'origine animale pour nourrir des animaux de rente destinés à l'alimentation humaine a été récemment assouplie en conséquence.



Les larves du 5<sup>e</sup> stade larvaire sont utilisées pour l'alimentation animale jusqu'à ce qu'elles cessent de se nourrir et qu'en tant que pré-pupes (6<sup>e</sup> stade larvaire), elles cherchent un endroit approprié pour la nymphose. Elles sont alors congelées, puis transformées en farine d'insectes.

## Engraissement de l'Hermetia

L'engraisement proprement dit des larves d'Hermetia ne commence pas tout de suite avec les jeunes larves fraîchement écloses et ne se termine pas non plus avec le dernier stade larvaire, juste avant la pupaison. La période de prise alimentaire maximale – et donc de prise de poids maximale – se concentre entre le 3<sup>e</sup> et le 5<sup>e</sup> stade larvaire. Toutes les autres étapes sont décrites dans le chapitre élevage et remonte à partir de la page 12.

### Trouver la bonne période d'engraisement

L'engraisement consiste à alimenter les larves avec des déchets qualifiés de «substrat alimentaire». Cela est possible dès le premier stade larvaire. Cependant, pendant cette phase de développement sensible, le taux de mortalité peut dépasser 80 %. Le risque d'une perte totale est donc important. Pour éviter cela, il est essentiel d'adapter l'alimentation des jeunes larves. L'expérience montre qu'il n'est pas judicieux de commencer l'engraisement à ce stade.

Après la mue qui suit le 5<sup>e</sup> et dernier stade larvaire clair, la larve passe au stade de prépupe sombre. À partir de ce moment-là, la larve cesse de s'alimenter et puise dans les réserves d'énergie de son propre corps. La larve transforme ses pièces buccales en crochet de migration et part à la recherche d'un endroit sec approprié pour se nymphoser entièrement. Pendant les premières années de la production d'Hermetia, aux États-Unis, mais aussi au FiBL, la récolte avait lieu au moment de la migration. Comme la prépupe perd déjà du poids à ce stade, la fin de l'engraisement est aujourd'hui recommandée comme suit.

#### Période d'engraisement optimale

- Démarrage avec de jeunes larves de 5 à 9 jours, après la phase de développement critique
- Fin d'engraisement après environ 10 à 14 jours (âge des larves après l'éclosion: 15 à 23 jours), reconnaissable à l'apparition de 10 à 20 % de prépupe sombres (6<sup>e</sup> stade larvaire).



Phases de développement des larves d'Hermetia a) au début de l'engraisement avec de jeunes larves de 6 jours et b) après la fin de l'engraisement avec une forte proportion de prépupe sombres.

### Alimentation pendant l'engraisement

#### Essais d'alimentation pour l'engraisement

Des essais avec deux aliments de base différents pour l'engraisement des larves ont donné les résultats suivants: Bien que les larves se soient développées à la même vitesse jusqu'au stade de prépupe, les larves élevées sur des drêches de bière et des pâtes riches en protéines et en hydrates de carbone étaient, après 2 semaines, 25 % plus grosses que celles du groupe de comparaison élevé sur des fruits et légumes riches en fibres. Pour un taux de survie comparable, cela se traduit par une croissance de la biomasse et un poids de récolte proportionnellement plus élevés. Le développement larvaire s'est déroulé de manière identique durant toute la période de 15 jours. La perte de poids lors du passage des larves à la phase de prépupe était la même dans les deux groupes.

La teneur en protéines des larves engraisées sur des drêches de bière et des pâtes était plus élevée, alors que la teneur en matières grasses était plus faible que chez les larves engraisées sur des fruits et légumes. Mais ces teneurs peuvent fortement varier en fonction des composants individuels.

### Composition de l'aliment standard FiBL

Après de nombreux essais, le FiBL a mis au point un aliment standard qui combine les flux de résidus organiques de grande qualité des drêches de bière et restes de pâtes avec les restes de fruits et légumes, plus difficiles à digérer et moins appréciés par les autres animaux de rente.

#### Recette pour l'aliment d'engraissement

- 40 % de drêches de bière encore humides avec 20 % de matière sèche (MS)
- 32 % de fruits et légumes de rebut provenant de la grande distribution, dont la MS varie entre 15 et 40 % en fonction de la saison.
- Les 28 % restants sont composés de pâtes, présentant des défauts, issues de tests ou surproduites, avec 30 à 40 % de MS.

Par ailleurs, les larves peuvent être nourries sans problème avec des pulpes de pommes et de légumes, des déchets de conditionnement ou des produits de boulangerie. En théorie, il serait possible d'utiliser de nombreux autres résidus organiques. Mais les composants alimentaires doivent provenir directement de sites de production, donc avant d'arriver dans nos assiettes, ce qui exclut p. ex. les déchets de cantine, même s'ils sont végétariens. Voir encadré A: Situation juridique CH/EU, page 8.

### Préparation de la nourriture

Après avoir calculé les quantités nécessaires, les ingrédients utilisés sont grossièrement mélangés dans un grand récipient, puis broyés. Il est recommandé de préparer une ration hebdomadaire complète en une seule fois et de stocker temporairement les rations alimentaires au frais et à l'abri de la lumière.

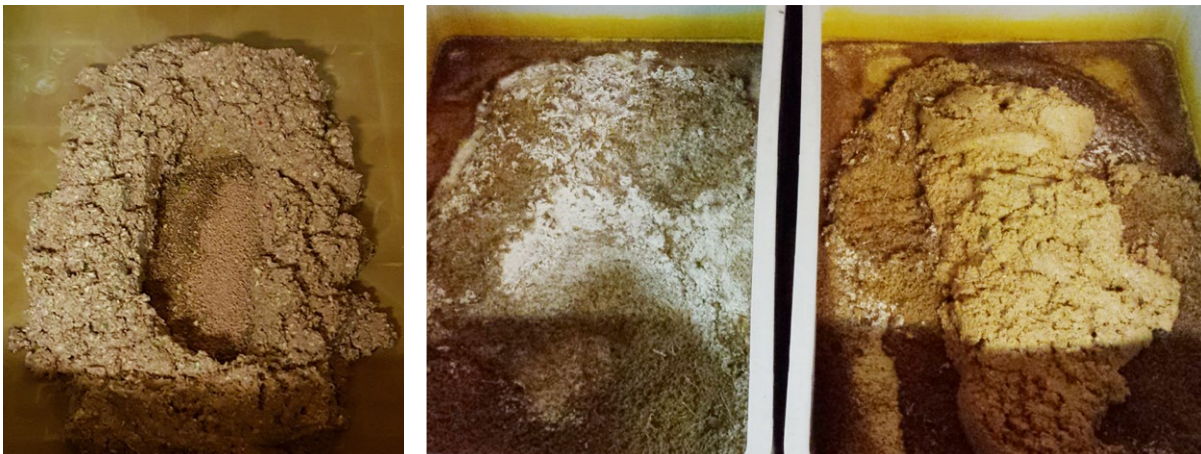
Broyés, moulus ou déchiquetés: lors de la préparation de la bouillie alimentaire, il convient de veiller à ce que tous les ingrédients soient broyés le plus finement possible, dilués avec de l'eau ou épaissis avec un liant selon les besoins. Si le substrat alimentaire commence à glisser lentement de la pelle à partir d'un angle d'environ 20 °, la teneur optimale en matière sèche de 24 % est atteinte. Si l'aliment est trop sec, une croûte solide peut se former en surface, voir photo au centre, page 7. Si la nourriture est trop humide, les larves risquent de fuir. De nombreuses espèces de fruits ou même les tomates et les concombres libèrent de grandes quantités d'eau. Pour les choux, les grosses betteraves ou autres, il est recommandé de procéder au préalable à un broyage grossier, p. ex. avec un broyeur de betteraves.

### Broyage des ingrédients

- Plus les particules sont petites, plus il est facile pour les larves de les absorber.
- Si la récolte des larves s'effectue à l'aide d'un tamis à la fin de l'engraissement, il est recommandé d'utiliser un maillage inférieur à 5 mm. Dans ce cas, il faut également tenir compte du fait que si l'on utilise des fruits à noyau dans l'alimentation, les noyaux indigestes éventuellement non broyés (p. ex. noyaux de cerises) s'accumuleront plus tard dans la récolte des larves.

### Besoins en nutriments

- Les **teneurs en protéines brutes** ne devraient pas être inférieures à 7 % dans les substrats alimentaires. Des teneurs inférieures à 15 % entraînent déjà une production de biomasse comparative plus faible et/ou ralentissent le cycle de développement et la valorisation des aliments. D'autre part, des teneurs en protéines brutes supérieures à 20 % ne sont pas nécessaires, car l'efficacité de l'azote a tendance à diminuer. Des teneurs supérieures à 25 % peuvent même s'avérer néfastes en raison des produits de dégradation potentiellement toxiques. Une teneur en protéines brutes comprise entre 15 et 20 % semble idéale. Mais cela dépend fortement de la teneur en énergie des substrats alimentaires.
- Des **teneurs en glucides** nettement supérieures à 50 % ne sont pas recommandées. Le rapport entre les protéines brutes et les glucides ou l'amidon devrait se situer entre 1:2 et 1:3. Cela garantit une croissance de la biomasse la plus rapide et la plus importante possible.
- Les **matières grasses** peuvent être transformées et métabolisées sans problème par les larves, ce qui peut compenser des teneurs en amidon trop faibles. Les teneurs en matières grasses supérieures à 15 % dans l'alimentation ont généralement des effets négatifs sur le développement larvaire.
- Hormis l'hémicellulose, les larves ne peuvent pas digérer les **fibres végétales**. Celles-ci se dégradent par une activité purement microbienne, surtout dans le substrat alimentaire, et offrent donc éventuellement une source de nourriture indirecte pour l'*Hermetia*.
- Une **variation de ces valeurs** peut avoir un impact significatif sur la croissance, la durée de développement et la qualité de la récolte/du produit. Une perte totale est également possible.



Début de l'engraisement et apport d'aliments: apport initial d'aliments en forme d'anneau avec les jeunes larves au centre (photo de gauche), suralimentation critique avec formation de croûtes (photo du milieu) et 3<sup>e</sup> apport normal d'aliments sur 4 au total (photo de droite).

La station d'élevage du FiBL a réalisé quelques essais de longue durée sur plusieurs années et déterminé les taux et fréquences d'alimentation les plus rentables (tableau 1).

Une répartition des portions sur 4 distributions d'aliments, soit 3 apports après le début de l'engraisement, donne les meilleurs résultats pour chacun de ces paramètres:

- Succès de la récolte
- Faible charge de travail
- Gestion et contrôle

### Calendrier d'alimentation

Les dates d'alimentation les jours 1, 4, 7 et 10 de la phase d'engraisement sont ici adaptées au comportement alimentaire des larves qui évolue à chaque changement de stade. Les dates peuvent varier en fonction de la qualité des aliments, de la température et de l'humidité et peuvent être modifiées à tout moment. Dans des conditions particulièrement

favorables, il est également possible de passer à un régime en 3 apports (apport de départ + 2 apports supplémentaires). Au début de l'engraisement, l'apport de départ (20 % de la quantité totale) est versé en forme d'anneau dans l'unité d'engraisement et le nombre exact de jeunes larves est placé au centre du cercle (photo en haut à gauche). Les fois suivantes, les aliments peuvent être ajoutés par le haut (photo en haut à droite). La photo au centre montre une croûte, formée en cas de suralimentation, que les larves ont du mal à percer. Cela se répercute sur le taux de survie, sur la valorisation du substrat et donc sur le succès de la récolte.

Le calcul de la quantité totale d'aliments se fonde sur une valeur empirique de 0,0714 g de matière fraîche par larve et par jour d'engraisement. On part ici du principe que la période d'engraisement dure 14 jours (tableau 2). Pour simplifier, on peut dire que chaque larve reçoit 1 gramme de nourriture pendant toute la phase d'engraisement.

**Tableau 1: Chronologie et répartition des rations pendant une période d'engraisement**

Alimentation	% de la ration totale	
	Départ+3 a.	Départ+2 a.
1 <sup>er</sup> apport (départ)	20	28
4	26	32
7	32	-
8	-	40
10	22	-
Total	100	100

**Tableau 2: Calcul de la quantité totale d'aliments pour une période d'engraisement**

g/larve/jour	Larves	Jours	kg d'aliments
0,071	5000	14	5
0,071	70 000	14	70
0,071	100 000	14	100

## Encadré A: Situation juridique CH/UE Mise à jour mai 2022

### • Règlement UE

Règlement (UE) n° 2021/1372 de la Commission modifiant l'annexe IV du règlement (CE) n° 999/2001 en ce qui concerne l'interdiction de l'utilisation des protéines animales dans l'alimentation des animaux d'élevage non ruminants autres que les animaux à fourrure:

[eur-lex.europa.eu](http://eur-lex.europa.eu) > Recherche Rapide: C/2021/6012

### • CH: Protéines d'insectes comme composants alimentaires pour animaux

Ordonnance sur les sous-produits animaux 916.441.22

Actuellement en cours d'harmonisation avec les derniers règlements de l'UE

[fedlex.admin.ch](http://fedlex.admin.ch) > Recueil systématique > 9 Economie - Coopération technique > 91 Agriculture > 916.441.22 Ordonnance du 25 mai 2011 sur les sous-produits animaux (OSPA)

### • Contrôle des aliments pour animaux - Bases légales

[agroscope.admin.ch](http://agroscope.admin.ch) > Thèmes > Animaux de rente > Aliments pour animaux > Contrôle des aliments pour animaux > Bases légales

### • Condition de détention de *Hermetia illucens* Ordonnance sur l'utilisation confinée (OUC)

selon le droit fédéral suisse:

Article RS 814.912 «Ordonnance sur l'utilisation des organismes en milieu confiné» l'ordonnance sur l'utilisation confinée (OUC) pour les organismes exotiques.  
[fedlex.admin.ch](http://fedlex.admin.ch) > Recueil systématique > 8 Santé - Travail - Sécurité sociale > 81 Santé > 814.912 Ordonnance du 9 mai 2012 sur l'utilisation des organismes en milieu confiné (Ordonnance sur l'utilisation confinée, OUC)

### • Réglementation bio 2023 Suisse

Recueil de toutes les ordonnances, tous les cahiers des charges, règlements et listes qui concernent l'agriculture biologique, bioactuelles.ch > principes > [La réglementation bio](#) > Bio Suisse: Généralités 2023 > Cahier des charges > Partie II > 5.9 Production d'insectes

## Compartiments et densité de population

Lors du choix des compartiments pour l'engraissement, quelques règles doivent être respectées.

### Matériau du récipient

En principe, il convient d'utiliser des récipients qui ne peuvent pas nuire à la qualité des aliments. L'intérieur doit être résistant aux acides et aux bases. Lorsque les larves sont nourries avec des fruits, par exemple, l'acidité des fruits entraîne une baisse du pH. En revanche, les excréments des larves et leur microbiote rendent le milieu plutôt basique (pH élevé). Ces conditions de pH sont idéales pour les larves. L'intérieur du récipient doit donc être résistant à de telles variations chimiques. Les matériaux galvanisés et sensibles à la corrosion ne sont pas adaptés. Les matières plastiques doivent être certifiées de qualité alimentaire.

### Forme du récipient

Outre le matériau, il existe certaines restrictions en ce qui concerne la forme. En fonction de la densité de population, le volume ne cesse d'augmenter au cours de l'engraissement. Il est donc recommandé d'adapter la hauteur des parois à la densité de population.

- La paroi ne doit pas être trop haute afin de garantir un échange d'air suffisant et d'éviter que les larves ne s'asphyxient avec leur propre production de CO<sub>2</sub> et d'ammoniac.
- Mais elle ne doit pas non plus être trop basse pour que les larves ne puissent pas passer trop facilement par-dessus la paroi. Si les larves ne se sentent pas bien dans leur environnement, aucune paroi verticale ne les retiendra, quelle que soit sa hauteur.
- Un bon compromis pour la hauteur de paroi en cm est obtenu en multipliant par 4 la densité de population (nombre de larves par cm<sup>2</sup>). Les détails peuvent être consultés sur le tableau 3, page 9. On y trouve les différents compartiments utilisés dans la station d'élevage du FiBL (voir photos, page 9). Les plus grands compartiments, appelés paloxes, ont la surface de base d'une palette EURO standard et sont empilables (photos en haut, page 9, la photo en bas à droite montre des compartiments empilés).





Les petits bacs gerbables Euro (60 × 40 × 22 cm, en haut) conviennent pour l'engraissement de lots de 10 000 larves. Les grands paloxes (120 × 80 × 30 - 50 cm, placés en bas) offrent un meilleur rapport récolte/surface que les bacs gerbables.



La hauteur des parois des paloxes doit être adaptée en fonction de la densité de population. Les plus profonds (55 cm) offrent une bonne protection contre la migration, ceux de taille moyenne (35 cm) offrent un meilleur échange d'air et peuvent être empilés si la consistance de la nourriture est bonne. Si les modèles sont peu profonds (25 cm) et que la consistance de la nourriture est bonne, la densité ne devrait pas dépasser 50 000 larves.

### Taille des récipients et densités de population

Plus la surface est grande, plus la densité potentielle est élevée et plus les marges de manœuvre en termes de fréquence d'alimentation et de quantités apportées sont variables. La taille des paloxes permet de traiter facilement une population de 50 000 à 90 000 larves. Un nombre plus faible de larves risque d'entraîner la formation trop rapide de croûtes sur le substrat en raison de la surface comparative importante. 100 000 larves et plus stimulent l'instinct de fuite et le processus de récolte devient nettement plus difficile, car les parties inférieures ne sont guère aérées et le contenu devient difficile à tamiser. De manière générale, on observe que le poids des larves diminue au fur et à mesure que la densité s'élève. Cet exemple illustre clairement les limites de l'élevage intensif.

Pour des surfaces encore plus grandes, de plus d'un mètre carré, il faut compter 100 000 larves par m<sup>2</sup>, soit une densité de 10 larves par cm<sup>2</sup>. Les meilleurs résultats en termes de rapport entre l'apport de nourriture, sa valorisation, la récolte et la charge de travail sont obtenus sur ces grandes surfaces avec des densités de 8,5 à 9 larves par cm<sup>2</sup>.

Les bacs gerbables Euro présentés dans le tableau 3 sont certes plus faciles à manipuler et peuvent être empilés sur des étagères à une hauteur de travail agréable. Mais en termes de rapport récolte/surface, ils sont moins intéressants que les plus grands compartiments, car le nombre de larves par cm<sup>2</sup> est moins élevé.

**Tableau 3: Dimensions intérieures et densités de population recommandées pour différents compartiments**

Compartiments	Longueur cm	Largeur cm	Hauteur cm	Surface cm <sup>2</sup>	Nbre de larves	Densité F (nombre de larves/cm <sup>2</sup> )	Hauteur des parois cm (F × 4)
Paloxe	110	74,0	30-50	8140	70 000	8,6	34,4
Bac gerbable Euro	57	36,5	22	2081	10 000	4,8	19,2
Tupperbox	39	26,5	10	1034	3 000	2,9	11,6

## Récolte et transformation

### Séparation des larves et du substrat résiduel

Pour séparer les larves de leurs résidus alimentaires et de leurs excréments, le substrat résiduel, il est recommandé d'utiliser une méthode de tamisage simple et peu coûteuse. Mais il est également possible d'adapter d'autres procédés de séparation hautement techniques, p. ex. un système de centrifugation ou un séparateur à turbulence. Des projets de recherche nationaux et internationaux ont pour objectif de chercher des solutions viables et les premières techniques spécifiques arrivent sur le marché. Mais comme pour les procédures de dégraissage des larves, les coûts d'acquisition du matériel adéquat dépassent encore largement tous les autres coûts liés à l'engraissement des larves. De tels investissements doivent donc être mûrement réfléchis, même s'ils peuvent, à long terme, réduire dans une large mesure les frais de personnel.

De grandes quantités de larves peuvent être séparées de manière simple et efficace du substrat résiduel à l'aide d'un tamis à compost ou d'un tamis vibrant. En principe, le substrat résiduel peut être utilisé comme engrais organique, même en culture biologique. Malheureusement, en Suisse, il n'est pas autorisé de l'utiliser sans un traitement approprié qui garantisse l'absence totale de larves dans le substrat. Selon l'ordonnance sur l'utilisation confinée (OUC) d'organismes exotiques (encadré A, page 8), il convient de s'assurer que *Hermetia illucens* ne puisse à aucun moment quitter les stations d'élevage et d'engraissement.

### Empêcher les croisements dans les populations sauvages

Plusieurs années de suite, des mouches soldats ont été observées «à l'état sauvage» au Tessin, dans certaines régions de Suisse romande et dans le Rhin supérieur. En effet, le FiBL a pu montrer que toute

l'Europe occidentale, y compris la Suisse, était probablement déjà colonisée il y a des décennies par une population génétiquement unique d'*Hermetia illucens*, très différente des souches «domestiquées», élevées en captivité presque partout dans le monde. Cela démontre que cet insecte d'origine tropicale s'est adapté à notre climat en développant des stratégies pour pouvoir hiverner sous nos latitudes. Ces populations d'*Hermetia* sauvages sont considérées comme non invasives. Les analyses génétiques effectuées excluent que celles-ci descendent de souches récemment domestiquées et qu'il existe actuellement un flux génétique détectable. Afin de préserver les populations sauvages génétiquement uniques, il convient d'empêcher tout flux génétique dans l'avenir. Des croisements répétés entre des souches domestiquées et des souches sauvages pourraient en effet activer un potentiel invasif.

### Dévitilisation, séchage et dégraissage

Après la séparation, il est judicieux de peser la récolte pour la documenter et de la congeler à -18 °C pendant au moins 2 jours. Cela permet de tuer les larves qui interrompent leur activité dès 16 °C.

Avant le dégraissage, les larves doivent être séchées, comme les graines oléagineuses. Le processus de séchage dure de 30 à 36 heures à une température de 60 °C. Il s'agit de valeurs de référence et la durée peut varier. Lorsque les larves séchées s'effritent facilement entre les doigts, le séchage est terminé. Des températures plus élevées sont à éviter pour préserver la qualité des protéines.

Jusqu'ici, le dégraissage des larves n'a pas pu être standardisé de manière pleinement satisfaisante par les chercheurs du FiBL. D'une part, la teneur en matière grasse brute des larves varie de 20 à 50 % dans la matière sèche, en fonction du type d'alimentation, et d'autre part, il n'est pas possible d'obtenir une teneur en eau uniforme lors du séchage des larves. Ces deux facteurs rendent difficile

**Tableau 4: Flux secondaires de la production alimentaire et conversion des larves fraîches d'un poids moyen de 0,165 g en farine d'*Hermetia* avec environ 15 % de graisse résiduelle**

Nombre de larves	Larves fraîchement récoltées (kg)	Larves sèches (kg)	Farine de larves 15% de graisse (kg)	Nourriture nécessaire (kg)	Nombre de paloxes
70 000	11,6	5,2	3,1	66,5	1
100 000	16,5	7,4	4,5	95,0	2
5 000 000	825,0	371,0	223,0	4750,0	70
22 450 000	3704,0	1667,0	1000,0	21 328,0	320

la détermination précise du taux de graisse dans le tourteau. Comparée aux procédés industriels de certains grands producteurs, qui peuvent réduire la teneur en matières grasses résiduelles jusqu'à 5 % grâce à des infrastructures coûteuses, la production du FiBL présente une teneur moyenne en matières grasses résiduelles assez élevée, proche de 20 %.

Un dégraissage simple et pratique peut être réalisé avec des presses à oléagineux. L'utilisation des matières grasses issues de larves dans l'alimentation des animaux de rente ne semble que partiellement souhaitable en raison de la prédominance d'acides gras saturés à chaîne courte et moyenne. Une transformation ultérieure des matières grasses en biodiesel serait envisageable.

Pour pouvoir estimer le rendement de la larve jusqu'au produit final partiellement dégraissé sous forme de farine, les valeurs moyennes suivantes pour les différentes étapes du processus sont admises: le processus de séchage réduit le poids frais de la récolte d'environ 55 à 60 %; lors du dégraissage, environ 40 % de ce poids est encore séparé sous forme d'huile et de vapeur d'eau. Il en résulte p. ex. que 22,5 millions de larves nourries avec 21 t de résidus organiques donnent une récolte de biomasse larvaire d'à peine 4 t – ce qui correspond à environ 1 t de farine d'*Hermetia* (voir ligne du bas du tableau 4, page 10).

## Situations critiques et résolution des problèmes

Dans des conditions normales, environ 90 %, voire même 100 %, des larves introduites peuvent être récoltées au bout de deux semaines. Des taux de mortalité élevés pendant l'engraissement sont donc l'indice de problèmes cruciaux.

### Les larves ne grandissent pas

Si les larves de départ n'ont pas gagné en poids et ne sont pas devenues plus actives dès le début et jusqu'au deuxième apport de nourriture, il est possible que l'aliment contienne des ingrédients que les larves ne peuvent pas assimiler. Pour les apports suivants, il convient de préparer de la nourriture fraîche ou d'opter pour d'autres restes alimentaires. Mais il est fort probable que des concurrents saprophytes se soient déjà établis sur le substrat sous forme de microbes et de champignons. Ceux-ci réduisent la valorisation des nutriments par les larves et les bactéries dans leur tube digestif. Les larves affectées se déplacent sans activité nutritive, restent inactives ou se regroupent dans des coins. Si

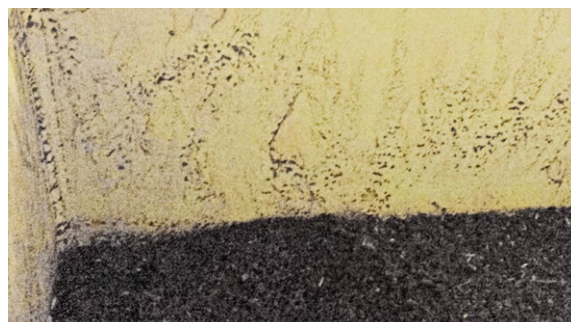
un changement de nourriture n'entraîne pas immédiatement un comportement alimentaire actif, il est judicieux d'éliminer ce lot de larves. Le compartiment doit ensuite être soigneusement nettoyé.

### Les larves cherchent à migrer

Des aliments en quantités importantes, très humides ou très gras peuvent stimuler l'instinct de fuite ou favoriser des comportements migratoires. La distribution de nourriture prive temporairement les larves d'une grande partie de l'espace utilisable. Sur un film humide, les larves peuvent remonter la paroi verticale jusqu'au bord. Cette capacité impressionnante est toutefois indésirable pour un bon engraissement. Elle est symptomatique d'une alimentation ou de conditions d'élevage défavorables.



Jeunes larves d'engraissement qui veulent déjà quitter le bac gerbable après la première distribution de nourriture.



Prépuces en fuite (photo du milieu) et leurs traces sur la paroi interne du paloxe (photo du bas).

Une migration peut être empêchée en saupoudrant les angles humides de farine, de son de blé ou autres produits similaires. Les larves qui s'échappent peuvent certes être recueillies, mais beaucoup se glissent dans des fissures existantes.

### **Suralimentation due à un nombre réduit de larves**

Les pertes dues à la mortalité ou à la fuite entraînent une diminution du nombre de larves dans le compartiment et, par conséquent, une suralimentation ou une valorisation insatisfaisante de la ration suivante, si celle-ci n'est pas adaptée à la nouvelle situation. Un excès d'humidité dû à une suralimentation ou à une activité réduite des larves rend le triage des larves plus difficile au moment de la récolte.

### **Température élevée dans les récipients**

Un autre problème qui peut survenir, surtout à partir du milieu de la phase d'engraissement, est une température trop élevée à l'intérieur du comparti-

ment. L'activité intense des larves et les processus de biodégradation des bactéries et des champignons entraînent un dégagement de chaleur de plus en plus important. Les larves se déplacent de manière frénétique et fouillent de plus en plus le substrat, ce qui fait encore monter la température. Des températures ponctuelles de 50 °C peuvent parfois être atteintes, ce qui provoque des dommages irréparables chez les larves survivantes. Ce processus doit être stoppé le plus rapidement possible, p. ex. en ajoutant modérément de la nourriture froide, en aérant plus fréquemment ou en procédant à une récolte précoce. L'apport d'eau froide est possible, mais risqué. Un volume d'eau trop faible continue d'alimenter le processus de chauffage après un court laps de temps, et un volume trop important rend le tamisage difficile lors de la récolte et facilite la fuite des larves. Les larves issues d'un tel lot ne doivent plus être utilisées. Toutefois, si aucune larve morte ne subsiste à la surface, elles peuvent suivre le processus normal de fabrication de farine.

## **Élevage et remonte**

Si le cycle de vie doit être maîtrisé dans sa globalité, on se rend vite compte que l'élevage en vue de la remonte est l'activité la plus difficile et la plus laborieuse de l'élevage d'*Hermetia*.

D'innombrables petites étapes sont nécessaires pour obtenir un approvisionnement fiable en jeunes larves tout au long de l'année: l'éclosion des mouches, les copulations réussies, la ponte ciblée,

l'incubation des œufs et l'élevage des larves fraîchement écloses sont des stades déterminants pour le succès de l'élevage. Si l'un d'eux échoue, p. ex. en raison d'un manque de lumière pour les mouches adultes ou de températures nocturnes trop fraîches pour les œufs, l'ensemble de l'élevage d'*Hermetia* peut échouer.



Filet à mouches avec abreuvoir (blanc avec un non-tissé vert en guise de mèche), boîte-appât (verte avec carton) et boîte d'éclosion avec pupes et terreau (blanc).

## Prépupes et pupes

Afin de poursuivre le cycle de vie de l'*Hermetia* après l'engraissement et de préserver la colonie, il est recommandé de placer deux unités parallèles, chacune dans un paloxe (tableau 3, page 9). Prévoir pour chaque paloxe au moins 250 à 300 g de pré-pupes sombres équivalant à environ 2000 mouches, qui assureront la descendance de 70 000 jeunes larves. Au total, 4000 pré-pupes (2 × 250 à 300 g) sont donc nécessaires. Elles doivent être conservées au calme dans un récipient peu profond, à un endroit sombre et sec et une température d'environ 27 °C. La taille et la forme du récipient sont secondaires, mais une densité de 3 à 4 pupes par cm<sup>2</sup> ne doit pas être dépassée. Si les mouches doivent être «libérées» de manière contrôlée à un moment donné, le récipient sera recouvert d'un tissu respirant ou d'un filet. Si le nombre de pupes est important, il est possible de les stocker dans la cage à mouches sans les couvrir. Ces pré-pupes se déplacent ensuite pendant quelques jours jusqu'à ce qu'elles se raidissent, puis se nymphosent. Avec de la litière, du paillis ou du terreau, elles se nymphosent beaucoup plus rapidement, de manière plus uniforme et avec plus de réserves d'énergie.

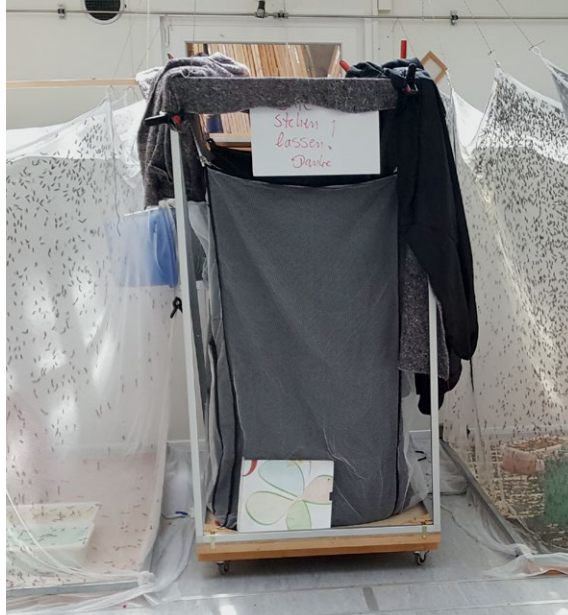
## Mouches et ponte

Après le stade de nymphes d'une durée moyenne de 9 jours, les mouches éclosent. Les mouches fraîchement sorties de leur cocon restent quelques heures sur le lieu d'éclosion. Pendant ce temps, leur nouveau squelette de chitine durcit et leurs ailes se déploient.

### Libération contrôlée des mouches

Pour la libération contrôlée, un «filet noir» est utilisé. C'est un module de cage obscurci, pour stocker les nymphes jusqu'à leur éclosion progressive. En raison de l'absence de stimulation lumineuse sous le filet sombre, les mouches fraîchement écloses peuvent y être recueillies. Elles ne s'envolent pas et ne perdent donc quasiment pas d'énergie. Le début et la fin d'une période de reproduction peuvent ainsi être déterminés facilement.

Une fois que les mouches ont commencé à éclore, le module est couplé à une cage ou à un filet à mouches. Le point de connexion est également un sas par lequel, d'une part, la lumière pénètre à l'intérieur du module et, d'autre part, les mouches ainsi attirées peuvent s'échapper dans la cage inondée de lumière. De cette manière, il est possible de remplir

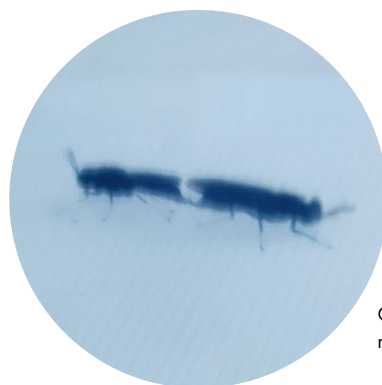


Module assombri (filet sombre) pour le stockage des pupes et la libération contrôlée des mouches écloses par couplage avec le filet à mouches.

en quelques heures tout un filet à mouches ou une cage de plus de 6 m<sup>3</sup> de volume. Cette procédure peut également être répartie sur plusieurs jours ou sur plusieurs cages à l'aide du sas. Certes, les mouches ont ici des âges différents, mais elles ont consommé moins de réserves d'énergie en raison de leur passivité dans le module obscurci. Ainsi, la synchronisation hormonale de la reproduction est garantie en raison de la simultanéité de la stimulation lumineuse.

### Copulation

2 à 3 jours après l'éclosion, les mouches atteignent leur maturité sexuelle. Les jours suivants, des copulations ont lieu, en particulier vers midi et en début d'après-midi. Le mâle, légèrement plus petit, saisit la femelle en plein vol et tous deux se laissent tomber au sol. Il peut arriver que la femelle échappe au mâle ou que d'autres mâles tentent de prendre la place du premier. Toutes les tentatives de copulation ne sont pas forcément couronnées de succès. La copulation peut durer de une à vingt minutes et se reconnaît facilement aux paires de mouches reliées entre elles par l'abdomen.



Copulation (accouplement) de l'*Hermetia*



Ponte des œufs dans un carton alvéolé au-dessus du substrat de la boîte-appât.

### Ponte des œufs

2 à 3 jours après une copulation réussie, les œufs ont mûri chez la femelle et celle-ci cherche un endroit approprié pour les pondre. Elle préfère un endroit sec à proximité de sources de nourriture humides et en décomposition. La femelle pond ses œufs les uns après les autres dans les angles, les bords et les ouvertures à l'aide de son ovipositeur extensible et très long. Des boîtes en carton ondulé coupées verticalement (voir photo ci-dessus) au-dessus d'un petit récipient contenant un substrat attractif, très humide et en décomposition, sont idéales. La ponte proprement dite dure au moins 10 minutes, mais peut se prolonger bien au-delà. Les œufs déjà pondus auparavant incitent les femelles à déposer leurs propres paquets d'œufs à côté.

Cet effet et la maturation de 3 à 5 jours peuvent être mis à profit. Les œufs fraîchement pondus ne doivent pas être prélevés tous les jours, mais seulement tous les 2 ou 3 jours. De cette manière et grâce au substrat attractif placé sous les cartons, il est possible de lutter contre les pontes incontrôlées, car les paquets d'œufs, déposés dans les fissures au sol p. ex., sont perdus et réduisent l'efficacité.

### Appâts

Une boîte-appât est un récipient de petite à moyenne taille, qui contient un mélange très odorant de matière organique en décomposition et de résidus du substrat d'engraisement, le tout additionné d'une quantité suffisante d'eau. Ce cocktail permet d'attirer les femelles pour la ponte. Les femelles pondent leurs œufs sur un matériau dont la structure est fendue, poreuse ou grillagée, placé au-dessus de la boîte-appât. Les boîtes en carton ondulé, p. ex. permettent d'une part de laisser circuler l'odeur et d'autre part d'offrir aux femelles des plis, des bords et des ouvertures pour y déposer leurs œufs. Ces éléments, qui recueillent les œufs fraîchement pondus, doivent pouvoir être remplacés facilement. Le remplacement doit être effectué rapidement dans la cage à mouches, de préférence le matin ou avant midi.

### Approvisionnement en eau

Il est important de prévoir un abreuvoir au stade adulte. Même si les mouches ne se nourrissent plus, elles boivent encore régulièrement de l'eau. Les mouches risquent sinon de se déshydrater rapidement, en particulier dans un environnement où l'humidité relative de l'air est faible. En plus d'un abreuvoir, le filet doit être régulièrement humidifié par une fine brumisation. Les mouches absorbent les petites gouttelettes avec avidité. L'apport d'eau sucrée, qui peut prolonger la vie des mouches, n'est pas nécessaire pour un élevage d'*Hermetia* efficace. Ici, l'objectif est une copulation et une ponte aussi limitées que possible dans le temps. Après une bonne semaine et demie, le pic de ponte devrait être dépassé. Ensuite, les mouches commencent à mourir.



Pour la ponte, un carton alvéolé placé au-dessus du substrat servant d'appât dans la «boîte-appât» convient parfaitement. En jaune clair, on peut voir les paquets d'œufs déjà pondus.

### Volume du filet et de la cage selon la taille de la colonie

4000 mouches sont nécessaires pour constituer une colonie d'*Hermetia* – toujours une seule génération à la fois – qui sera élevée pendant les 6 semaines de la phase de développement. L'idéal est d'utiliser de grandes moustiquaires ou des filets anti-mouches d'environ 200 × 180 cm de base et 170 cm de hauteur. De petites cages en kit (80 × 40 × 40 cm) ou tout système fait maison (photo en haut à droite) conviennent également. Les filets ou les cages doivent avoir un fond étanche, de sorte que les mouches ne puissent pas s'échapper. Un abreuvoir et une boîte-appât pour la ponte font partie de l'équipement de base (photo en bas de la page 12).

Les grands filets peuvent accueillir jusqu'à 12 000 mouches. Cela correspond à une densité de 2000 mouches par m<sup>3</sup> ou 2 mouches par dm<sup>3</sup>. Avec 500 mouches dans une petite cage, la densité est déjà deux fois plus élevée (4 mouches par dm<sup>3</sup>). Toutefois, les deux tailles atteignent alors leurs limites fonctionnelles. À partir d'un certain rapport entre la taille du filet et le nombre de mouches, l'élevage devient nettement moins efficace. Cela n'est pas uniquement dû au volume, mais dépend dans une large mesure de la surface de repos disponible. *Hermetia illucens* ne vole pas beaucoup et passe plus de temps en position accroupie qu'en vol. Cela signifie que le rapport surface de repos/volume doit être maintenu en cas d'augmentation du volume de



Une grande toile à mouches offre suffisamment de place aux 4000 à 8000 mouches. Si de petites cages y sont placées pour une protection supplémentaire contre les fuites, il est possible d'élever 500 mouches par petite cage, soit 2000 mouches au total.



Même dans les cages que l'on construit soi-même, il faut veiller à un rapport équilibré entre la taille du filet et le nombre de mouches.

l'espace en rajoutant des surfaces de repos. Sinon, les mouches vont en permanence se gêner mutuellement. De même, des abreuvoirs et boîtes-appâts supplémentaires doivent être installés.

#### Occupation des grands filets

200 × 180 cm de surface au sol, 170 cm de hauteur, volume d'espace: 6 m<sup>3</sup>  
Densité optimale: 4000 à 8000 mouches

#### Conditions lumineuses

Les conditions de lumière jouent également un rôle décisif dans l'élevage des mouches. L'éclairage utilisé doit être placé au-dessus des filets. La lumière d'une intensité lumineuse > 1500 lux dans les longueurs d'onde jaune (600 nm) à UV-A (345 nm) devrait éclairer l'ensemble de l'espace. C'est important, car les conditions de lumière déclenchent la maturité sexuelle et l'instinct de reproduction. On suppose qu'il existe un lien entre le segment translucide (illucent) du corps de l'*Hermetia*, qui donne son nom à l'espèce, et le spectre translucide des ondes lumineuses. Entre-temps, il existe déjà plusieurs fournisseurs de lampes spéciales «black soldier fly breeding lights». L'éclairage de l'élevage de mouches ne devrait pas se restreindre à un seul type de projecteur à LED avec une plage de longueurs d'onde très limitée, quel que soit le nombre de projecteurs installés. Si les lampes LED spéciales recommandées, contenant des UV-A, sont utilisées, il convient de veiller à la sécurité au travail au moyen de lunettes de protection appropriées.

S'il est possible d'exposer les mouches à la lumière naturelle, p. ex. par des fenêtres, cela peut entraîner une intense et réjouissante activité de reproduction. Toutefois, il est nécessaire de lutter contre un fort réchauffement dû à l'effet de serre, surtout en plein été, en refroidissant l'air ambiant ou en évitant le rayonnement solaire.

## Incubation

Les cartons alvéolés contenant les œufs sont stockés au-dessus d'un substrat alimentaire très humide jusqu'à l'éclosion des jeunes larves, afin qu'elles puissent tomber directement sur leur nourriture et commencer à se nourrir dès leur sortie de l'œuf. Le calendrier pourrait p. ex. ressembler à ceci:

- Le lundi et le mardi, les femelles pondent des œufs.
- Prélever les œufs le mercredi matin et les placer au-dessus de la nourriture.
- Le vendredi, les larves commencent à éclore.
- Les samedi, dimanche et lundi, presque toutes les larves sortent des œufs.
- Le mardi, l'ancien carton peut être recyclé.

### Estimer le nombre d'œufs

L'estimation du nombre d'œufs est extrêmement difficile et comporte de grands facteurs d'incertitude. De plus, le taux d'éclosion est très variable et difficile à calculer avec précision. Pourquoi il est difficile d'estimer le nombre d'œufs du cycle d'*Hermetia*:

- Le nombre et le poids des œufs varient d'une femelle à l'autre.
- Les œufs ne sont pas tous fécondés.
- Certains œufs peuvent déjà être desséchés ou moisis.
- Toutes les jeunes larves n'ont pas éclos ou n'ont pas réussi à faire le saut dans la «mangeoire».

Les causes peuvent être nombreuses, comme l'accouplement qui dépend de la lumière ou de l'âge. Il ne faut donc pas accorder trop d'importance au nombre d'œufs. Avec l'expérience, il est facile d'évaluer la quantité approximative d'œufs (peu, quelques-uns, beaucoup ou un très grand nombre). Au plus tard à la fin de l'élevage des jeunes larves, le nombre peut de nouveau être estimé.

### Méthodes d'estimation

- Estimer les paquets d'œufs individuels, multiplier par le taux moyen d'œufs pondus: 250 à 750 œufs par femelle.
- Peser le substrat avec les œufs déposés, la différence donne le poids de tous les œufs. Divisé par le poids d'un seul œuf (0,000023–0,000027 g), cela donne le nombre d'œufs. Les salissures ou l'humidité peuvent toutefois entraîner des écarts importants pour ces petites valeurs.

### Recommandation: Ne pas compter les œufs

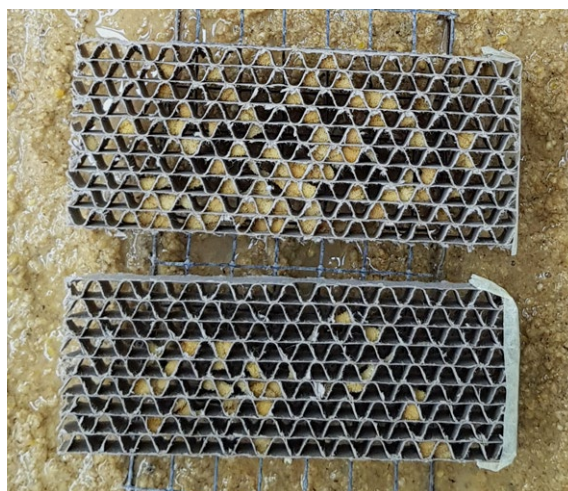
Veiller plutôt à ce que les conditions de ponte, d'incubation et d'éclosion soient optimales:

- Sous le filet: maintenir la température à 28 °C le jour et au moins 24 °C la nuit (même dans la partie inférieure du sol, où se trouve éventuellement la ponte).
- Éviter le dessèchement pendant la phase d'incubation, maintenir les œufs et les jeunes larves à une humidité relative de 60 à 70 %.
- Selon le degré d'isolation, éviter un climat intérieur extrêmement humide en raison de la formation possible de moisissures.

### Procédure simplifiée de l'œuf à l'élevage de jeunes larves

Pour l'incubation et l'élevage, deux systèmes différents s'offrent à vous. Dans la méthode la plus simple, les cartons contenant les œufs sont placés dans une petite boîte sur une grille, directement au-dessus du substrat alimentaire.

Les boîtes doivent être fermées hermétiquement de manière à ce que les jeunes larves ne puissent pas s'échapper mais que l'échange d'air soit suffisant. Il suffit de placer une gaze très fine dans le couvercle. Il est préférable de retirer les cartons contenant les enveloppes d'œufs vides et la grille 3 à 4 jours après l'éclosion ou une semaine après la ponte. Le développement des jeunes larves et leur nombre sont alors très faciles à estimer.



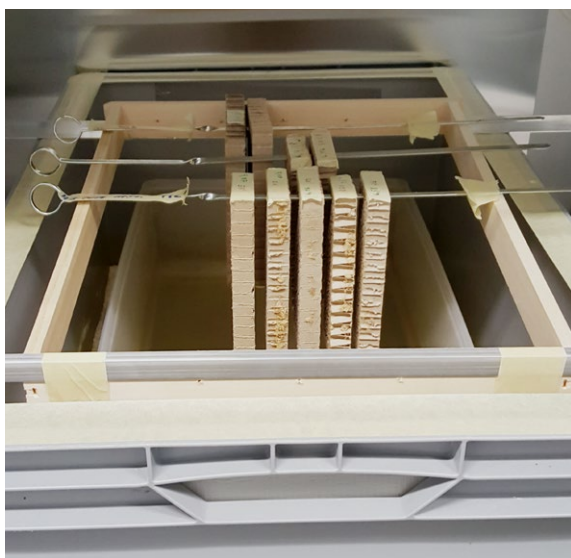
Dans les systèmes les plus simples, le carton alvéolé contenant les œufs est placé sur une grille au-dessus du substrat alimentaire. Il est possible d'utiliser des aliments pour poules humidifiés sous forme de bouillie. Voir chapitre «Jeunes larves» à la page suivante.



## Procédure complexe de l'œuf à l'élevage de jeunes larves

Le second système garantit une plus grande homogénéité des jeunes larves et se base sur la séparation des unités d'œufs et des unités de nourriture pour les jeunes larves. Les cartons avec les œufs sont placés au-dessus de la boîte contenant le substrat alimentaire (suspendus, posés sur une grille).

Les larves fraîchement écloses tombent constamment des cartons. Les boîtes d'élevage dans lesquelles tombent les larves peuvent être remplacées indépendamment des cartons où se trouvent les œufs. Pendant plusieurs jours, il est ainsi possible de placer progressivement différents cartons alvéolés au-dessus de la boîte d'élevage, tout en changeant la boîte d'élevage avec les jeunes larves fraîchement écloses tous les jours ou tous les deux jours. Le développement de jeunes larves du même âge est alors beaucoup plus homogène au sein d'une boîte d'élevage et le moment idéal pour lancer l'engraisement est plus facile à contrôler. Le risque de formation excessive de moisissures est moindre, mais le substrat peut aussi sécher et former une croûte en surface plus rapidement en raison du stockage à ciel ouvert. Les boîtes d'élevage remplacées doivent donc être humidifiées, puis refermées à l'aide d'un couvercle doté d'une gaze pour assurer l'aération. Selon le nombre de larves, il est recommandé de distribuer une seconde fois de la nourriture moins humide et en plus faible quantité lors d'un contrôle vers le 4<sup>e</sup> ou 5<sup>e</sup> jour après l'éclosion.



Dans le processus d'élevage en continu, les cartons alvéolés sont progressivement placés au-dessus d'une boîte interchangeable contenant la bouillie, dans laquelle les larves écloses ruissellent.



Une armoire climatique offre des conditions optimales d'incubation. Au-dessus de chaque boîte d'alimentation, 40 000 œufs sont placés dans des cartons alvéolés.



Augmentation progressive de la teneur en protéines dans les aliments pour l'élevage des jeunes larves: quatre types de mélanges: granulés pour poules (18 % de protéines), nourriture pour truites (46 %) et deux mélanges avec 25 % et 32 % de protéines.

## Jeunes larves

Les jeunes larves fraîchement écloses doivent être élevées pendant 5 à 9 jours dans des boîtes d'élevage et nourries de préférence avec une bouillie à base d'aliments pour poules d'une teneur en matière sèche d'environ 30 %. Pour un volume d'aliments secs pour poules, ajouter environ deux volumes d'eau. Avec un ratio de 1:2 comme référence, on commence avec 750 g d'aliment pour poules et 1500 g d'eau pour environ 200 000 œufs par jour. Sur ce nombre, environ 100 000 jeunes larves vont survivre jusqu'à l'engraisement. L'idéal est d'utiliser des aliments pour poules sous forme granulée qui conservent pendant un certain temps une structure de surface lorsqu'on ajoute de l'eau. Une part d'environ 18 % de protéines brutes dans les aliments pour poules est suffisante. Des essais d'accroissement progressif de la teneur en protéines jusqu'à 46 % n'ont pas montré d'amélioration significative au niveau du taux de survie, de la croissance ou de la vitesse de développement. Un prochain projet de recherche du FiBL étudiera dans quelle mesure il est possible de réduire la teneur en protéines et quelle est l'influence des concentrations en acides aminés essentiels sur leur développement.



Résultat après incubation, éclosion et 7 jours d'élevage à la même température (27 °C) et de gauche à droite, 40 %, 50 %, 60 %, 70 % et 80 % d'humidité relative: le dégradé de couleur peut être attribué aux différences d'oxydation et au degré de séchage.

### Attirer les jeunes larves vers la nourriture

L'une des phases les plus critiques de l'élevage d'*Hermatia* commence à partir du moment où les œufs récoltés sont déposés sur le substrat alimentaire. Les jeunes larves fraîchement écloses doivent impérativement être protégées de la déshydratation. D'autre part, le lieu d'éclosion doit être plus sec que le lieu d'alimentation. Cela permet d'attirer les jeunes larves vers la nourriture et les incite à y rester. Le fait d'humidifier le carton contenant les œufs ou les cloisons constitue un obstacle. Par ailleurs, une couche compacte de moisissures ne doit pas se former sur la nourriture pendant cette période. De petites taches de moisissures sont consommées plus tard par les larves sans poser de problème.

### Densité maximale de jeunes larves

Les jeunes larves peuvent être maintenues à des densités extrêmement élevées pendant une courte période, mais il convient de ne pas dépasser 100 jeunes larves par cm<sup>2</sup>. Cela correspond à 120 000 jeunes larves dans une boîte de 40 × 28 cm.

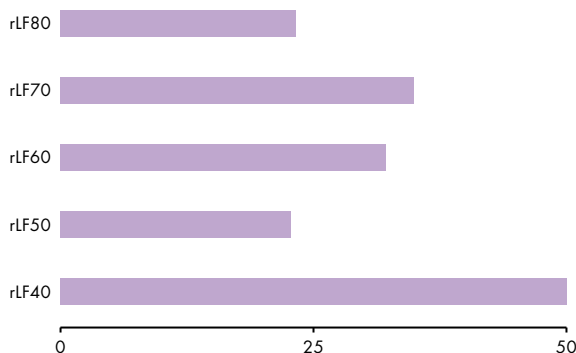
### L'humidité de l'air influence le taux de survie et le poids des jeunes larves

De manière générale, l'expérience montre qu'une humidité relative (HR) élevée est nécessaire pour garantir un taux d'éclosion aussi élevé que possible et un élevage efficace de jeunes larves. Un essai réalisé au FiBL a montré que l'on pouvait atteindre de bons résultats dans des incubateurs dont l'humidité ambiante se situe entre 50 % et 80 %.

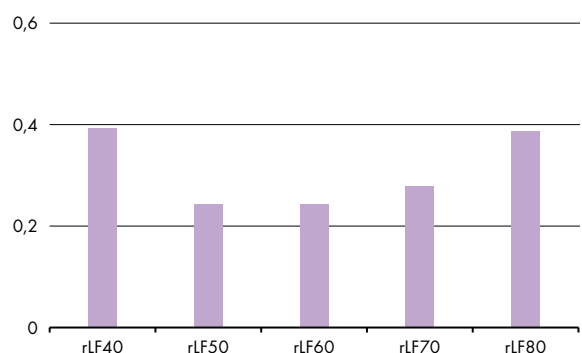
Pour ce faire, 400 000 œufs ont été incubés en continu (2<sup>e</sup> méthode d'élevage des larves en continu) dans une armoire climatique à 40 %, 50 %, 60 %, 70 % et 80 % d'humidité relative et à une température constante de 27 °C. L'élevage s'est poursuivi pendant 7 jours. Les larves ont parfois pris 1,6 fois plus de poids à 80 % et 40 % d'humidité relative que les larves de la série de tests à 50 % d'HR. Mais les raisons sont diverses et variées, voir illustration 2, page 18. Une humidité relative de 80 % dans la zone d'élevage est certes optimale pour les larves. Mais si l'on tient compte de la dépense énergétique supplémentaire, le nombre et le poids des larves sont tout

## Illustration 2: Mortalité et poids moyen pendant l'incubation, l'éclosion et les 7 jours d'élevage à la même température (27 °C) et à différents taux d'humidité relative

Mortalité (%)



Poids moyen des larves (g)



HR = humidité relative de l'air

Une humidité relative de 80 % est idéale dans la zone d'élevage des jeunes larves. C'est pourquoi la plupart des larves survivent ici à la phase d'éclosion et ont un poids moyen élevé. Il en va autrement lorsque l'humidité relative est de 40 %. Ici, les larves présentent un poids aussi élevé parce que la moitié d'entre elles meurent et que les survivantes disposent d'une double ration alimentaire. En tenant compte de la consommation d'énergie supplémentaire nécessaire, une humidité relative de 50 à 70 % peut aussi être préconisée.

à fait acceptables à 50 à 70 % d'HR. Pour le même nombre de jeunes larves, il faudrait environ 1,5 fois plus d'œufs dans un air ambiant à moins de 50 % d'humidité relative, afin de compenser les pertes plus importantes de jeunes larves par dessèchement, et donc des capacités d'élevage plus importantes et des dépenses en matériel plus élevées. C'est pourquoi une humidité relative inférieure à 50 % n'est pas recommandée.

### Séparation et portionnement des jeunes larves

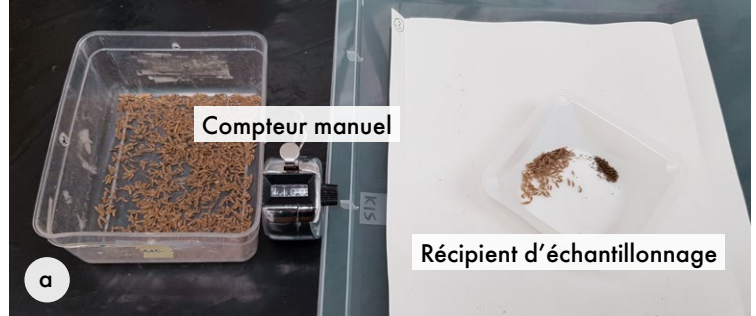
Lorsque la plupart des jeunes larves ont atteint la taille d'un grain de riz non cuit (à l'âge de 7 jours environ), elles peuvent être séparées de leur nourriture et de leurs excréments (substrat résiduel) et leur nombre peut être estimé. Elles sont ensuite divisées en portions et transférées vers l'engraisement, ce qui referme le cycle de l'*Hermetia*. Cette dernière étape avant le début de l'engraisement peut sembler fastidieuse au premier abord, mais elle est indispensable pour contrôler la phase d'engraisement. L'estimation du nombre de jeunes larves permet d'adapter la densité d'élevage à la taille de la boîte d'engraisement et de déterminer la quantité d'aliments à prévoir. Pour la séparation des larves, il existe deux méthodes.

#### 1) Tamisage

Le tamisage permet de séparer les larves de taille suffisante, car les larves de taille réduite passent à travers les mailles du tamis. Il se fait manuellement avec un maillage de 1 à 3 mm adapté à la taille des larves. Les boîtes d'élevage contenant les jeunes larves doivent être suffisamment sèches avant le tamisage pour que les larves et le matériel puissent être tamisés rapidement sans s'agglutiner.

#### 2) Récolte directe

Plus le contenu de la boîte d'élevage est sec, plus la procédure est facile à mettre en œuvre. Celle-ci consiste à perturber brièvement les jeunes larves dans leur boîte d'élevage, par exemple en les secouant, en tapotant sur les bords ou en chauffant légèrement. En réaction, la plupart des jeunes larves se rassemblent à un ou deux endroits et éloignent le substrat résiduel par leurs mouvements. Ensuite, les amas de larves peuvent être transférés dans un récipient propre à l'aide d'une cuillère ou d'une louche.



À la fin de la phase d'élevage, le nombre de jeunes larves doit être estimé. Cette procédure sert à préparer la phase d'engraisement.

### Estimation du nombre de jeunes larves

Lorsque les jeunes larves sont séparées de la plus grande partie de leur substrat résiduel, elles sont pesées toutes ensemble et leur nombre peut être estimé. Matériel nécessaire: petit récipient d'échantillonnage, petite cuillère, support, balance de précision (résolution 0,01 g), éventuellement un compteur manuel (voir photo ci-dessus).

- Peser toutes les jeunes larves ensemble.
- Verser un petit échantillon représentatif d'environ 1 à 2 g dans un petit récipient d'échantillonnage à l'aide d'une petite cuillère et le peser avec précision.
- Répartir petit à petit les jeunes larves du récipient d'échantillonnage – toujours quelques-unes à la fois – sur le support, compter le nombre total de larves de l'échantillon.
- Diviser le poids de l'échantillon par le nombre de jeunes larves pour obtenir le poids moyen des jeunes larves.
- Diviser le poids total des jeunes larves récoltées par leur poids moyen pour obtenir le nombre total de jeunes larves disponibles.
- Multiplier le poids moyen par le nombre de larves souhaitées par compartiment d'engraisement, par exemple 70 000 ou 100 000, pour obtenir le poids du lot.
- Mélanger toutes les larves, les diviser en portions dans des récipients plus petits après les avoir pesées, selon la quantité souhaitée.
- Vider les jeunes larves fraîchement portionnées dans les zones d'engraisement.

## Situations critiques, problèmes

### Dépression hivernale / blues hivernal

C'est précisément pendant la période fraîche et sombre de l'année que les écarts par rapport au climat ambiant optimal peuvent entraîner des difficultés notables dans l'élevage d'*Hermetia*. Les mouches adultes et surtout les œufs fraîchement pondus sont très sensibles à un fort refroidissement nocturne, en particulier au niveau du sol.

Lors de la formation d'une zone froide à l'intérieur du filet à mouches, il arrive que les mouches qui se posent sur des surfaces fraîches ou à l'intérieur de cette zone de froid cessent définitivement de se déplacer et meurent sur place en l'absence de tout stimulus extérieur – même si de l'air chaud à 27 °C ou plus circule 30 cm au-dessus. De telles situations ne posent pas de problème à court terme, mais peuvent conduire, sans que l'on s'en aperçoive, à une diminution constante de la production d'œufs et à une réduction du nombre de jeunes larves prêtes à éclore, provoquant ainsi un effondrement hivernal de la population d'*Hermetia*.

Bon nombre des difficultés rencontrées en hiver résultent de la combinaison de plusieurs facteurs:

- L'éclairage diurne intense génère un rayonnement thermique supplémentaire.
- Le refroidissement nocturne, la circulation d'air frais, froid et sec, nécessite un apport thermique supplémentaire indépendant de la lumière.
- L'assèchement de l'air nécessite une humidification supplémentaire.
- Le refroidissement par évaporation, en particulier au niveau du substrat alimentaire, refroidit la surface de celui-ci.

Plus le système de climatisation et d'éclairage est complexe, plus les mesures de contrôle et de régulation sont importantes. La formation de strates d'air froid et le refroidissement par évaporation peuvent également entraîner des difficultés lors de l'engraissement, même si les effets sont nettement moindres.

### Ponte incontrôlée

Une autre difficulté qui peut survenir à tout moment et en toute saison est la ponte incontrôlée d'œufs en dehors des boîtes prévues à cet effet. Des facteurs de perturbation comme de fortes odeurs ou une surpopulation de mouches adultes à l'intérieur d'un filet ou d'une cage incitent les femelles à pondre leurs œufs dans les endroits les plus divers. Si la densité des mouches est trop élevée dans un filet, il faut augmenter le nombre de boîtes-appâts et de surfaces de repos, et remplacer les cartons de ponte suffisamment tôt. En raison du nombre élevé de mouches, des pontes seront néanmoins déposées à l'écart, à d'autres endroits qui attirent les mouches par l'odeur. Les femelles d'*Hermetia* préfèrent pour cela les angles, les arêtes et les plis, qui forment en outre un biofilm bactérien dû à l'urine de mouche et à l'humidité. Les bords des abreuvoirs doivent être particulièrement surveillés. Les corps de mouches mortes en trop grand nombre sur le sol sont également utilisés pour la ponte.

En principe, la couleur des œufs pondus permet de déterminer leur âge. Elle varie du blanc laiteux pour les œufs juste pondus, au jaune clair pendant la phase de développement, puis au jaune foncé lors de l'éclosion. Si le filet ou la cage est trop «contaminé» par des pontes «sauvages», l'enclos à mouches doit être complètement vidé et congelé avec la population de mouches juste avant l'éclosion des jeunes larves. Les petits amas d'œufs pondus aux endroits inappropriés dans des filets à mouches de densité normale ne posent pas de problème et se produisent régulièrement. Les jeunes larves issues de tels œufs ne vivent pas très longtemps, car elles n'ont pas suffisamment de nourriture à leur disposition. Il en va autrement pour les surfaces microbiennes dans les zones contaminées ou à proximité des corps de mouches en décomposition. Les jeunes larves peuvent continuer à se développer à ces endroits et contaminent par leurs excréments toute la zone du filet/de la cage. La manipulation, le démontage et le nettoyage deviennent alors très fastidieux. La pollution à grande échelle provoque des irritations olfactives dans toute la zone d'élevage des mouches, qui peuvent à leur tour entraîner des pontes sauvages dans d'autres filets à mouches.



Dans la zone d'élevage, il est possible d'utiliser de grands filets à mouches avec de petites cages à l'intérieur.

## Organisation de l'élevage et de l'engraissement d'*Hermetia*

L'intégration de l'engraissement d'*Hermetia* dans d'autres infrastructures, comme la production d'électricité et de chaleur ou dans les flux de matières agricoles et de déchets, constitue un avantage en termes de site et de coûts. Pour l'élevage d'*Hermetia*, le site doit être impérativement divisé en quatre zones:

- Grande zone d'engraissement et de pré-production
- Zone d'élevage un peu plus petite pour la reproduction et l'alimentation des jeunes larves
- Zone pour l'hygiène et la préparation des aliments
- Zone de pressage et de stockage

Les zones d'engraissement et d'élevage de jeunes larves doivent être protégées à l'entrée par un sas (p. ex. rideaux multicouches) afin d'éviter qu'une *Hermetia* ne s'échappe à l'extérieur.

### Régulation du climat ambiant

Le climat ambiant doit pouvoir être régulé soit par des techniques de mesure et de contrôle (climatisation, échangeur de chaleur), soit, plus simplement, par un chauffage, un ventilateur, un humidificateur/déshumidificateur et des contrôles fréquents. Parallèlement, il convient de veiller à une ventilation suffisante dans la zone d'engraissement. La combinaison de résidus alimentaires, de centaines de milliers de larves d'*Hermetia* et de millions de micro-organismes qui consomment l'oxygène de l'air tout en produisant beaucoup de CO<sub>2</sub> et d'ammoniac, nécessite un renouvellement permanent de l'air frais, également pour protéger la santé humaine.

### Différentes exigences environnementales

La zone d'élevage des jeunes larves doit être séparée de la zone d'engraissement. D'une part, les normes d'hygiène pour l'élevage sont nettement plus élevées, afin d'éviter les organismes indésirables tels que d'autres mouches, des coléoptères, des acariens ou des champignons, temporairement tolérables ou inévitables pendant l'engraissement. D'autre part, la température ambiante et l'humidité relative de l'air dans les zones d'élevage doivent être plus élevées et constantes. Pour l'engraissement, des températures plus basses peuvent être compensées par la dynamique propre au sein du compartiment et une humidité de l'air peu élevée est même un avantage. Les larves évitent la lumière et sont également actives la nuit. Les mouches ont besoin de beaucoup de lumière et d'une phase de repos pendant la nuit. Enfin, il convient de favoriser une ponte ciblée. Si toute la pièce sent fortement les résidus de déchets, les boîtes-appâts perdent de leur attrait et les œufs sont pondus partout dans le filet à mouches.

### Incubation à proximité des mouches

L'incubation et l'élevage des jeunes larves peuvent avoir lieu à proximité de la station des mouches. Les exigences en matière de température et d'humidité sont similaires. Des trajets courts, un accès à l'eau, un grand espace de travail et de rangement sont des avantages à ne pas négliger. Une armoire climatique ou une pièce climatisée qui permettent de réguler constamment la température et l'humidité de l'air sont certes recommandées, mais elles sont coûteuses et nécessitent beaucoup d'entretien. Elles ne sont pas nécessaires si le climat ambiant est adéquat. D'autant que la capacité d'une armoire climatique est rapidement dépassée dans un élevage à grande échelle et que des appareils supplémentaires sont alors nécessaires.

### L'Hermetia a besoin de suffisamment d'espace

Les nombreux équipements de travail, les boîtes et récipients de différentes tailles utilisés au cours du cycle de vie d'Hermetia illustrent l'ampleur de ce processus de 6 semaines. D'autant qu'en règle générale, plusieurs générations se chevauchent et doivent être élevées en même temps.

La dimension et le potentiel de l'élevage d'Hermetia, du premier au cinquième stade larvaire, sont comparables à ceux d'un hamster qui deviendrait un éléphant d'Afrique adulte en 3 semaines (voir photos et tableau ci-dessous).



Jeunes larves fraîchement écloses sur la surface de pesée à gauche et une «grosse larve» après engraissement sur la photo de droite pour comparaison.

Si l'élevage est bien géré, plusieurs centaines de milliers de larves peuvent commencer l'engraissement chaque jour. Celles-ci nécessitent de l'espace et un grand nombre de récipients. L'espace nécessaire à l'engraissement peut constituer un facteur limitant. 5 paloxes démarrés par jour ouvrable correspondent à près de 60 paloxes en rotation. Pour un cycle d'engraissement de 14 jours, cela représente 50 paloxes dans la zone d'engraissement, auxquels s'ajoutent 5 paloxes pour la récolte et 5 paloxes pour les nouveaux lots, ainsi que 3 à 5 paloxes supplémentaires pour le renouvellement et la remonte.

### Traitement des substrats résiduels

Tous les substrats résiduels doivent être traités de manière à ce qu'une population sauvage ne puisse pas s'établir par inadvertance en dehors des bâtiments d'engraissement et d'élevage et que l'ordonnance sur l'utilisation des organismes en milieu confiné soit respectée. Le moyen le plus sûr de s'en assurer est de congeler tous les restes de l'élevage d'Hermetia à -18 °C pendant au moins 48 heures. D'autres procédés thermiques sont possibles, mais ils doivent garantir qu'aucune mouche, œuf, larve ou puppe ne puisse survivre en dehors de l'élevage.



**Tableau 5: Comparaison du potentiel de croissance de l'Hermetia**

Croissance	g		kg
Jeune larve 1 <sup>er</sup> stade	0,00002	Hamster	0,5
Jeune larve 2 <sup>e</sup> à 3 <sup>e</sup> stade	0,00100		
Larve engraisée 5 <sup>e</sup> à 6 <sup>e</sup> stade	0,20000	Éléphant adulte	5200,0
Facteur 1 <sup>er</sup> /5 <sup>e</sup> stade	10 000,00000	Facteur hamster/éléphant	10 000,0

## Perspectives

Ce qui s'applique à de nombreux autres animaux de rente pourrait également favoriser la diffusion des élevages d'*Hermetia* dans les petites ou moyennes exploitations: répartir la production entre plusieurs exploitations d'engraissement plutôt décentralisées et quelques exploitations d'élevage des jeunes larves plutôt centralisées. Ainsi, certaines entreprises se consacrent uniquement à l'engraissement en raison de la charge de travail élevée que représente l'élevage des jeunes larves. D'autres pratiquent l'élevage et produisent de jeunes larves qu'ils livrent à des entreprises d'engraissement, et d'autres encore transforment les larves d'engraissement récoltées en farine d'insectes.

Rien qu'en raison des énormes flux de résidus organiques et des nombreuses possibilités d'utilisation des larves d'*Hermetia*, un potentiel existe également en Suisse pour la production d'*Hermetia* en tant qu'aliment pour animaux. Récemment, des recherches intensives ont permis de relativiser les évaluations de risques et les restrictions réglementaires initiales.

Les débouchés pour cette source alternative de protéines ne devraient donc théoriquement pas manquer à l'avenir. Et ce, en particulier, parce que cette alternative est plus durable, comparée au soja et à la farine de poisson. Mais il convient de disposer d'infrastructures spécifiques parfaitement coordonnées et de garantir la mise à l'échelle des productions correspondantes. Actuellement, les larves d'insectes ne peuvent être engraisées qu'avec des substrats qui satisfont les normes de qualité des aliments pour animaux ou qui proviennent directement de la production de denrées alimentaires et ne sont donc pas considérés comme des déchets. Reste à savoir si d'autres assouplissements seront apportés à l'avenir pour améliorer la durabilité.



### Farine d'insectes et alimentation à base d'insectes vivants

Il existe désormais des autorisations à l'échelle européenne pour les **farines d'insectes**, non seulement dans le secteur de l'aquaculture, mais aussi pour l'alimentation des volailles et des porcs. Un alignement législatif de la Suisse est à prévoir dans un avenir proche.  
(état décembre 2022)

Selon les conditions-cadres suisses actuelles, **l'alimentation à base de larves d'insectes d'élevage** est difficilement réalisable. [blv.admin.ch](http://blv.admin.ch)  
> Animaux > Santé animale > [Nourrir les animaux avec des protéines animales et des insectes.](#)



## Informations complémentaires

### Faits et chiffres du FiBL

Stadtlander T. et al. (2021):

La farine d'insectes dans les aliments destinés aux volailles et aux poissons – Potentiel et limites de cette source alternative de protéines. Institut de recherche de l'agriculture biologique FiBL, Frick.

Disponible sur [shop.fibl.org](https://shop.fibl.org), numéro d'article: 1597

## Impressum

### Éditeur

Institut de recherche de l'agriculture biologique FiBL  
Ackererstrasse 113, Postfach 219, 5070 Frick, Suisse  
Tél. +41 (0)62 865 72 72, [info.suisse@fibl.org](mailto:info.suisse@fibl.org), [www.fibl.org](http://www.fibl.org)

**Auteurs:** Jens Wohlfahrt, Christoph Sandrock (tous deux du FiBL)

**Relecture:** Timo Stadtlander (FiBL)

**Rédaction:** Vanessa Gabel, Sophie Thanner (toutes deux du FiBL)

**Traduction:** Laurent Graff ([www.laurentgraff.ch](http://www.laurentgraff.ch))

**Mise en page:** Brigitta Maurer (FiBL)

**Photos:** Thomas Alföldi (FiBL): pages 2, 5, 4, 23, 24; Jens Wohlfahrt (FiBL): p. 3, 5, 7, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 21

**Numéro d'article du FiBL:** 1727

**DOI :** 10.5281/zenodo.8271838

La fiche technique peut être téléchargée gratuitement sur [shop.fibl.org](https://shop.fibl.org).

Toutes les informations contenues dans cette fiche sont basées sur les meilleures connaissances et l'expérience des auteurs. Malgré tout le soin apporté à sa réalisation, des imprécisions et des erreurs d'application ne peuvent être exclues. Les auteurs et l'éditeur ne sauraient donc être tenus responsables d'éventuelles inexactitudes dans le contenu, ni de dommages résultant de l'application des recommandations.

1<sup>re</sup> édition 2023 © FiBL