

La farine d'insectes dans les aliments destinés aux volailles et aux poissons

Potentiel et limites de cette source alternative de protéines





La présente publication offre un aperçu des possibles utilisations de la farine d'insectes comme aliment destiné aux volailles et aux poissons. Elle se concentre surtout sur la mouche soldat noire, *Hermetia illucens*. Outre les résultats de projets de recherche du FiBL et de l'EPFZ, la publication présente également les résultats d'études internationales. Celles-ci montrent que certaines farines d'insectes présentent de bonnes propriétés nutritionnelles, tant pour l'alimentation des volailles que pour celle des poissons. Toutefois, leur aptitude à être utilisées comme composants d'aliments pour animaux dépend fortement de la production et de la transformation des larves d'insectes.

Les farines de certaines espèces d'insectes sont autorisées dans l'aquaculture depuis 2017, leur utilisation dans l'alimentation des volailles et des porcs est admise depuis septembre 2021. Cependant, la législation actuelle interdit de nourrir les insectes avec des déchets alimentaires. Cette possibilité contribuerait pourtant largement à augmenter la durabilité de cette source alternative de protéines utilisée dans l'alimentation animale.

Sommaire

Alimentation des animaux de rente:	
problèmes et solutions	3
Valeurs nutritionnelles des insectes	5
Adaptation des aliments aux besoins	
nutritionnels des animaux	9
Production d'aliments pour animaux	10
Utilisation d'insectes dans l'aviculture	11
Utilisation d'insectes dans l'aquaculture	13
Durabilité de la farine d'insectes	18

Alimentation des animaux de rente: problèmes et solutions

Impact négatif des aliments pour animaux sur l'écobilan des produits d'origine animale

La production animale sur terre et dans l'eau est à l'origine d'une part importante de l'empreinte écologique de l'agriculture. Outre les émissions de gaz à effet de serre dues à la digestion des ruminants, c'est surtout la culture fourragère qui a un impact négatif sur l'écobilan. Celui-ci se compose principalement des émissions de gaz à effet de serre dues à la culture, des pertes d'azote par lixiviation liées à la fertilisation, des changements d'affectation des terres ainsi que de la déforestation pour créer de nouvelles surfaces cultivables (Schader *et al.*, 2015).

Les importations d'aliments pour animaux aggravent la problématique

La production en Suisse d'aliments d'origine animale tels que la viande, le poisson, les œufs, le lait et le fromage nécessite dans la plupart des cas des importations d'aliments pour animaux. Or, à l'étranger comme en Suisse, la production d'aliments pour animaux exerce une pression sur les surfaces cultivables, ce qui peut entraîner une intensification de la culture et un changement d'affectation d'habitats de grande valeur écologique et de puits de carbone (forêts, steppes, marécages). La sur-fertilisation et l'acidification des sols ainsi que l'utilisation excessive de produits phytosanitaires peuvent avoir un impact négatif sur l'écobilan des aliments pour animaux importés et des denrées alimentaires d'origine animale produites avec ces derniers (Boerema *et al.*, 2016). En outre, l'azote importé avec les aliments pour animaux provoque un net excédent de nitrates, ce qui a des répercussions négatives sur



En Suisse, la majeure partie des déchets alimentaires est produite par les ménages.

les nappes phréatiques et les eaux de surface. Si la farine de poisson est utilisée en quantité nettement plus faible que le soja dans l'alimentation animale, cela ne la rend pas pour autant plus durable. À quelques exceptions près, la pêche ciblée pour la production de farine de poisson n'est pas durable, car les poissons pêchés pourraient, dans la majorité des cas, être consommés directement par l'homme.

Il faut trouver des solutions

L'utilisation d'aliments pour animaux riches en protéines, produits localement et à partir de matières résiduelles serait un bon moyen de réduire l'impact négatif de la production d'aliments pour animaux.

Les insectes: un aliment pour animaux riche en protéines

Premières recherches au siècle dernier

L'utilisation d'insectes comme source de protéines pour les porcs et les poissons a fait l'objet d'études dès la fin des années 1970 (Newton *et al.*, 1977, Bondari et Sheppard, 1981). En outre, les insectes ont été identifiés comme des recycleurs potentiels du fumier et du lisier qui produisent également des protéines animales. Leur utilisation dans l'alimentation des animaux de rente permet de fermer des cycles des nutriments ouverts (Sheppard *et al.*, 1994). Or, les insectes peuvent non seulement utiliser les excréments animaux, mais aussi valoriser d'autres déchets organiques comme les déchets alimentaires.

Une grande partie des denrées alimentaires produites finit à la poubelle

Chaque année, environ un tiers des denrées alimentaires produites au niveau mondial restent inutilisées, parce qu'elles sont perdues ou jetées à différentes étapes de la chaîne de production et de valeur. Ainsi, la production annuelle mondiale de déchets alimentaires s'élève à quelque 1,3 milliard de tonnes. En Europe et en Amérique du Nord, les pertes et déchets alimentaires sont estimés à 280–300 kg par personne et par an (FAO, 2011).

Une autre étude confirme ce constat pour la Suisse, où le gaspillage alimentaire s'élève à environ 2,8 millions de tonnes par an sur l'ensemble de la chaîne de valeur, en Suisse et à l'étranger, soit 300 kg par personne (Beretta & Hellweg, 2019).



La mouche soldat noire, *Hermetia illucens*, est originaire des latitudes subtropicales et tropicales d'Amérique.

Déchets alimentaires valorisables

Une manière de recycler les déchets alimentaires est de les utiliser pour nourrir les insectes. Les insectes ainsi produits constituent à leur tour une nouvelle source de protéines pour l'alimentation des animaux de rente.

Différentes espèces d'insectes se sont révélées être des candidates prometteuses. L'aptitude à l'utilisation dans l'alimentation animale dépend non seulement du type d'insectes, mais aussi du stade auquel ils sont «récoltés» et de leur transformation ultérieure. La plupart du temps, on utilise des insectes au stade larvaire.

Les espèces les plus étudiées sont les larves de la mouche soldat noire (*Hermetia illucens*), de la mouche domestique (*Musca domestica*) et du ténébrion meunier (*Tenebrio molitor*), communément appelées vers de farine. Faute de place, la présente publication se concentre sur la mouche soldat noire (ci-après appelée BSF pour *black soldier fly*).

Utilité de la BSF comme aliment pour animaux

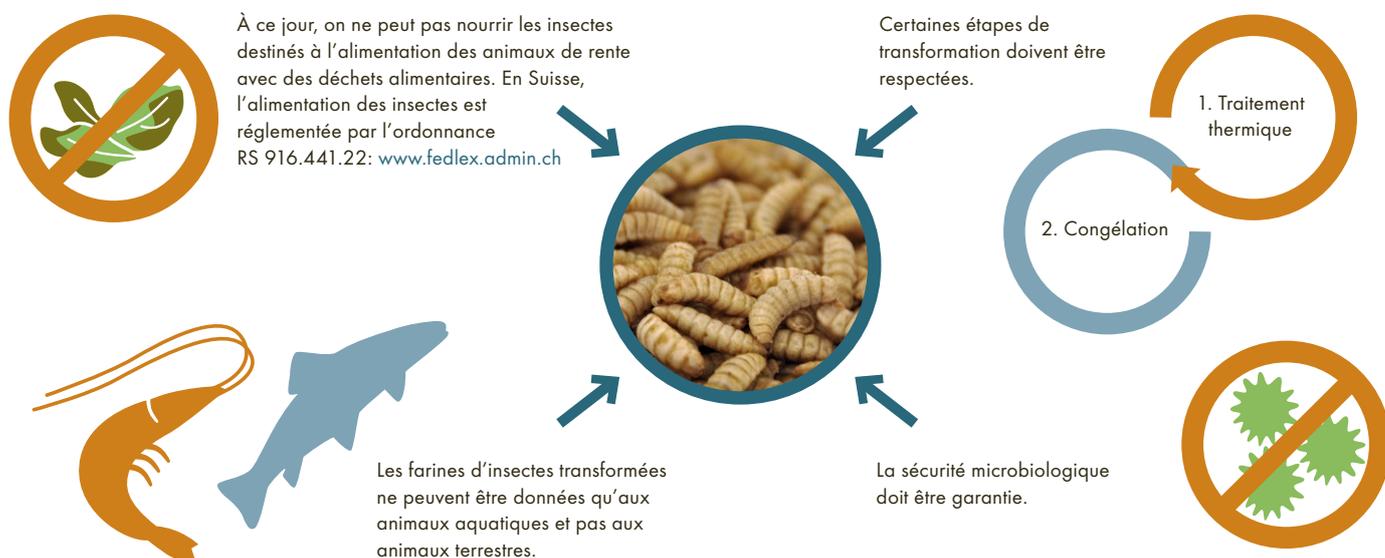
- La BSF peut être nourrie avec une grande variété de déchets organiques.
- Elle est relativement peu exigeante en ce qui concerne les conditions d'élevage.

L'utilisation d'insectes comme aliments pour animaux est réglementée par la loi

De nombreuses études montrent que la BSF a le potentiel d'assurer l'apport de protéines des poissons, des volailles et des porcs. Cependant, tous les animaux de rente ne peuvent pas être nourris avec des protéines d'insectes transformées. L'utilisation d'insectes comme aliments pour animaux est généralement soumise à un règlement spécifique à chaque pays. Ce règlement régit la production et la mise en circulation des aliments pour animaux.

En 2017, l'UE a autorisé l'utilisation de protéines d'insectes transformées, et par conséquent de farine d'insectes, dans l'aquaculture. Peu de temps après, cette autorisation a également été accordée en Suisse. Depuis septembre 2021, dans l'UE, les farines d'insectes peuvent également être utilisées dans l'alimentation des volailles et des porcs. Toutefois, des exigences strictes s'appliquent à cette utilisation. Il est notamment interdit de nourrir les insectes avec des déchets alimentaires «post-consommation», c.-à-d. produits par les ménages, restaurants ou hôtels. En Suisse, cette utilisation des insectes sera probablement autorisée dans un avenir proche.

Figure 1: Conditions préalables à l'utilisation d'insectes dans l'alimentation des animaux de rente



Valeurs nutritionnelles des insectes

Tout comme les autres animaux et les plantes, les insectes sont composés de nombreuses molécules différentes qui peuvent être grossièrement divisées en macronutriments et micronutriments en termes de nutrition. Les macronutriments comprennent les protéines, les lipides et les glucides (Tableau 1, page 6). Ils sont appelés ainsi parce que les animaux en ont besoin en grande quantité. Leur digestion enzymatique, c.-à-d. la décomposition des protéines en leurs composants, les acides aminés, des lipides en acides gras individuels et des glucides en petites molécules de sucre, libère de l'énergie. L'énergie n'est pas un nutriment en soi; néanmoins, tous les êtres vivants en ont besoin.

Les protéines sont constituées de petites unités de structure, les acides aminés

L'organisme animal et humain ne peut pas synthétiser lui-même les acides aminés essentiels. Voilà pourquoi ces derniers doivent être apportés par l'alimentation. Il en va autrement des acides aminés non essentiels, que l'organisme peut synthétiser lui-même (Tableau 2, page 6). La situation est similaire pour les lipides, qui se composent en grande partie d'acides gras essentiels et non essentiels pour les animaux (Tableau 3, page 7).

Le substrat nutritif influence les valeurs nutritionnelles des insectes

La composition chimique des différents insectes est décisive pour savoir s'ils constituent un bon, un moins bon ou un mauvais aliment pour une espèce animale donnée. Les valeurs nutritionnelles des insectes peuvent être influencées, en partie, par leur alimentation.

Cela concerne en particulier les acides gras. La proportion d'acide eicosapentaénoïque (EPA), l'un des deux acides gras polyinsaturés de la série Ω -3 les plus importants pour la santé, a pu être nettement augmentée en nourrissant les insectes avec des déchets de poisson. En revanche, cela n'a été possible que de manière limitée pour l'acide docosahexaénoïque (DHA), le deuxième acide gras Ω -3 important (Tableau 3, page 7; St. Hilaire *et al.*, 2007a).

La chitine est difficile à digérer

Les farines d'insectes contiennent également de la chitine, le principal composant de l'exosquelette des insectes et un glucide complexe et difficile à digérer. Toutefois, de nombreuses espèces de poissons dont le spectre alimentaire naturel comprend des

insectes ou du zooplancton possèdent une enzyme capable de dégrader la chitine, à savoir la chitinase. Celle-ci leur permet de digérer, dans une certaine mesure, la chitine. Les volailles, en tant qu'animaux omnivores, présentent également une forte activité chitinase. L'un des effets positifs connus de la chitine dans l'alimentation des volailles et des poissons est une légère stimulation naturelle du système immunitaire.

Le dégraissage augmente la part de nutriments

Selon le mode de production et le degré de dégraissage, les farines de BSF peuvent contenir entre 40 et 60 % de protéines brutes. Comme la chitine contient également de l'azote, qui est pris en compte dans les mesures chimiques lors de la détermination des protéines brutes, la teneur en protéines brutes des farines d'insectes est souvent surestimée. La teneur en matières grasses de la farine peut varier tout aussi fortement et dépasser les 40 % si l'alimentation des BSF comprend des glucides. En général, elle se situe plutôt dans une fourchette comprise entre 11 % et un peu plus de 30 %. Le degré de dégraissage est particulièrement important. Plus une farine d'insectes est dégraissée, plus la part relative des autres macronutriments dans la farine dégraissée est élevée. La teneur en cendres brutes, qui indique la proportion de minéraux, varie entre 4,3 % et près de 16 %.

Différences entre les espèces d'insectes

Le profil d'acides aminés des farines d'insectes peut varier considérablement. Selon l'espèce animale qui doit être nourrie avec la farine d'insectes, différents acides aminés sont particulièrement importants.

En cas d'apport insuffisant, notamment en acides aminés essentiels, des symptômes de carence parfois graves peuvent apparaître. Chez les saumons, par exemple, une carence en histidine peut entraîner une cataracte, à savoir une opacification du cristallin. Chez les volailles d'élevage, une carence en acides aminés à chaîne ramifiée (isoleucine, leucine et valine) semble avoir la plus grande influence sur le statut immunitaire. Une carence importante en ces acides aminés pourrait donc favoriser l'apparition de maladies et en aggraver l'évolution (Konashi *et al.*, 2000). Mais avant tout, la carence en acides aminés essentiels entraîne chez toutes les espèces animales une croissance plus faible et une moins bonne conversion de l'azote ingéré, ce qui provoque une augmentation des émissions.

Tableau 1: Teneurs en macronutriments des farines de BSF non dégraissées ou partiellement dégraissées

Étude	Dégraissage de la farine de BSF	Protéines brutes ¹	Matières grasses ¹	Cendres brutes ¹	Glucides ¹	Chitine ¹	Énergie ²
Maurer <i>et al.</i> , 2015	○○	41,5	26,5	4,3	n.a.	n.a.	n.a.
	●○	59,0	11,0	5,0	n.a.	n.a.	n.a.
St. Hilaire <i>et al.</i> , 2007b	○○	43,6	33,1	15,5	n.a.	n.a.	n.a.
Kroekel <i>et al.</i> , 2012	●○	47,6	11,8	15,9	15,1	n.a.	21,1
Dumas <i>et al.</i> , 2018	●○	47,1	20,3	12,7	n.a.	n.a.	n.a.
Heuel <i>et al.</i> , 2021a et b ³	●○	46,0	13,3	13,7	n.a.	7,4	n.a.
Heuel <i>et al.</i> , 2021a et b ⁴	●○	38,0	29,9	11,6	n.a.	7,0	n.a.

¹% de matière sèche; ²kJ/g; ³bonne qualité; ⁴faible qualité

○○ non dégraissée ●○ partiellement dégraissée ●● complètement dégraissée; n.a. = non analysé

Tableau 2: Teneurs en acides aminés des farines de BSF et de poisson

Étude	St. Hilaire <i>et al.</i> , 2007b	Kroekel <i>et al.</i> , 2012	Dumas <i>et al.</i> , 2018	Mwaniki <i>et al.</i> , 2018	Belghit <i>et al.</i> , 2019	FiBL/ETH bonne qualité	FiBL/ETH faible qualité	NRC ² , 2011
Substrat	Farine de BSF							Farine de poisson
Alanine¹	4,7	n.a.	n.a.	6,8	5,2	7,4	8,2	n.a.
Arginine¹	4,1	5,9	3,6	4,8	4,0	5,2	5,0	4,8
Asparagine¹	n.a.	n.a.	n.a.	9,1	7,7	10,1	9,7	n.a.
Cystéine¹	n.a.	0,87	0,64	0,70	n.a.	0,79	0,75	2,05
Acide glutamique¹	5,9	n.a.	n.a.	11,9	8,1	11,9	11,7	n.a.
Glycine¹	3,6	n.a.	n.a.	5,3	4,6	6,0	6,2	n.a.
Histidine¹	1,9	2,1	1,6	10,1	2,0	3,3	3,0	2,0
Hydroxyproline¹	n.a.	n.a.	2,3	n.a.	0,0	n.a.	n.a.	n.a.
Isoleucine¹	3,2	4,0	2,9	4,2	3,3	4,9	5,0	4,7
Leucine¹	4,9	7,1	4,6	6,8	5,8	7,4	7,4	6,0
Lysine¹	4,10	7,2	4,3	5,7	5,0	6,1	5,8	9,3
Méthionine¹	1,2	2,6	1,0	1,6	1,6	1,8	1,9	2,8
Phénylalanine¹	3,1	4,0	2,7	3,8	3,7	4,5	4,4	3,4
Proline¹	3,7	n.a.	n.a.	6,0	4,5	6,1	6,8	n.a.
Sérine¹	2,6	n.a.	n.a.	4,5	3,4	4,5	4,6	n.a.
Taurine¹	n.a.	n.a.	0,57	n.a.	0,0	n.a.	n.a.	n.a.
Thréonine¹	2,8	4,1	2,6	4,0	3,4	4,3	4,4	3,2
Tryptophane¹	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1,7	1,7	0,9
Tyrosine¹	4,8	n.a.	n.a.	4,9	5,3	7,2	6,9	2,7
Valine¹	4,4	4,8	0,8	6,0	4,5	6,8	7,0	4,2

¹% des protéines brutes

²National Research Council, 2011

n.a. = non analysé

	teneur supérieure à celle de la farine de poisson
	teneur identique à celle de la farine de poisson ou inconnue
	teneur inférieure à celle de la farine de poisson

	acide aminé essentiel pour les volailles et les poissons
	acide aminé non essentiel pour les volailles et les poissons

Farine de BSF: composition en acides aminés similaire à celle de la farine de poisson

En matière de profil d'acides aminés, la farine d'insectes obtient en partie des résultats comparables à ceux de la farine de poisson (Tableau 2, page 6). Toutefois, il existe de grandes différences entre les diverses farines d'insectes, qui résultent principalement de l'alimentation différente des BSF.

Pour une production commerciale d'insectes à grande échelle, une standardisation du substrat nutritif et des conditions de transformation s'avère nécessaire afin de garantir une composition constante de la farine d'insectes. Or, cela est en conflit avec la valorisation des déchets, qui présentent souvent des compositions nutritionnelles variables. La résolution de tels conflits d'objectifs nécessite encore beaucoup de travail de développement afin d'assurer une production durable des protéines d'insectes.

Huile de BSF: forte proportion d'acides gras saturés à chaîne moyenne

Dans les profils d'acides gras des BSF dominent l'acide laurique (C12:0), composé d'une chaîne de 12 atomes de carbone (C), et l'acide palmitique (C16:0), composé d'une chaîne de 16 atomes de C. Tous deux sont des acides gras dits saturés, c.-à-d. qu'ils ne comportent pas de doubles liaisons. La proportion d'acide oléique (C18:1 n-9), un acide gras monoinsaturé comportant 18 atomes de C et une double liaison au niveau du 9^e atome de C, peut également être très élevée (voir Tableau 3). Les acides gras polyinsaturés sont nettement plus rares et seul l'acide linoléique (C18:2 n-9) a été mesuré en grande quantité dans deux études.

La composition en acides gras dépend encore plus de l'alimentation des insectes que la composition en acides aminés.

Tableau 3: Teneurs en acides gras des farines de BSF en % des matières grasses

Étude	St. Hilaire et al., 2007a	Dumas et al., 2018	Heuel et al., 2021b	Heuel et al., 2021b			
Substrat	Farine de BSF	Farine de BSF	Farine de BSF	Farine de BSF	Huile de BSF	Farine de BSF ¹	Farine de BSF ²
C 10:0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1,29	1,14
C 12:0	20,9	34,1	41,0	42,6	27,7	48,4	45,8
C 14:0	2,9	6,5	6,7	6,9	4,6	8,6	9,4
C 14:1 n-7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,12	0,15	0,25
C 16:0	16,1	14,3	12,1	11,1	12,7	11,2	15,5
C 16:1 n-9	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,6	0,05	0,08
C 16:1 n-7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1,8	1,8	2,4
C 17:0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,11	0,15	0,14
C 18:0	5,7	2,4	1,6	1,3	2,2	1,6	2,7
C 18:1 n-7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,5	0,04	0,09
C 18:1 n-9	32,1	16,5	14,0	12,3	13,9	11,1	13,1
C 18:2 n-6	4,5	4,0	3,2	3,6	19,0	12,2	6,5
C 18:3 n-3	0,19	0,74	0,71	0,74	1,70	1,00	0,87
C 20:0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,11	0,07	0,07
C 20:4 n-6	0,04	0,20	0,18	0,20	0,11	0,02	0,17
C 20:5 n-3³	0,03	1,76	1,63	1,66	n.a.	0,01	0,07
C 22:5 n-3	0,00	0,10	0,11	0,14	n.a.	n.a.	n.a.
C 22:6 n-3⁴	0,01	0,41	0,43	0,59	n.a.	n.a.	n.a.

¹aliment A; ²aliment B

³acide eicosapentaénoïque (EPA)

⁴acide docosahexaénoïque (DHA)

n.a. = non analysé

	10 à 50% des matières grasses
	1,00 à 9,99% des matières grasses
	0,00 à 0,99% des matières grasses



De nombreux aliments pour animaux transformés sont plus faciles à digérer. Lors de l'extrusion (voir page 10), les nutriments contenus dans l'aliment sont nettement mieux libérés et rendus disponibles pour les animaux sous l'effet de la pression et de la chaleur qu'en cas de granulation.

La digestibilité dite apparente indique la proportion de nutriments qui ne sont pas excrétés dans les fèces.

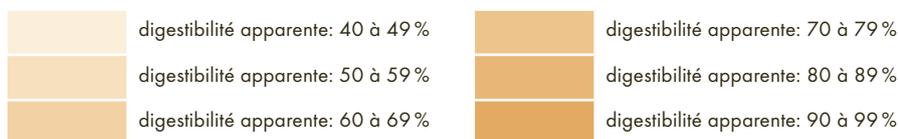
Il est apparu assez tôt que la farine de BSF serait d'abord autorisée comme aliment pour les principaux poissons comestibles tels que la truite et le saumon. Voilà pourquoi la digestibilité de la farine de BSF a déjà été largement étudiée pour ces poissons. Le Tableau 4 montre que la digestibilité est supérieure à 70 % pour la plupart des nutriments. Seule la digestibilité de l'énergie n'est que de 60 %, ce qui indique que certains composants sont moins digestibles ou non digestibles. Il y a lieu de supposer qu'il s'agisse de la chitine qui, malgré une activité chitinase avérée, n'est probablement pas entièrement digestible. Quant aux volailles, la digestibilité n'a pas encore fait l'objet d'études aussi approfondies. Les résultats varient considérablement: la digestibilité des protéines, par exemple, varie entre 51 % et 84,6 %, selon que la farine d'insectes a été dégraissée ou non. En revanche, les lipides semblent être faciles à digérer pour les volailles.

Tableau 4: Digestibilité de la farine de BSF chez les volailles et différentes espèces de poissons

Animal de rente	Poulets de chair	Poulets de chair	Poules pondeuses	Saumon atlantique	Truite arc-en-ciel	Truite arc-en-ciel
Part de BSF dans la ration à l'étude	25 %	n.a.	15 à 17 %	14,75 %	20 %	40 %
Digestibilité apparente en %						
Matière sèche	53	n.a.	n.a.	n.a.	75	74
Protéines	51	84,6	n.a.	82	88	87
Lipides	99	n.a.	n.a.	86	73	97
Énergie	69	n.a.	n.a.	n.a.	60	60
Lysine¹	46	86	81 à 84	85	92	n.a.
Méthionine¹	42	89	84 à 86	90	90	n.a.
Cystéine¹	n.a.	n.a.	79 à 82	n.a.	n.a.	n.a.
Phénylalanine¹	63	90	n.a.	88	90	n.a.
Histidine¹	n.a.	61	n.a.	84	91	n.a.
Étude	De Marco <i>et al.</i> , 2015	Mwaniki & Kiarier, 2019	Heuel <i>et al.</i> , 2021a	Belghit <i>et al.</i> , 2019	Dumas <i>et al.</i> , 2018	Renna <i>et al.</i> , 2017

¹acides aminés essentiels pour les volailles et les poissons;

n.a. = non analysé



Adaptation des aliments aux besoins nutritionnels des animaux

Les insectes comme aliments pour animaux de rente: une nouveauté!

À ce jour, les insectes ne représentent pas encore un aliment pour animaux établi ou largement répandu. L'intérêt pour les insectes comme aliment pour animaux n'a fortement augmenté qu'au cours de la dernière décennie. Auparavant, ils n'étaient utilisés qu'à petite échelle, principalement dans les zoos et les ménages afin de nourrir les animaux élevés en terrarium. Cet intérêt croissant pour des sources de protéines alternatives et recyclées s'explique par une prise de conscience des effets secondaires nocifs de la production d'aliments pour animaux classiques riches en protéines tels que le soja et la farine de poisson et par une hausse de la demande d'aliments pour la production animale mondiale en pleine expansion.

Aliments complets et complémentaires

Les aliments pour animaux doivent couvrir tout ou partie des besoins nutritionnels d'une espèce animale, selon que les animaux ont accès à d'autres sources alimentaires et que celles-ci sont disponibles en quantité suffisante. En règle générale, plus la production animale est intensive, plus la couverture des besoins nutritionnels par des aliments pour animaux spécialement produits est importante. Dans l'élevage intensif, où le nombre ou la densité d'animaux sont élevés et où l'alimentation naturelle ne joue plus aucun rôle, on utilise principalement des aliments complets. Les besoins nutritionnels dépendent non seulement de l'espèce animale, mais aussi d'autres facteurs.

Facteurs influençant les besoins nutritionnels

La quantité et le type de nutriments dont une espèce animale a besoin dépendent des facteurs suivants:

- **Le stade de vie:** les jeunes animaux ont besoin de plus de protéines et les animaux plus âgés de plus d'énergie; le rapport protéines: énergie des aliments varie en conséquence.
- **L'environnement:** les températures ambiantes froides ou chaudes, pour les volailles également le rapport entre la température ambiante et l'humidité de l'air
- **L'objectif de la production:** pondeuses versus poulets de chair ou poissons comestibles versus poissons reproducteurs



La farine de BSF est produite à base du 5^e stade larvaire de la mouche soldat noire. À ce stade, l'engraissement des asticots est terminé. Dans la nature, ces asticots se transforment en pupes peu de temps après.

Voilà pourquoi, dans l'alimentation animale, on distingue souvent les aliments complets, qui doivent couvrir l'ensemble des besoins nutritionnels, des aliments complémentaires, qui doivent remplir certaines fonctions ou remédier à des carences en minéraux et en vitamines. Les aliments complets doivent donc être bien adaptés à l'espèce animale et à ses besoins nutritionnels. À cet effet, il faut bien entendu connaître les besoins en nutriments de l'espèce concernée.

Les besoins nutritionnels des différentes races de volailles et de certaines espèces de poissons parmi les plus importantes au monde ont fait l'objet d'études approfondies. De telles études sont généralement très complexes et coûteuses, surtout lorsqu'elles portent sur les besoins en acides aminés ou acides gras et micronutriments/vitamines spécifiques. Il existe toute une série d'espèces de poissons dont les besoins nutritionnels ne sont pas connus en détail, car elles ne sont élevées que depuis peu de temps ou qu'en faibles quantités.

Exigences physiques relatives aux aliments pour animaux

Les exigences relatives aux aliments complets varient également en fonction du mode d'ingestion. Les volailles picorent des grains et des petits granulés avec leur bec et grattent volontiers; elles peuvent également ingérer des granulés émiettés.

Les poissons, en revanche, ne picorent pas et ne grattent pas non plus. Voilà pourquoi les granulés doivent leur être présentés en petites bouchées, car ils les avalent tels quels. Par conséquent, les granulés destinés à l'aquaculture doivent présenter une certaine stabilité dans l'eau afin de ne pas se désagréger avant que les poissons ne les ingèrent. Pour les volailles, cette exigence physique est moins importante.

Utilisation d'insectes dans l'aviculture

Contexte

La production suisse de viande de volaille et d'œufs connaît une croissance constante et supérieure à celle des autres aliments d'origine animale. Entre 2002 et 2019, la croissance de la production helvétique a été de 160 % pour la viande de volaille et d'environ 40 % pour les œufs (Rapport agricole suisse 2020). Par ailleurs, les besoins en soja dans l'alimentation des poules sont supérieurs à ceux dans la ration des porcs et des bovins (fiche d'information du Réseau suisse pour le soja, 2019; www.sojanetzwirk.ch). Actuellement, 300 à 600 g de soja sont utilisés par kg d'œufs ou de viande de poulet produit. La volaille constitue donc un facteur important dans l'importation d'aliments protéiques, en particulier de soja.

Afin de réduire les importations de soja en Suisse, il serait donc judicieux de commencer par les aliments pour volailles. Pour cela, les farines d'insectes riches en protéines doivent être produites et utilisées de manière efficace et durable. L'alimentation des poulets de chair et des poules pondeuses avec des farines de larves de BSF n'est pour l'instant qu'un élément potentiel de la stratégie suisse en matière d'aliments protéiques. À ce jour, le cadre juridique ne permet pas une telle alimentation, ni en Suisse ni dans les autres pays européens.

Une étude menée conjointement par l'EPFZ et le FiBL a montré que les aliments pour poules pondeuses à base de soja pouvaient être entièrement remplacés par des aliments contenant de la farine de BSF à la place du soja. La performance de ponte et la qualité des œufs des poules pondeuses nourries avec un aliment contenant de la farine de BSF étaient comparables à celles de leurs congénères nourries au soja.

(Heuel et al., 2021a).

Exigences générales relatives aux aliments pour volailles

Critères de sélection d'un aliment pour animaux:

- Appétibilité
- Digestibilité
- Teneurs en nutriments
- Valeur des nutriments, notamment le profil en acides aminés des protéines ou la composition en acides gras des lipides

Alors que l'appétibilité et la digestibilité sont déterminées dans des essais d'alimentation, les compositions en nutriments sont analysées au laboratoire et peuvent être comparées aux recommandations générales en matière de besoins.



Le profil d'acides aminés des farines d'insectes est décisif, car elles doivent avant tout servir de source alternative de protéines. Le Tableau 5 montre que les teneurs en acides aminés essentiels (lysine, méthionine, cystéine et thréonine) de différentes farines de BSF produites au FiBL étaient comparables, voire supérieures à celles des aliments pour animaux riches en protéines traditionnellement utilisés tels

que les tourteaux de soja. La teneur en protéines brutes de la farine de larves dépend fortement de la presse utilisée pour dégraisser le produit. Selon le degré de dégraissage et donc l'augmentation relative de la teneur en protéines, le FiBL a pu produire des farines de BSF avec des teneurs en protéines brutes allant de 38 g/100 g (Heuel *et al.*, 2021a) à 59 g/100 g (Maurer *et al.*, 2015).

Tableau 5: Besoins en acides aminés essentiels des volailles et teneurs des farines de BSF et du soja

Acide aminé	Besoins ¹			Teneur ¹		
	Poussin ²	Poulette ²	Poule ²	Farine de BSF, dégraissée ³	Tourteau de pression de soja (4,5 à 6,0% de MG) ⁴	Tourteau d'extraction de soja (1,3 à 2,6% de MG) ⁴
Lysine	7,9	7,4	7,8	23,6 à 36,3	29,9	32,2
Méthionine + cystine	6,2	5,6	5,9	11,0 à 16,4	14,5	14,6
Thréonine	6,6	6,2	6,6	22,8 à 27,7	19,1	20,2

¹g/kg d'aliment; ²Jeroch *et al.*, 2019; ³plage de données pour trois farines de BSF différentes, dégraissées, produites au FiBL;

⁴base de données suisse des aliments pour animaux, feedbase.ch; MG = matières grasses

Engraissement de poulets

Dans l'engraissement des poulets, la farine d'insectes permet d'atteindre les mêmes accroissements journaliers, poids morts et rendements à l'abattage que les aliments standard à base de soja comparables, que la proportion de BSF soit faible (78 g/kg d'aliment; Leiber *et al.*, 2017) ou élevée (200 g/kg d'aliment; Heuel *et al.*, 2022). Cette affirmation est également confirmée par la recherche internationale (Gasco *et al.*, 2019).

Différences de qualité entre les farines de BSF: impact sur les performances d'engraissement

Pour que les aliments protéiques traditionnels puissent être remplacés par de la farine de BSF, celle-ci doit être de haute qualité. En fonction de leur production, il peut y avoir de nettes différences de qualité entre les farines de BSF en matière de teneur en protéines et de digestibilité (voir Tableau 1 et Tableau 2, page 6), qui se répercutent également sur les performances d'engraissement (Heuel *et al.*, 2022). Il importe donc de veiller à la qualité des farines de BSF lors de leur achat. Les teneurs élevées en protéines brutes et en acides aminés figurant dans le Tableau 1 et le Tableau 2, page 6,

montrent les valeurs que l'on peut généralement atteindre.

Si l'on nourrit les poulets de chair avec des farines de BSF de bonne qualité, on peut généralement s'attendre aux mêmes résultats qu'avec des aliments standard en ce qui concerne la part de filet, la tendreté, les pertes à la cuisson et la couleur (Leiber *et al.*, 2017; Gasco *et al.*, 2019; Heuel *et al.*, 2022). Une étude (Altmann *et al.*, 2018) a révélé que l'alimentation des poulets avec de la farine de BSF avait un impact sur le goût du filet. De même, le substrat sur lequel les larves sont produites peut avoir une influence sur la couleur de la peau et de la viande des poulets de chair (Heuel *et al.*, 2022). Même si certains consommateurs et consommatrices préfèrent ces déviations, il faut tenir compte de cette caractéristique des farines de BSF.

La digestibilité de la chitine influence la conversion alimentaire

En raison de la digestibilité variable liée à la teneur en chitine des insectes, il se peut que la conversion alimentaire soit affectée (Heuel *et al.*, 2022). Avant que les farines d'insectes ne soient largement utilisées dans l'engraissement des poulets, l'influence exacte de la teneur en chitine sur la digestibilité doit encore être étudiée.

Alimentation des poules pondeuses

Tout comme pour l'engraissement des poulets, dans l'alimentation des poules pondeuses, le remplacement partiel ou complet du soja par de la farine ou de l'huile de BSF permet d'obtenir des résultats équivalents (Maurer *et al.*, 2015; Gasco *et al.*, 2019; Heuel *et al.*, 2021a, b). Toutefois, la préférence des poules pondeuses pour les aliments contenant des composants à base de BSF (farine et matière grasse) dépend considérablement de la qualité de ces derniers (Heuel *et al.*, 2021a).

Différences de qualité entre les farines de BSF: impact sur les performances de ponte

La qualité de la farine de BSF exerce une influence sur les performances des poules pondeuses (Heuel *et al.*, 2021a). Toutefois, lorsque la qualité de la farine de larves est élevée, on peut s'attendre à des résultats équivalents à ceux obtenus en utilisant du soja. Cela vaut aussi bien pour l'ingestion et la

conversion de l'aliment que pour les performances de ponte et le poids des œufs. Néanmoins, la farine de BSF peut avoir une influence sur la solidité de la coquille d'œuf (Gasco *et al.*, 2019).

Les insectes vivants peuvent contribuer à améliorer le bien-être des animaux

En raison de l'absence d'autorisation des farines d'insectes dans l'alimentation des volailles, on ne dispose pas encore d'expériences pratiques. Les études expérimentales ne portent généralement que sur une période limitée (p. ex., Iperma *et al.*, 2020). Cela est particulièrement vrai pour les poules pondeuses: les données sur les périodes de ponte complètes font encore totalement défaut et les éventuels effets à long terme ne peuvent pas encore être évalués. Il pourrait être intéressant de nourrir les poules pondeuses et les poulets de chair avec des insectes vivants, car cela pourrait favoriser l'expression de comportements naturels et réduire les troubles du comportement. Toutefois, à cet égard aussi, la situation juridique en Suisse et dans l'UE n'est pas encore totalement clarifiée.

Utilisation d'insectes dans l'aquaculture

Contexte

L'aquaculture suisse ne produit que quelques espèces de poissons en quantités relativement faibles. L'espèce la plus produite en Suisse est la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*). Originnaire du nord-ouest de l'Amérique, elle a été introduite en Europe vers 1880. Avec une production annuelle de quelque 2000 tonnes, elle représente environ 60 % des poissons produits dans l'aquaculture suisse.

La deuxième espèce la plus importante est la perche commune (*Perca fluviatilis*), qui est élevée dans des installations en circuit fermé. Parmi les autres espèces produites, l'on trouve le saumon atlantique (*Salmo salar*), l'esturgeon de Sibérie (*Acipenser baerii*), le sandre (*Sander lucioperca*), le corégone (*Coregonus sp.*), la truite commune (*Salmo trutta*), la carpe commune (*Cyprinus carpio*) et plusieurs poissons plus exotiques tels que le barramundi (*Lates calcarifer*) et le tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*).

Plus récemment, une espèce de crevette s'est ajoutée aux poissons. La crevette blanche du Pacifique (*Litopenaeus vannamei*) est produite dans des installations suisses en circuit fermé.



La truite arc-en-ciel est un poisson prédateur qui chasse les insectes et d'autres poissons.



Les jeunes perches se nourrissent principalement de zooplancton.

La plupart des poissons d'eau douce et d'eau salée peuvent digérer la chitine

Les insectes et les larves d'insectes font partie de l'alimentation naturelle de presque toutes les espèces de poissons d'eau douce. En revanche, comme il n'y a pas d'insectes dans l'eau salée, ils ne font pas partie du spectre alimentaire naturel des poissons de mer. Néanmoins, de nombreuses espèces de poissons et de crustacés sont en mesure de bien digérer les insectes, car la structure de leur corps et leur composition chimique sont similaires à celles du zooplancton, c.-à-d. les petits crustacés marins. En mer, le zooplancton constitue la principale source de nourriture de toutes les espèces de poissons aux premiers stades de leur développement et de certains poissons adultes. L'exosquelette des petits crustacés marins contient également de la chitine. Voilà pourquoi les espèces de poissons qui se nourrissent principalement de ces petits crustacés marins présentent une activité chitinase, tout comme les poissons insectivores (Ikeda *et al.*, 2017). Toutefois, le degré de digestibilité de la chitine n'est pas encore connu.

L'utilisation de farine de poisson dans la pisciculture est controversée

La farine de poisson n'est disponible qu'en quantité limitée et son utilisation est souvent critiquée, à juste titre, pour des raisons écologiques. Voilà pourquoi, au cours des dernières décennies, de nombreuses études portant sur les effets de la farine d'insectes ont été publiées, farine utilisée le plus souvent pour remplacer la farine de poisson dans l'alimentation de différentes espèces de poissons.



La majorité des saumons suisses sont élevés dans une seule ferme piscicole dotée d'une installation moderne en circuit fermé.

Dans la section suivante sont présentées les possibilités d'utilisation de la farine de BSF dans l'alimentation des principales espèces de poissons élevées en Suisse, à savoir la truite (arc-en-ciel), la perche commune et le saumon atlantique.

Certains résultats proviennent des études du FiBL, d'autres sont tirés de la littérature internationale. Or, il y a une nette prédominance des études portant sur l'utilisation de farine d'insectes dans l'alimentation des truites et des saumons, qui sont d'une importance économique considérable dans l'aquaculture européenne. D'autres espèces de poissons se distinguent par leur absence dans les études scientifiques, car elles n'ont qu'une importance économique mineure et sont produites en quantités relativement faibles, comme c'est le cas pour la perche commune, par exemple.



Depuis 2017, l'utilisation de larves de BSF dans l'alimentation des poissons est autorisée. Toutefois, les fermes piscicoles biologiques doivent utiliser de la farine d'insectes certifiée bio, produit qui n'existe pas encore.

Truite arc-en-ciel *Oncorhynchus mykiss*

L'alimentation naturelle des truites arc-en-ciel comprend une grande proportion d'insectes aquatiques et volants les plus divers. Cela fait d'elles des consommatrices idéales de farine d'insectes.

Il existe un grand nombre d'études scientifiques portant sur le remplacement de la farine de poisson par de la farine de BSF dans l'alimentation des truites. Le FiBL a également mené deux études sur cette question. Comme les études diffèrent en partie fortement quant à leur conception et aux paramètres examinés, les principaux résultats sont résumés dans le Tableau 6, page 16.

Principaux facteurs d'influence

Pour remplacer avec succès la farine de poisson par de la farine d'insectes dans la pisciculture tout en assurant la croissance et la conversion alimentaire, il faut tenir compte des points suivants:

- La quantité absolue de farine de poisson dans la ration témoin
- Le pourcentage de farine d'insectes dans la ration à l'étude
- Le degré de dégraissage de la farine d'insectes
- La qualité de la farine d'insectes: des farines d'insectes de qualité supérieure peuvent remplacer une plus grande proportion de farine de poisson par rapport aux farines d'insectes de moindre qualité, sans avoir d'effets négatifs.
- Le processus de fabrication: la conversion des nutriments est meilleure avec les aliments extrudés qu'avec les aliments en granulés.

Une proportion élevée de farine de poisson peut être remplacée par de la farine de BSF

Comme le montre la littérature scientifique internationale, on peut remplacer une proportion assez élevée de farine de poisson dans l'alimentation des truites arc-en-ciel sans que cela ait des effets négatifs sur la croissance et la conversion alimentaire (Tableau 6, page 16). Le taux de remplacement est généralement d'au moins 50 %, même lorsque la part de farine de poisson dans la ration de base est relativement élevée. Cela concerne surtout la farine d'insectes partiellement et complètement dégraissée.

De nombreuses espèces de poissons ne sont pas en mesure de bien utiliser les acides gras insaturés à chaîne moyenne contenus dans la farine d'insectes



Les essais d'alimentation permettent de vérifier si la santé et les performances des animaux sont affectées par de nouveaux composants alimentaires tels que la farine de BSF.

tels que l'acide laurique (C12:0) et l'acide palmitique (C16:0) comme source d'énergie. Voilà pourquoi la farine d'insectes non dégraissée ne remplace pas aussi bien la farine de poisson que la farine d'insectes partiellement ou complètement dégraissée. Les poissons qui reçoivent de la farine d'insectes dégraissée ont besoin d'autres composants alimentaires pour couvrir leurs besoins en acides gras essentiels, indispensables à la formation des membranes cellulaires, et en acides gras non essentiels, qui servent principalement de source d'énergie.

L'alimentation avec de la farine de BSF fait baisser la teneur en acides gras Ω -3 des poissons

Dans toutes les études comprenant une analyse des profils d'acides gras, une diminution des précieux acides gras Ω -3 dans les poissons a été observée. Les poissons d'élevage absorbent ces acides gras par le biais des composants alimentaires marins (farine et huile de poisson). Par conséquent, plus le taux de remplacement de la farine de poisson est élevé, plus la proportion d'acides gras Ω -3 dans le poisson diminue.

Résultats prometteurs obtenus au FiBL

À titre expérimental, des producteurs suisses de truites bio ont utilisé des aliments à base d'insectes produits commercialement, obtenant en partie de très bons résultats (Stadtlander *et al.*, 2017).

Tableau 6: Résultats de cinq études différentes sur l'utilisation de farine d'insectes dans l'alimentation de la truite arc-en-ciel, *Oncorhynchus mykiss*

Conditions de l'essai			Résultats			Étude
Ration témoin Part de farine de poisson dans l'aliment	Ration à l'étude Part de farine de poisson remplacée par de la farine de BSF	Degré de dégraissage de la farine de BSF	Croissance	Conversion alimentaire	Teneur en acides gras Ω-3	
36 %	25 %	○○○	●○	●○	○○	St. Hilaire <i>et al.</i> , 2007b
	50 %	○○○	○○	○○	○○	
60 %	25 %	○●○	●○	●○	●○	Renna <i>et al.</i> , 2017
	50 %	○●○	●○	●○	○○	
61 %	46 %	○●○	●○	●○	○○	Stadlander <i>et al.</i> , 2017
20 %	25 %	○●○	●○	●○	n.a.	Dumas <i>et al.</i> , 2018
	50 %	○●○	●○	●○	n.a.	
	100 %	○●○	○○	○○	n.a.	
35 %	25 %	○●○	●○	●○	n.a.	Stadlander <i>et al.</i> , FiBL, données non publiées
	50 %	○●○	●○	●○	n.a.	
	75 %	○●○	●○	●○	n.a.	
	25 %	○●○	●○	●○	n.a.	
	50 %	○●●	●○	●○	n.a.	
	75 %	○●●	●○	●○	n.a.	

○○○ non dégraissée ○●○ partiellement dégraissée ○●● complètement dégraissée

○○ La ration à l'étude donne de moins bons résultats. ●○ La ration à l'étude donne des résultats comparables. ●● La ration à l'étude donne de meilleurs résultats. n.a. = non analysé

Saumon atlantique – *Salmo salar*

La production de saumon dans des installations en circuit fermé suscite actuellement un grand intérêt, car les coûts de production dans les parcs marins augmentent fortement. La raison en est l'augmentation des coûts de la lutte contre les poux du saumon, des copépodes parasites. Ces derniers développent de plus en plus souvent une résistance aux antiparasitaires courants.

En Suisse, du saumon est produit dans une grande installation en circuit fermé avec un volume de production prévu de 500 à 600 tonnes par an.

La farine d'insectes: une bonne alternative à la farine de poisson

Les saumons et les truites arc-en-ciel font partie de la même famille de poissons. Voilà pourquoi leur capacité à valoriser la farine d'insectes est comparable (Tableau 7, page 17). On peut constater que, tout comme pour les truites, le succès de l'alimentation des saumons avec des farines d'insectes dépend de la proportion de farine de poisson à remplacer,

de la quantité totale de farine d'insectes dans l'aliment et de la qualité de la farine d'insectes. En outre, chez les saumons aussi, la proportion d'acides gras Ω-3 dans l'aliment diminue avec l'augmentation de la proportion de farine d'insectes. Cela dit, la farine d'insectes constitue en principe une bonne alternative à la farine de poisson également pour les saumons.

Aliments commerciaux destinés aux saumons contenant de la farine d'insectes

L'industrie du saumon étant l'une des plus innovatrices dans le secteur de l'aquaculture en Europe, le plus grand producteur européen d'aliments pour poissons a proposé dès 2018 le premier aliment commercial pour poissons contenant de la farine d'insectes.

Tableau 7: Résultats de deux études différentes sur l'utilisation de farine d'insectes dans l'alimentation du saumon atlantique, *Salmo salar*

Conditions de l'essai			Résultats			Étude
Ration témoin Part de farine de poisson dans l'aliment	Ration à l'étude Part de farine de poisson remplacée par de la farine de BSF	Degré de dégraissage de la farine de BSF	Croissance	Conversion alimentaire	Teneur en acides gras Ω-3	
20 %	A ¹ : 25 %	⊙⊙	●○	●○	●○	Lock et al., 2015
	A ¹ : 50 %	⊙⊙	●○	●●	○○	
	A ¹ : 100 %	⊙⊙	○○	●●	○○	
	B ² : 25 %	⊙⊙	○○	●●	●○	
	B ² : 100 %	⊙⊙	○○	○○	○○	
10 %	33 %	⊙⊙	●○	●○	●○	Belghit et al., 2019
	66 %	⊙⊙	●○	●○	○○	
	100 %	⊙⊙	●○	●○	○○ ○○	

⊙⊙ non dégraissée ⊙⊙ partiellement dégraissée ⊙⊙ complètement dégraissée; ○○ La ration à l'étude donne des résultats moins bons. ●○ La ration à l'étude donne des résultats comparables. ●● La ration à l'étude donne de meilleurs résultats. ¹teneur en matières grasses plus élevée que dans la farine de BSF B; ²teneur en matières grasses plus faible que dans la farine de BSF A

Perche commune – *Perca fluviatilis*

La perche commune n'est qu'un produit de niche dans la production aquacole mondiale. La demande est couverte principalement par les perches sauvages pêchées en Europe de l'Est et en Finlande. Toutefois, en Suisse, quelques grandes et petites installations en circuit fermé se sont spécialisées dans la production de ce poisson. En raison du faible volume de production, dans la littérature internationale, rares sont les études sur la perche. Par

conséquent, il n'existe pas encore d'étude publiée portant sur l'influence de la farine d'insectes sur la croissance, la conversion alimentaire et d'autres paramètres importants. Les résultats non encore publiés d'une expérience d'alimentation menée au FiBL ne révèlent aucune différence au niveau de la croissance ou de la conversion alimentaire, même en présence d'une très forte proportion de farine d'insectes dans l'aliment (Tableau 8). Les profils d'acides gras n'ont pas été étudiés. Aucune influence négative sur la santé intestinale n'a pu être mesurée.

Tableau 8: Résultats non encore publiés d'une étude du FiBL portant sur l'alimentation de perches avec deux farines d'insectes différentes

Conditions de l'essai			Résultats			Étude
Ration témoin Part de farine de poisson dans l'aliment	Ration à l'étude Part de farine de poisson remplacée par de la farine de BSF	Degré de dégraissage de la farine de BSF	Croissance	Conversion alimentaire	Santé intestinale	
47 %	25 %	⊙⊙	●○	●○	●○	Stadtlander et al., FiBL, données non publiées
	50 %	⊙⊙	●○	●○	●○	
	75 %	⊙⊙	●○	●○	●○	
	25 %	⊙⊙	●○	●○	●○	
	50 %	⊙⊙	●●	●○	●○	
	75 %	⊙⊙	●○	●○	●○	

⊙⊙ non dégraissée ⊙⊙ partiellement dégraissée ⊙⊙ complètement dégraissée
○○ La ration à l'étude donne de moins bons résultats. ●○ La ration à l'étude donne des résultats comparables.
●● La ration à l'étude donne de meilleurs résultats.

Durabilité de la farine d'insectes

Augmenter la durabilité des produits d'origine animale en nourrissant les animaux avec des insectes

La production de denrées alimentaires nécessite des intrants sous forme d'énergie, d'engrais, d'eau, de terres et de travail. Le gaspillage alimentaire fait que ces ressources sont perdues. Si une partie des déchets alimentaires peut être recyclée sous forme de biomasse d'insectes destinée à l'alimentation animale, la durabilité de la production animale s'en trouvera augmentée.

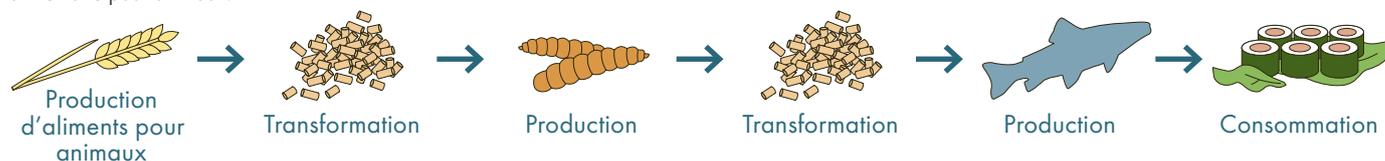
À ce jour, la loi interdit l'utilisation de déchets alimentaires pour nourrir des insectes destinés à être transformés en aliments pour animaux.

Actuellement, aussi bien en Suisse que dans l'UE, les insectes destinés à l'alimentation animale ne peuvent être nourris qu'avec des produits de qualité

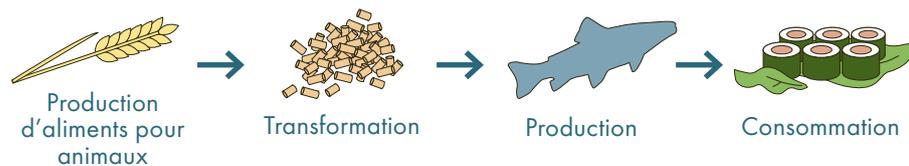
alimentaire pour animaux. Autrement dit, le substrat utilisé pourrait également servir de nourriture aux volailles, aux porcs ou aux bovins. Or, le fait d'utiliser ces aliments pour animaux pour nourrir des insectes afin de les transformer et de les donner à manger aux poissons ou aux volailles, ne va pas dans le sens de la durabilité. En effet, on ajoute ainsi une étape de production et de transformation inutile au système (Figure 3). Chaque étape nécessite les intrants mentionnés ci-dessus, à l'exception des engrais. Plus il y a d'étapes de la production à la consommation, moins la chaîne de processus est durable. Voilà pourquoi il serait plus judicieux d'utiliser les aliments pour animaux directement pour nourrir les animaux de rente. Ce n'est qu'une fois qu'il sera permis d'utiliser de vrais déchets comme aliments destinés à la production de biomasse d'insectes qu'un véritable pas sera fait vers une alimentation animale plus durable.

Figure 3: Aperçu des étapes de différents scénarios de production animale

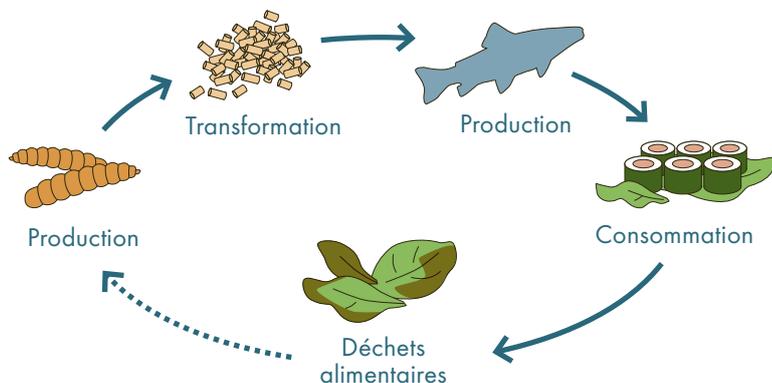
À ce jour, il n'est permis d'utiliser des produits transformés à base d'insectes en aquaculture que si ces derniers ont été nourris avec des produits de qualité alimentaire pour animaux.



D'un point de vue écologique, il est plus judicieux d'utiliser les aliments pour animaux directement pour nourrir les animaux de rente.



L'utilisation de déchets alimentaires pour nourrir les larves de BSF contribuerait à la durabilité de la production, mais elle est actuellement interdite pour des raisons de sécurité sanitaire des aliments.



Plus la chaîne d'étapes est longue, moins la production animale est durable.

Références

- Altmann B.A., Neumann C., Velten S., Liebert F., Mörlein D. (2018). Meat quality derived from high inclusion of a micro-alga or insect meal as an alternative protein source in poultry diets: A pilot study. *Foods* 7:34, DOI: 10.3390/foods7030034.
- Belghit I., Liland N.S., Gjesdal P., Biancarosa I., Menchetti E., Li Y., Waagbø R., Krogdahl Å., Lock E.-J. (2019). Black soldier fly larvae meal can replace fish meal in diets of sea-water phase Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 503, pp. 609-619, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.12.032>.
- Beretta C. und Hellweg S. (2019). Lebensmittelverluste in der Schweiz: Mengen und Umweltbelastung. Wissenschaftlicher Schlussbericht, Oktober 2019. ETH Zürich (Download: www.bafu.admin.ch/lebensmittelabfaelle).
- BLW (2020). Schweizer Agrarbericht 2020.
- Boerema A., Peeters A., Swolfs S., Vandevenne F., Jacobs S., Staes J., Meire P. (2016). Soybean trade: Balancing environmental and socio-economic impacts of an intercontinental market. *PLoS ONE* 11: e0155222. doi:10.1371/journal.pone.0155222
- Bondari K., Sheppard D.C. (1981). Soldier fly larvae as feed in commercial fish production. *Aquaculture* 24, pp. 103-109, DOI: [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(81\)90047-8](https://doi.org/10.1016/0044-8486(81)90047-8).
- De Marco M., Martínez S., Hernandez F., Madrid J., Gai F., Rotolo L., Belforti M., Bergero D., Katz H., Dabbou S., Kovitvadhi A., Zoccarato I., Gasco L., Schiavone A. (2015). Nutritional value of two insect larval meals (*Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens*) for broiler chickens: Apparent nutrient digestibility, apparent ileal amino acid digestibility and apparent metabolizable energy. *Animal Feed Science and Technology* 209, pp. 211-218, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.08.006>.
- Dumas A., Raggi T., Barkhouse J., Lewis E., Weltzien E. (2018). The oil fraction and partially defatted meal of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) affect differently growth performance, feed efficiency, nutrient deposition, blood glucose and lipid digestibility of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 492, pp. 24-34, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.03.038>.
- FAO, 2011. Global food losses and food waste – Extent, causes and prevention. Rome. ISBN 978-92-5-107205-9.
- Gasco L., Biasato I., Dabbou S., Schiavone A., Gai F. (2019). Animals fed insect-based diets: State-of-the-art on digestibility, performance and product quality. *Animals* 9:170, DOI: <https://doi.org/10.3390/ani9040170>.
- Heuel M., Sandrock C., Leiber F., Mathys A., Gold M., Zurbrügg C., Gangnat I.D.M., Kreuzer M., Terranova M. (2021a), Black soldier fly larvae meal and fat can completely replace soybean cake and oil in diets for laying hens. *Poultry Science* 100:101034, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101034>.
- Heuel M., Kreuzer M., Sandrock C., Leiber F., Mathys A., Gold M., Zurbrügg C., Gangnat I.D.M., Terranova M. (2021b). Transfer of lauric and myristic acid from black soldier fly larval lipids to egg yolk lipids of hens is low. *Lipids*, DOI 10.1002/lipd.12304.
- Heuel M., Sandrock C., Leiber F., Mathys A., Gold M., Zurbrügg C., Gangnat I.D.M., Kreuzer M. & Terranova M. (2022): Black soldier fly larvae meal and fat as a replacement for soybeans in organic broiler diets: effects on performance, body N retention, carcass and meat quality, *British Poultry Science*, DOI: 10.1080/00071668.2022.2053067
- Ipema A.F., Gerrits W.J., Bokkers E.A., Kemp B., Bolhuis J.E. (2020). Provisioning of live black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) benefits broiler activity and leg health in a frequency-and dose-dependent manner. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 230:105082, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2020.105082>
- Jeroch H., Simon A., Zentek J. 2019. Geflügelernährung. Ernährungsphysiologische Grundlagen, Futtermittel und Futterzusatzstoffe Fütterung des Lege-, Reproduktions- und Mastgeflügels. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, ISBN 978-3-8186-0555-1.
- Konashi S., Takahashi K., Akiba Y. (2000). Effects of dietary essential amino acid deficiencies on immunological variables in broiler chickens. *British Journal of Nutrition* 83, pp. 449-456, DOI: <https://doi.org/10.1017/S0007114500000556>.
- Kroeckel S., Harjes A.-G.E., Roth I., Katz H., Wuertz S., Susenbeth A., Schulz C. (2012). When a turbot catches a fly: Evaluation of a pre-pupae-meal of the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as fishmeal substitute – Growth performance and chitin degradation in juvenile turbot (*Psetta maxima*). *Aquaculture* 364-365, pp. 345-352, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.08.041>.
- Leiber F., Gelencser T., Stamer A., Amsler Z., Wohlfahrt J., Früh B., Maurer V. (2017). Insect and legume-based protein sources to replace soybean cake in an organic broiler diet: Effects on growth performance and physical meat quality. *Renewable Agriculture and Food Systems* 32, pp. 21-27, DOI: <https://doi.org/10.1017/S1742170515000496>.
- Lock E.J., Arsiwalla T., Waagbø R. (2015). Insect larvae meal as an alternative source of nutrients in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*) postmolt. *Aquaculture Nutrition* 22, pp. 1202-1213, DOI: <https://doi.org/10.1111/anu.12343>.
- Maurer V., Holinger M., Amsler Z., Früh B., Wohlfahrt J., Stamer A., Leiber F. (2016). Replacement of soybean cake by *Hermetia illucens* meal in layer hens. *Journal of Insects as Food and Feed* 2, pp. 83-90, DOI: 10.3920/JIFF2015.0071.
- Mwaniki Z.N., Neijat M., Kiarie E. (2018). Egg production and quality responses of adding up to 7.5% defatted black soldier fly larvae meal in a corn-soybean meal diet fed to Shaver White Leghorns from wk 19 to 27 of age. *Poultry Science* 97, pp. 2829-2835, DOI: 10.3382/ps/pey118.
- Mwaniki Z.N., Kiarie E. (2019). Standardized ileal digestible amino acids and apparent metabolizable energy content in defatted black soldier fly larvae meal fed to broiler chickens. *Canadian Journal of Animal Science* 99, pp. 211-217, DOI: <https://doi.org/10.1139/cjas-2018-0111>.
- Newton G.L., Booram C.V., Barker R.W., Hale O.M. (1977). Dried *Hermetia illucens* larvae meal as a supplementation for Swine. *Journal of Animal Science* 44, pp. 395-400, DOI: <https://doi.org/10.2527/jas1977.443395x>.

National Research Council (2011). Nutrient requirements of fish and shrimp. Washington, DC: The National Academies Press.
<https://doi.org/10.17226/13039>.

Renna M., Schiavone A., Gai F., Dabbou S., Lussiana C., Malfatto V., Prearo M., Capucchio M.T., Biasato I., Biasibetti E., De Marco M., Brugiapaglia A., Zoccarato I., Gasco L. (2017). Evaluation of the suitability of a partially defatted black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal as ingredient for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) diets. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 8, DOI: 10.1186/s40104-017-0191-3.

Schader C., Müller A., Scialabba N.E.-H., Hecht J., Isensee A., Erb K.-H., Smith P., Makkar H.P.S., Klocke P., Leiber F., Schwegler P., Stolze M., Niggli U. (2015). Impacts of feeding less food-competing feedstuffs to livestock on global food system sustainability. *J. Royal Soc. Interface* 12:20150891,
DOI: <https://doi.org/10.1098/rsif.2015.0891>

Sheppard D.C., Newton G.L., Thompson S.A., Savage S. (1994). A value added manure management system using the black soldier fly. *Bioresource Technology* 50, pp. 275-279,
DOI: [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(94\)90102-3](https://doi.org/10.1016/0960-8524(94)90102-3).

Stadtlander T., Stamer A., Buser A., Wohlfahrt J., Leiber F., Sandrock C. (2017). *Hermetia illucens* meal as fish meal replacement for rainbow trout on farm. *Journal of Insects as Food and Feed* 3, pp. 165-175, DOI: <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000230198>.

St.-Hilaire S., Cranfill K., McGuire M.A., Mosley E.E., Tomberlin J.K., Newton L., Sealey W., Sheppard C., Irving S. (2007a). Fish offal recycling by the black soldier fly produces a foodstuff high in omega-3 fatty acids. *Journal of the World Aquaculture Society* 38, pp. 309-313,
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2007.00101.x>.

St.-Hilaire S., Sheppard C., Tomberlin J.K., Irving S., Newton L., McGuire M.A., Mosley E.E., Hardy R.W., Sealey W. (2007b). Fly prepupae as a feedstuff for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Journal of the World Aquaculture Society* 38, pp. 59-67,
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2006.00073.x>.

Impressum

Éditeur

Institut de recherche de l'agriculture biologique FiBL
Ackerstrasse 113, case postale 219, CH-5070 Frick
Tél. +41 (0)62 865 72 72, Fax 73
info.suisse@fibl.org, www.fibl.org

Auteur-es: Timo Stadtlander (FiBL Suisse), Maike Heuel (EPFZ), Florian Leiber (FiBL Suisse), Christoph Sandrock (FiBL Suisse), Jens Wohlfahrt (FiBL Suisse)

Relecture: Michael Kreuzer (EPFZ)

Rédaction: Sophie Thanner (FiBL Suisse)

Traduction française: Sonja Wopfner

Maquette: Sandra Walti, Brigitta Maurer (toutes deux du FiBL Suisse)

Photos: Thomas Alföldi (FiBL Suisse): pages 1, 2, 9, 11; Timo Stadtlander (FiBL Suisse): pages 8, 13, 14 (2), 15; Jens Wohlfahrt (FiBL Suisse): page 4

DOI: 10.5281/zenodo.7929683

Numéro d'article du FiBL: 1597

Cette publication peut être téléchargée gratuitement dans la boutique du FiBL (shop.fibl.org).

Toutes les informations contenues dans cette publication reposent sur les meilleures connaissances des auteur-es et sur leur expérience. Malgré tout le soin apporté, des inexactitudes ou des erreurs lors de la mise en pratique ne peuvent être exclues. Les auteur-es et l'éditeur déclinent donc toute responsabilité en rapport avec d'éventuels contenus erronés tirés de cette fiche, y compris tout dommage causé par la mise en œuvre des recommandations contenues dans celle-ci.

1^{re} édition 2023 © FiBL