



Journal of Applied Biosciences 214: 22749 – 22772
ISSN 1997-5902

Effets de divers traitements technologiques sur la qualité nutritionnelle et microbiologique de la farine de larves de mouches soldats noires (LSMN) *Hermetia illucens* (L., 1758).

Atchamou Jean-Baptiste Odjougbélé^{1,2*}, Aïssetché Germain², Hèdji Carine¹, Gbaguidi Sènam², Djissou Arnauld^{1,3}, Djidohokpin Gildas^{1,6}, Lagnika Camel^{4,5} et Kpoguè Gangbazo Diane Nathalie Sènam^{1,2}

¹Laboratoire d'Hydrobiologie et de Recherche sur les Zones Humides, Département de Zoologie, Faculté des Sciences et Techniques, Université d'Abomey - Calavi, B.P. 526 Cotonou, Bénin.

²Unité de Recherche en Aquaculture et Gestion des Pêches, Ecole d'Aquaculture, Université Nationale d'Agriculture, République du Bénin

³Département de Pêche et Aquaculture, Institut Supérieur des Sciences et de Médecine Vétérinaire de Dalaba (ISSMV-D) - Guinée

⁴Laboratoire de Sciences et Technologie des Aliments et Bio-ressources et de Nutrition Humaine, Ecole des Sciences et Techniques de Conservation et de Transformation des Produits Agricoles de Sakété, Université Nationale d'Agriculture, Porto-Novo, Bénin

⁵Laboratoire de Biochimie et Substances Naturelles Bioactives, Unité de Biochimie et Biologie Moléculaire,

Faculté des Sciences et Techniques, Université d'Abomey-Calavi, Bénin

⁶Département de Gestion des Ressources Naturelles, Faculté des Sciences Environnementales, Université de Nzérékoré, Guinée.

*Auteur correspondant; E-mail: baptiste07atchamou@gmail.com Tel:+229 0197277205

Submitted 10/09/2025, Published online on 30/11/2025 in the <https://www.m.elewa.org/journals/journal-of-applied-biosciences-about-jab/> <https://doi.org/10.35759/JABs.214.7>

RESUME:

Objectifs : Ce travail vise à évaluer l'effet de divers traitements technologiques sur les qualités nutritionnelles et microbiologiques de la farine des larves de mouche soldat noire (LSMN) (*Hermetia illucens*) produite au Bénin.

Méthodologie et résultats : L'expérience a été menée au Laboratoire d'Hydrobiologie et de Recherche sur les Zones Humides (LHyReZ) de l'Université d'Abomey-Calavi (UAC). Quatre (04) traitements technologiques : ébouillantage (PRO-TR1), cuisson à la vapeur (PRO-TR2), congélation (PRO-TR3) et grillade (PRO-TR4) ont été testés sur des LSMN issues de conditions identiques. Les paramètres physico-chimiques et microbiologiques ont été évalués sur les farines produites à partir de ces LSMN. Les teneurs en protéine ont significativement varié ($p < 0,05$) de 53,31% (cuisson à la vapeur) à 50,31% (congélation). La meilleure qualité microbiologique de farine de LSMN a été obtenue avec la cuisson à la vapeur.

Conclusion et applications des résultats : La richesse nutritionnelle (protéines, lipides, acides aminés, vitamines.) des farines de LMSN excite à les utiliser dans la production d'aliment pour animaux et même pour les hommes, mais il faille tenir compte de leur composition microbiologique. Les Coliformes à 30°C, thermotolérants, les Germes Aérobie Mésophiles, les *E. coli*., les levures et moisissures, *Staphylococcus aureus*, les *Listeria*s et les salmonelles sont des bactéries qui doivent être dans des proportions tolérables pour l'alimentation humaine et animale. Leur excès est d'autant plus dommageable pour les hommes, que les animaux car pouvant causer des toxi- infections, des intoxications alimentaires et dans certains cas induire des zoonoses. Les modes de traitements thermiques conduisent à les éliminer ou à les réduire. La méthode de cuisson à la vapeur peut être alors recommandée lors de la production des farines de LMSN destinées à l'alimentation en productions animale et halieutique.

Mots clés : Traitements technologiques, qualités nutritionnelle et microbiologique, farine de larves de mouches soldats noirs, alimentation, production animale et halieutique.

ABSTRACT :

Objectives : This study evaluates how different technological treatments affect the nutritional and microbiological qualities of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae flour produced in Benin.

Methodology and Results : The experiment was conducted at the Hydrobiology and Wetlands Research Laboratory (LHyReZ) of the University of Abomey-Calavi (UAC). Four (04) technological treatments: blanching (PRO-TR1), steaming (PRO-TR2), freezing (PRO-TR3), and grilling (PRO-TR4) were tested on BSFL (Black Soldier Fly Larvae) obtained under identical conditions. The physicochemical and microbiological parameters were evaluated on the flours produced from these BSF. The protein contents varied significantly ($p < 0.05$) from 53.31% (steaming) to 50.31% (freezing). The best microbiological quality of BSF flour was obtained with steaming.

Conclusions and Application of results : The nutritional richness (proteins, lipids, amino acids, vitamins.) of LMSN flours makes it appealing to use them in the production of animal feed and even for humans. But their microbiological composition must be taken into account. Coliforms at 30°C, thermotolerant bacteria, mesophilic aerobic germs, *E. coli*, yeasts and molds, *Staphylococcus aureus*, *Listeria*, and salmonella are bacteria present in tolerable levels for human and animal consumption. Their excess is harmful to both humans and animals, as it can cause toxic infections, food poisoning, and in some cases lead to zoonoses. Thermal treatment methods lead to their elimination or reduction. The steam cooking method may be recommended during the production of LMSN flours intended for use in animal and fish farming.

Keywords: Technological treatments, nutritional and microbiological qualities, black soldier fly larvae meal, feed, animal and fish production.

INTRODUCTION

La population mondiale est en constante évolution et pourrait atteindre 9 milliards d'habitants de personnes d'ici 2050 (FAO, 2014). Cette augmentation démographique entraîne une hausse de la demande alimentaire et pose des défis majeurs en matière de sécurité alimentaire et d'utilisation des ressources halieutiques. L'aquaculture contribue à la

disponibilité des poissons essentiels pour répondre au besoin de la population mondiale. Elle représente désormais plus de 50 % de la consommation mondiale de poisson, et ce chiffre devrait augmenter encore dans la prochaine décennie (FAO, 2020). L'un des ingrédients utilisés dans la formulation de l'aliment pour poisson est la farine de poisson

à cause de ses qualités nutritionnelles. La farine de poisson est la meilleure source protéique pour les aliments piscicoles en raison de sa teneur en protéines (64 à 72 %), elle a un bon profil en acides aminés indispensables, qui couvre les besoins des poissons et ne contient pas de facteurs antinutritionnels (Médale & Kaushik, 2009). Le marché mondial de la farine de poisson connaîtra un Taux de Croissance Annuel Composé (TCAC) de 7,15 % au cours de la période de prévision 2022-2029. Cette augmentation sera influencée par le taux de population non végétarienne dans le monde qui devrait créer de nouvelles opportunités pour le marché (Data bridge Research, 2022). Par conséquent, une augmentation de la production de farine de poisson est attendue pour les industries de fabrication d'aliments pour poissons et autres animaux. Cette augmentation de la disponibilité de la farine de poisson n'est pas sans conséquence grave sur les écosystèmes aquatiques à cause des surpêches et des pressions exercées sur les ressources halieutiques en général. Ceci rend le développement de l'aquaculture non durable, car ces ressources sont en diminution drastique. Une solution alternative serait la bienvenue pour préserver la richesse spécifique des mers, des océans et des plans d'eau. Pour pallier à cette situation, la farine de larves de mouches soldats noires (*Hermetia illucens*) est utilisée comme solution alternative. Elle peut ainsi remplacer partiellement ou totalement la farine de poisson dans la formulation de aliments aquacoles (Renna *et al.*, 2017, Xiao *et al.*, 2018, Wang *et al.*, 2019, Li *et al.*, 2020 ; Priyadarshana *et al.*, 2021, Agbohessou *et al.*, 2021, Kpoguè *et al.*, 2024, Vodounnou *et al.*, 2025). Elle offre une alternative durable aux farines de poisson traditionnelles, contribuant ainsi à la sécurité alimentaire et à la durabilité environnementale. Les insectes vivants et

transformés peuvent être considérés comme des réservoirs et/ou des vecteurs potentiels d'agents biologiques (et de leurs toxines), chimiques et physiques susceptibles d'affecter la santé de l'homme et de l'animal lors d'une consommation directe ou indirecte via l'alimentation des animaux de rente (Anses, 2014). De manière générale, l'insecte, en tant que matrice alimentaire non usuelle, devrait être étudié afin de mieux qualifier et au besoin adapter les pratiques assainissantes associées à des procédés de cuisson, de séchage, de réfrigération, de congélation, de traitement thermique, etc. (Anses, 2014). De nos jours dans l'industrie agroalimentaire, deux types de traitements thermiques sont habituellement employés. Il s'agit des traitements thermiques à chaud dont les plus utilisés sont la pasteurisation, la stérilisation, le blanchiment et la cuisson ainsi que les traitements thermiques à froid parmi lesquels la réfrigération, la congélation et la surcongélation sont régulièrement adoptées Maëlys (2024). Ainsi, pour obtenir une farine d'insectes de qualité microbiologique satisfaisante, un traitement thermique équivalent au moins à une pasteurisation, obtenue par cuisson et/ou séchage doit être utilisé (Anses, 2014). En effet, une farine dépourvue d'une partie de ses nutriments ou qui est un nid de microorganismes nuisibles constitue un danger pour la qualité des aliments aquacoles (Anses, 2014). Au cours de sa production, la farine de larves de mouches soldats noires subit plusieurs opérations unitaires (Larouche *et al.* (2019), Deschamps *et al.* (2019), Saucier *et al.* (2021) qui pourraient porter atteinte à sa qualité. Ce travail a été alors initié pour déterminer les effets de divers traitements technologiques sur les qualités nutritionnelle et microbiologique de la farine de larves de mouches soldat noires (*Hermetia illucens*) produite au Bénin.

MATERIEL ET METHODES

Milieu d'étude et origine des larves de mouches soldat noir : L'étude a été réalisée sur le site du Laboratoire d'Hydrobiologie et de Recherche sur les Zones Humides (LHyReZ) de l'Université d'Abomey-Calavi

(UAC). Les larves de mouches soldats noires (LMSN) utilisées ont été produites à partir du meilleur substrat recommandé par Atchamou *et al.* (2024).



Figure 1: Larves de Mouche Soldats Noires vivantes (a), séchées (b) et farine de Larves séchées (c) (*Hermetia illucens*)

Traitements technologiques : Dans notre étude, quatre (04) traitements technologiques dont trois (03) à chaud et un (01) à froid ont été testés sur les LMSN produites pour apprécier leur effet sur les qualités nutritionnelle et microbiologique des farines obtenues. Les quatre traitements sont : l'ébouillantage (PRO-

TR1), la cuisson à la vapeur (PRO-TR2), la congélation (PRO-TR3) et la grillade (PRO-TR4). Les diagrammes technologiques correspondant aux divers traitements testés pour produire la farine de LMSN au cours de cette étude se présentent comme suit :

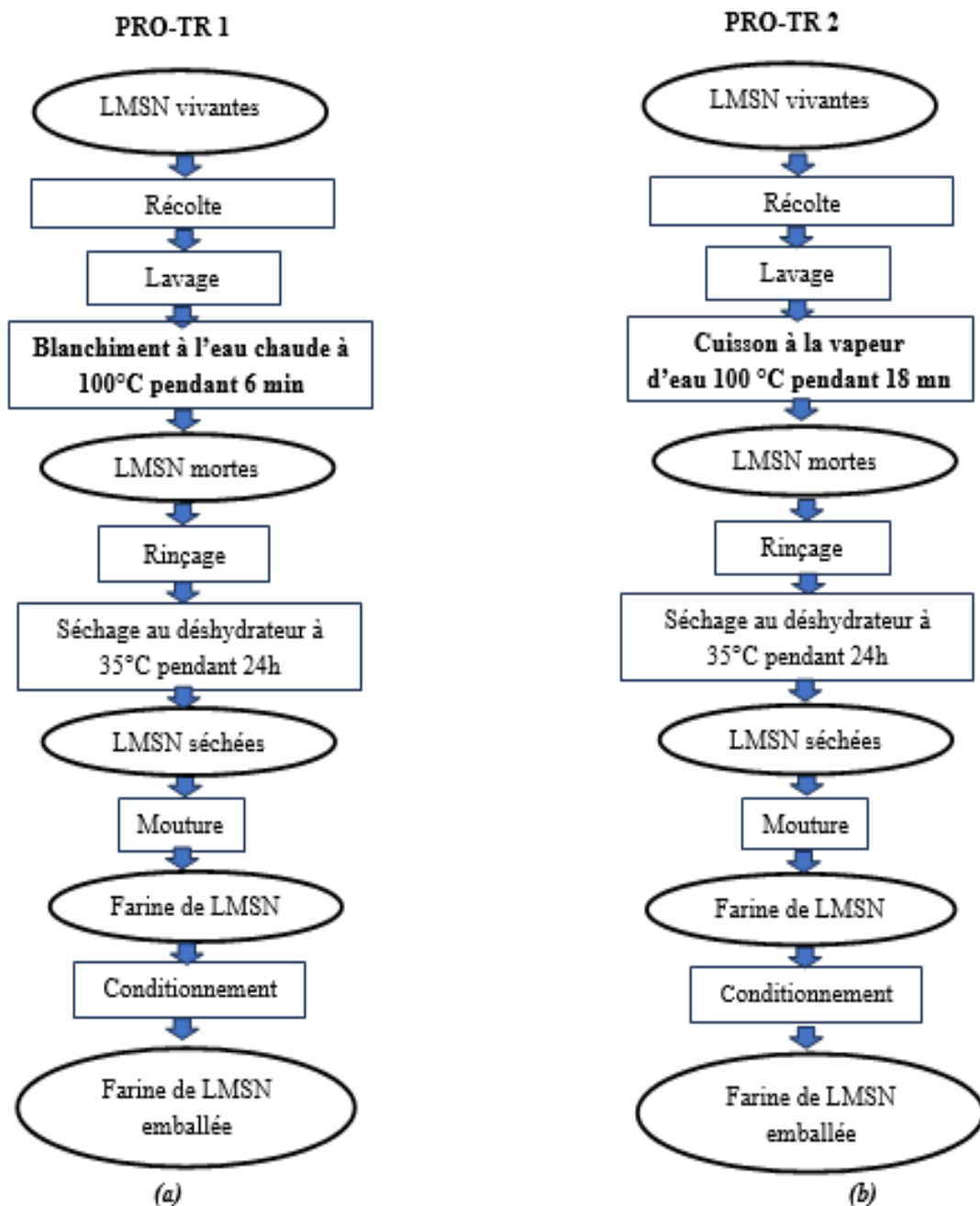


Figure 2: Diagrammes technologiques de production de la farine de larves de mouches soldats noires (a=Ebouillantage et b= Cuisson à la vapeur)

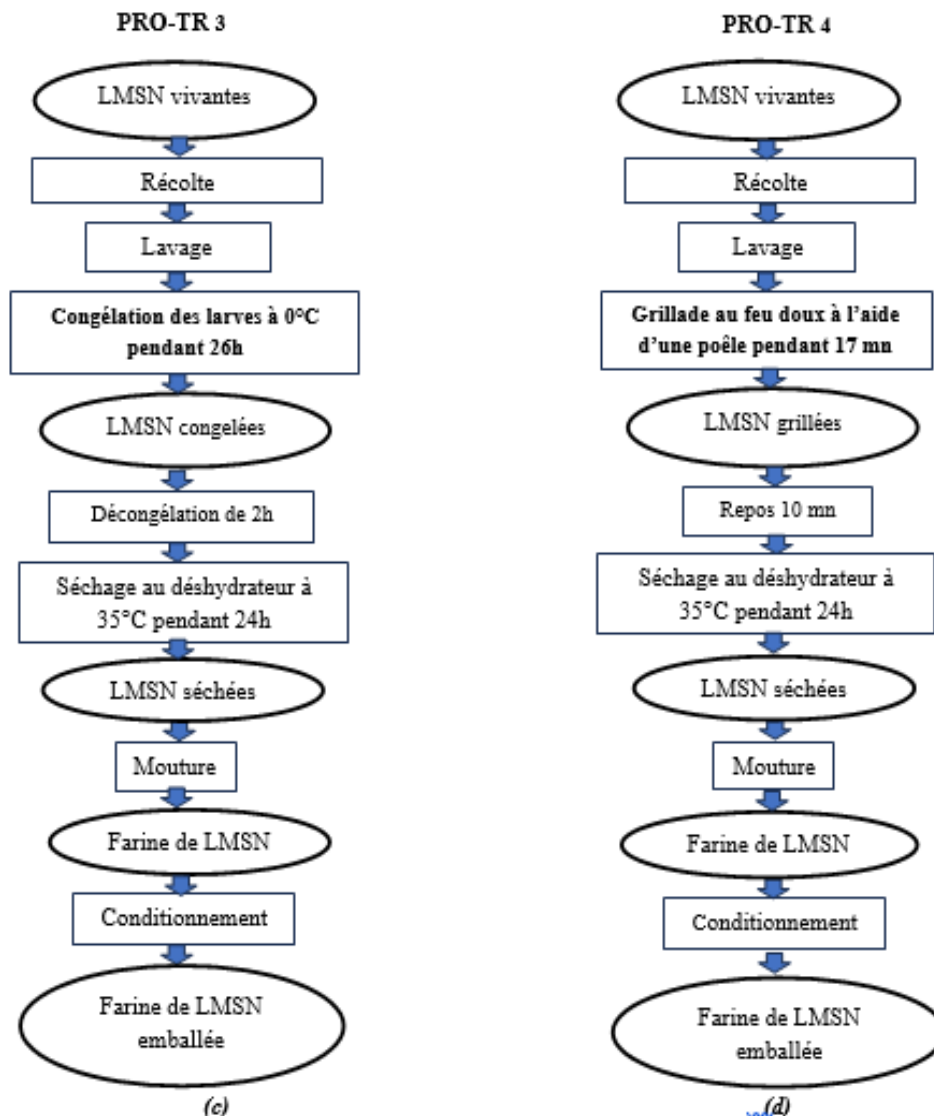


Figure 3: Diagrammes technologiques de production de la farine de larves de mouches soldats noires (c=Congélation et d= Grillade)

La figure 2 présente les diagrammes de production par ébullantage (PRO-TR 1) et cuisson à la vapeur (PRO-TR 2). La figure 3 quant à elle montre les diagrammes technologiques d'obtention de la farine de LMSN par congélation (PRO-TR 3) et grillade (PRO-TR 4).

Analyses physico-chimiques (nutritionnelles) et microbiologiques des différentes farines de larves de mouches soldats noires issues des différents traitements technologiques

• **Détermination de la qualité nutritionnelle des farines des larves de mouches soldats noires:** La qualité nutritionnelle des farines de LMSN issues des différents traitements a été évaluée par détermination de différents paramètres. Le tableau 1 présente les méthodes utilisées pour analyser la qualité nutritionnelle des farines au cours de l'étude. Les analyses ont été effectuées au Laboratoire de Nutrition Animale de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université d'Abomey-Calavi.

Tableau 1 : Méthodes d'analyse des paramètres nutritionnels des farines de LMSN

Paramètres	Méthode/Norme
Matières sèches	Par séchage à l'étuve à 105°C pendant 24 heures (AOAC, 1995)
Teneurs en protéines brutes	Méthode Kjeldahl (N×6,25), (Kjeldahl, 1883)
Teneur en lipides brutes	La méthode normalisée de Soxhlet (AOAC, 1990) pour l'extraction des lipides, (Manirakiza <i>et al.</i> , 2001)
Teneur de cendres brutes	Après incinération au four à 550°C pendant 24 heures selon la méthode du règlement CE N°152 :2009 MO-20.P
Taux d'humidité	Le règlement CE N°152 :2009 MO-21.P
pH	pH-métrie de précision (méthode de potentiométrie directe)

• **Détermination de la qualité microbiologique des farines des larves de mouche soldat noire en fonction des**

traitements : Le tableau 2 présente les méthodes utilisées pour effectuer les analyses microbiologiques des farines de LMSN issues des différents traitements technologiques.

Tableau 2 : Méthodes d'analyse des paramètres microbiologiques des farines de LMSN

Micro-organismes dénombrés ou recherchés	Milieux de Culture (méthode d'ensemencement)	Température et durée d'incubation	Normes appliquées
Germe Aérobie mésophile (MAB)	Gélose PCA (en profondeur, double couche)	30 °C/ 72 h	NF EN ISO 4833-1/A1 :2022
Coliformes thermotolérants 44 °C	Gélose VRBL (en profondeur, double couche)	44 °C/ 24 h	NF V 08-060:2009
Coliformes à 30°C	Gélose lactosée au rouge neutre et désoxycholate en double essai	30 °C/ 48 h	ISO 4832 :2006.
Anaérobies Sulfite Réducteurs (ASR)	Gélose TSN (en profondeur, double couche)	46 °C/ 24 h	ISO 15213 : 2003
<i>Escherichia coli</i>	Gélose TBX (en surface)	44 °C/ 24 h	NF ISO 16649-2. Juillet 2001
<i>Staphylococcus aureus</i>	Gélose Baird Parker + jaune d'œuf au tellurique (en surface)	37 °C/ 24 h	ISO 6888-2 2021/A1 :2023
Levures	Gélose Sabouraud + chloramphénicol (en surface)	30 °C/ 48 h	ISO 21527-1-2 : 2008
Moisissures	Gélose Sabouraud + chloramphénicol (en surface)	30 °C/ 5 jr	ISO 21527-1-2 : 2008
<i>Salmonelles</i>	Gélose XLD Gélose Hektoen (en surface)	37 °C/ 24 h	ISO 6579-1/A1: 2020
<i>Listeria monocytogenes</i>	La gélose Oxford	37 ± 1 °C / 24 à 48 heures.	ISO 11290-2 :2017

Traitement statistique des données : Pour chaque paramètre nutritionnel, une analyse de variance (ANOVA à un facteur) a été effectuée avec le logiciel R version 4.1.3, afin d'évaluer l'effet global des différents traitements sur la

qualité des farines. En cas de différence significative, le test LSD de Fisher a été réalisé, pour comparer les traitements deux à deux afin d'identifier les différences entre traitements. En vue de déterminer les

paramètres microbiologiques qui caractérisent mieux chaque traitement, l'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) a été utilisée comme méthode graphique via le package FactorMineR (Lê *et al.*, 2008) implémenté dans le logiciel R, version 4.1.3 sur la base des données fournies dans un tableau de

contingence. Le package effectue le test Chi-Square d'indépendance pour déterminer la signification de la relation entre les deux variables (traitements et les paramètres microbiologiques). L'analyse de classification hiérarchique ascendante a servi à regrouper les traitements semblables.

RESULTATS

Effets des traitements technologiques sur la qualité nutritionnelle des farines de LMSN :

Le tableau 3 présente la composition nutritionnelle des farines de LMSN en fonction des traitements. Les valeurs présentées dans ce tableau montrent que les traitements technologiques utilisés au cours de l'expérience influencent de façon significative la qualité nutritionnelle de la farine obtenue ($p < 0,05$). Les teneurs en protéine ont significativement ($p < 0,05$) varié de 53,31% (cuisson à la vapeur) à 50,31% (congélation). La teneur en lipides la plus faible (20,17%) est notée avec le traitement (PRO-TR4) qui correspond à la farine obtenue après grillade des LMSN ($p < 0,05$). Cependant, la teneur la plus élevée en lipides (23,26%) provient de la

farine issue des LMSN congelées (PRO-TR3). La teneur en matière sèche a varié entre 82,74% et 92,95% pour les quatre traitements ($p < 0,05$). La farine produite à partir des larves congelées présente une teneur en matière sèche significativement inférieure aux autres traitements ($p < 0,05$). Notons que pour ce paramètre, aucune différence significative n'a été observée entre les trois autres traitements ($p > 0,05$). Quant à la teneur en cendres, elle a varié de $9,33 \pm 0,57$ (ébouillantage) à $7,78 \pm 0,43$ (grillade) ($p < 0,05$). Le taux d'humidité a varié de 9,10 (grillade) à 13,80 (congélation) ($p < 0,05$). Le pH des farines de LMSN issues des différents traitements technologiques est compris entre 4,89 pour les larves grillées et 6,92 pour les larves ébouillantées ($p < 0,05$).

Tableau 3_ : Composition nutritionnelle de la farine de LMSN en fonction des traitements

Composition Traitements	Protéines (%)	Lipides (%)	Matière Sèche (%)	Cendres (%)	Humidité (%)	pH
PRO-TR1 (Ebouillantage)	$51,29 \pm 0,4$ 2deg	$22,95 \pm 0,08$ a bc	$92,95 \pm 0,11$ a bd	$9,33 \pm 0,57$ c	$9,60 \pm 0,32$ c d	$6,92 \pm 0,00$ a
PRO-TR2 (Cuisson à la vapeur)	$53,31 \pm 0,3$ 2a	$22,72 \pm 0,38$ a bc	$92,60 \pm 0,26$ a bd	$9,69 \pm 0,32$ a bc	$9,90 \pm 0,17$ bd	$6,60 \pm 0,02$ b
PRO-TR3 (Congélation)	$50,31 \pm 0,1$ 8cfg	$23,26 \pm 0,18$ a bc	$82,74 \pm 1,06$ c	$9,41 \pm 0,29$ a b	$13,80 \pm 0,1$ 9a	$5,20 \pm 0,02$ c
PRO-TR4 (Grillade)	$51,61 \pm 0,2$ 2be	$20,17 \pm 0,24$ d	$91,67 \pm 1,25$ a bd	$7,78 \pm 0,43$ d	$9,10 \pm 0,24$ e	$4,89 \pm 0,02$ d
P-value	0.0001172	9.914E-06	4.342E-07	5.025E-16	9.465E-12	9.879E-14

Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm écart-type. Les valeurs d'une même colonne ayant une lettre en commun ne sont pas significativement différentes ($p > 0,05$).

Effets des traitements technologiques sur la qualité microbiologique des farines de LMSN : L'analyse du tableau 4 s'est basée sur

la combinaison des critères microbiologiques reconnus par l'Union Européenne pour la farine de Grillons domestiques RE (UE)

2023/5 et la qualité microbiologique des aliments (Jouve, 1993). Il faut noter que les salmonelles n'ont été détectés dans aucune farine de LMSN au cours de notre étude. Tout de même, les autres germes y ont été isolés à des taux variés. Au niveau de toutes les farines, les *Listeria monocytogènes*, les coliformes thermotolérants et les Anaérobies Sulfite - Réducteurs ont été détectés. Leurs valeurs dépassent le seuil fixé par la norme relative aux

farines de grillons domestiques en vigueur dans l'Union Européenne depuis 2023 [RE (UE) 2023/5] et pour le poissons fumés (Jouve,1993). Par contre les Coliformes à 30°C, *E. coli.*, levures et moisissures, *Staphylococcus aureus* et les Germes Aérobie Mésophiles (MAB) sont dans des proportions variées tolérables pour l'alimentation humaine et animale.

Tableau 4 : Composition microbiologique des LMSN en fonction des traitements

Procédés de traitements	LMSN vivantes	PRO-TR1 Ebullantage	PRO-TR2 Cuisson à la vapeur	PRO-TR3 Congélation	PRO-TR4 Grillade	Critères pour les farines de grillons domestiques et de poissons fumés	Observations
Salmonelles (UFC/g) dans 25 g	Non détecté	Non détecté	Non détecté	Non détecté	Non détecté	Non détecté	Élimination complète détectée avant l'analyse et non contaminée.
Coliformes à 30°C (UFC/g) (en UFC/g et m/M)	31 623	800	430	160	200	$10^2/10^3$	Forte reduction des germes par les traitements. PRO-TR3 très efficace.
<i>Listeria monocytogènes</i> à 37°C	63 096	20000	22000	32000	23000	Non détecté dans 25g	Réduction partielle, mais niveau encore élevé par rapport à la norme.
Coliformes thermotolérants à 44°C (en UFC/g et m/M)	31 623	700	520	140	1700	$10/10^2$	Forte reduction des germes par les traitements. PRO-TR3 très efficace.
<i>Escherichia coli</i> (UFC/g)	31 623	<10	<10	<10	<10	≤ 50 UFC/g	Forte reduction des germes par les traitements. PRO-TR3 très efficace.
Germes Aérobie Mésophiles (MAB) (UFC/g)	316 228	300000	480000	520000	850000	$\leq 10^6$ UFC/g	Pas de reduction des germes au niveau des quatre traitements. Une recontamination éventuelle des farines peut l'expliquer et très critique au niveau des PRO-TR2, 3 et 4. Tous les traitements sont conformes à la norme.

Aérobies Sulfite Réducteurs (ASR) (UFC/g)	251 189	2400	3800	3200	900	Absence	Forte réduction des germes par les traitements. PRO-TR4 très efficace, mais niveau encore élevé.
Levures Moisissures (UFC/g)	5	<100	<100	<100	<100	≤100 UFC/g	Traitement extrêmement efficace et conforme à la norme.
<i>Staphylococcus Aureus</i> a coagulase positive (UFC/g)	non détecté	<10	<10	<10	<10	≤100 UFC/g	Élimination complète détectée. Les quatre traitements très efficaces.

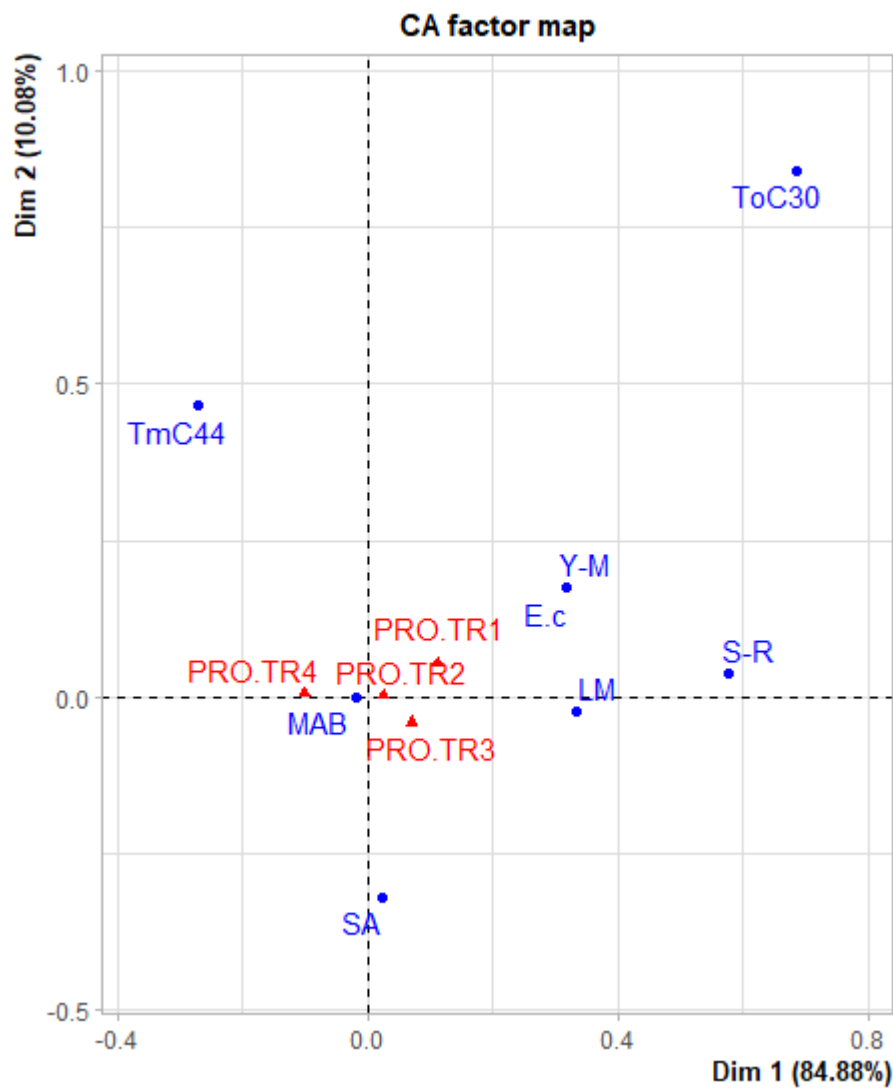


Figure 4: Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) pour montrer l’affinité entre les traitements technologiques et la qualité microbiologique des farines de LMSN.

SA: *Staphylococcus aureus*; LM: *Listeria monocytogènes*; Tm 44: Coliformes thermotolérants 44 ; ToC 30: Coliformes 30; Y-M: Levures et Moisissures ; E.c: *Escherichia coli* et S-R: Aérobie Sulfite Réducteurs

La relation entre les différents traitements et les paramètres microbiologiques a été mise en exergue à travers l’Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) représentée par la figure 4. Les résultats de l’AFC des paramètres microbiologiques dénombrés dans les farines de LMSN montrent que les deux axes expliquent à 94,96% toute la variabilité de l’influence des traitements sur les paramètres microbiologiques. Ainsi, l’axe F1 contribue à

84,88 % et est corrélé négativement avec MAB et TmC44 et positivement avec ToC30 ; Ec ; LM ; SA ; LM et SR. Cependant, l’axe F2 contribue à 10,08 % et est corrélé négativement avec LM et SA. Au regard de la configuration de la répartition des paramètres microbiologiques, on constate que les Germes aérobies mésophiles (MAB) sont proches du centre de gravité du nuage ; correspondant au profil moyen. Ceci confirme qu’ils sont les

principaux paramètres microbiologiques de tous les traitements. Néanmoins, les *Staphylococcus aureus* (SA) et *Listeria monocytogènes* (LM) caractérisent les procédés de traitement (PRO -TR3). Les Coliformes thermotolérants 44 (TmC44) vont avec les procédés de traitement (PRO–TR4).

Les Coliformes 30 (ToC 30); Levures et Moisissures (Y-M) et *Escherichia coli* (E.c) sont communs aux larves ébouillantées (PRO –TR1). Enfin, les larves cuites à la vapeur (PRO–TR2) sont associées au *Listeria monocytogènes* (LM) et le Aérobie Sulfite Réducteurs (S-R)

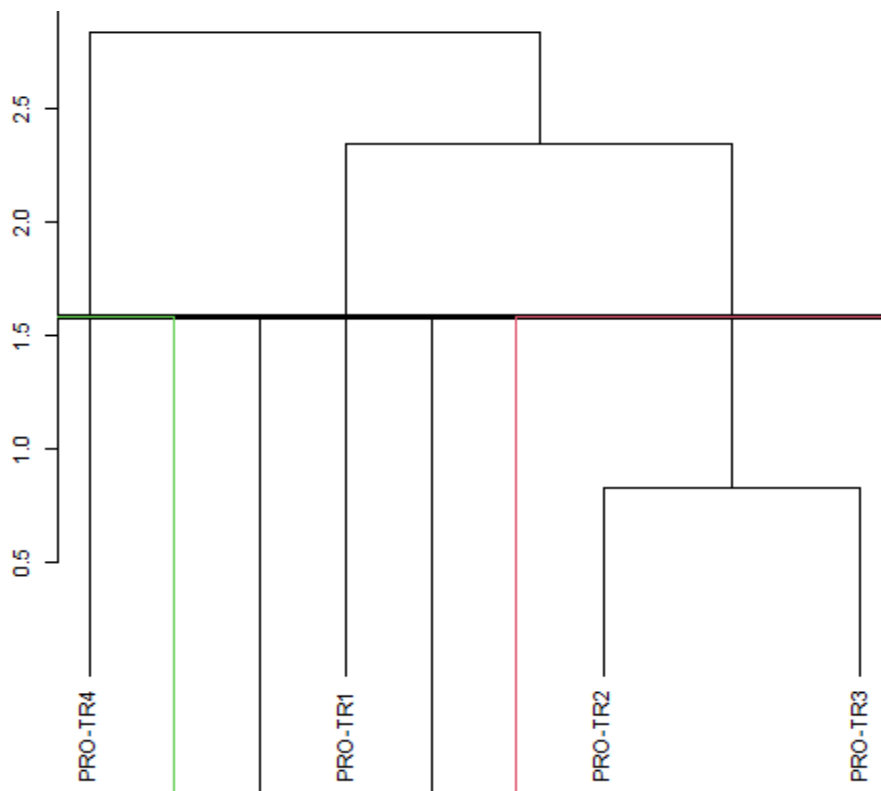


Figure 5: Dendrogramme de classification hiérarchique montrant les similarités des traitements

L'analyse de la projection des individus (les traitements) sur le plan factoriel F1-F2 permet de mettre en évidence trois regroupements (figure 5). Elle permet d'expliquer les similarités entre les traitements. Le premier regroupement prend en compte les traitements PRO-TR2 et PRO-TR3 qui sont respectivement les échantillons issus de la cuisson à vapeur et de la congélation. Ils ont des charges microbiologiques élevées en LM et SA et faibles en TmC44, MAB et ToC30. Le deuxième regroupement est représenté par le

traitement PRO-TR1 qui est l'échantillon issu de l'ébullition. Il présente une charge élevée en ToC30 ; Ec ; LM et S-R mais de très faibles valeurs en TmC44, MAB et SAC+. Le troisième regroupement prend en compte le traitement PRO-TR4 qui correspond à la grillade. Il a une charge très élevée en MAB et CTH44, mais faible en ToC30 ; Ec ; LM ; SA ; LM et SR. Ainsi, tandis que les traitements PRO-TR1 et PRO-TR4 ne sont similaires à aucun autre traitement, les traitements PRO-TR2 et PRO-TR3 forment un assemblage.

DISCUSSION

Effets des traitements technologiques sur la qualité nutritionnelle de la farine de LMSN :

La qualité nutritionnelle d'un produit dépend de ses éléments nutritifs (protéines, lipides, minéraux et vitamines) de sa digestibilité et de l'oxydation de ses constituants (Van Huis *et al.*, 2017). Les teneurs en protéine et en matière grasse sont conformes à celles indiquées par plusieurs auteurs. Ces valeurs doivent être comprises entre 37% et 63 % pour les protéines et 7 % à 35% pour les matières grasses (Oonincx *et al.*, 2015 ; Barragan Fonesca *et al.*, 2017 ; Zulkifli *et al.*, 2022). La valeur de protéine brute la plus élevée a été obtenue avec la farine des LMSN cuites à la vapeur (53,31%). Cette valeur est légèrement supérieure à celle obtenue par Bouafou *et al.*, (2006 et 2007) qui avaient trouvé des valeurs respectives de 52,23% et 41,9%. Cette différence pourrait s'expliquer par la qualité du substrat utilisé pour produire les LMSN et par le traitement technologique utilisé pour les transformer en farine. En effet, selon Atchamou *et al.* (2024), la composition biochimique des LMSN dépend du type de substrat de production utilisé.

Les traitements technologiques utilisés ont influencé la teneur en cendres des farines de larves. Ce constat est confirmé par Fasakin *et al.*, (2003) qui ont observé que la composition minérale des larves de mouches est fortement influencée par le type de méthodes de traitement. Les cendres brutes correspondent aux éléments restants après la combustion de l'aliment sont essentiellement des minéraux. Ils sont donc des éléments très importants de l'alimentation des animaux car jouant un rôle dans de nombreuses fonctions vitales et sont nécessaire au bon fonctionnement de l'organisme (Arche des animaux, 2020). Les teneurs en cendres obtenues en fonction des différents traitements technologiques utilisés au cours de cette étude sont conformes aux valeurs enregistrées par St-Hilaire *et al.* (2007) ; Makkar *et al.* (2014) ; Cheng *et al.* (2017) ; Barragan Fonseca *et al.* (2017–2018) et Gold *et*

al. (2018). Ces auteurs ont obtenu une teneur en cendres variant entre 6,4 à 18% dans diverses farines d'insectes. Les teneurs en matière sèche des farines de LMSN sont conformes à celles obtenues par Bouafou (2007 et 2008) qui sont de 92,51% et de 93% pour les larves de mouches soldat noir séchées. Les méthodes de traitement adoptées ont agi sur le taux d'humidité des farines de LMSN issues de différents traitements technologiques. Ces résultats sont conformes aux observations de Lewicki (2004) qui ont montré que le chauffage et le séchage augmentent l'évaporation de l'eau conduisant ainsi à des teneurs en humidité plus faibles. Selon ce même auteur, la valeur élevée obtenue avec la congélation peut être causée par l'accumulation de cristaux d'eau dans les tissus des LMSN. Ceci justifie que malgré la déshydratation, les farines d'insectes dont celles de LMSN ont une activité de l'eau élevée (Vandeweyer, 2017 ; Van Huis *et al.*, 2017). La congélation étant l'un des traitements thermiques à froid qui permet de stopper la prolifération, non pas de détruire les microorganismes, tout en conservant au maximum la qualité nutritionnelle et les propriétés organoleptiques. Elle est généralement réalisée en complémentarité à un ou plusieurs traitements thermiques à chaud (Maëlys, 2024).

Effets des traitements technologiques sur la qualité microbiologique de la farine de LMSN :

Le traitement thermique est une méthode visant à améliorer la conservation de denrées périssables en détruisant ou en neutralisant les microorganismes et/ou les enzymes responsables de l'altération des aliments ainsi que les agents pouvant provoquer des maladies en respectant un barème de temps/température (Maëlys, 2024). Le traitement des LMSN dans cette étude est donc important pour éviter leur détérioration en raison de leur teneur élevée en eau (78-84 %), de leur pH neutre (6-9) et de leur charge microbienne élevée (Oonincx *et al.*, 2015 ;

Deschamps *et al.*, 2019). Kashiri *et al.* (2018) ont révélé que la présence de micro-organismes pathogènes a varié dans un extrait de LMSN. Les résultats de leur étude ont révélé qu'il n'y aucune trace de *Listeria spp.* Cependant, *Salmonella sp* ($1,15 \times 10^6$ cfu/g) et *E. coli* ($7,08 \times 10^5$ cfu/g) y ont été détectés. Alors que Grabowski *et al.* (2017) ont trouvé que les insectes comestibles crus étaient exempts de *Salmonella sp*, *E. coli*, *L. monocytogenes* et *Staphylococcus aureus*, ils ont identifié des staphylocoques coagulase négatifs, des entérobactéries (typiquement *Proteus spp.* et *Serratia liquefaciens*), des *Pseudomonas sp* et des champignons. En outre, d'autres auteurs ont également signalé la présence de *Staphylococcus aureus* dans les larves et/ou les résidus après l'élevage de LMSN (Wynants, 2019, Raimondi, 2020). Ainsi, les insectes comestibles crus présentent généralement des niveaux élevés d'aérobies mésophiles, d'endospores bactériens, d'entérobactéries et de champignons endospores bactériennes, d'entérobactéries, de bactéries lactiques, d'aérobies psychotropes, de champignons et d'espèces pathogènes (Brulé, 2024). L'application d'un traitement thermique est donc recommandée pour réduire les agents pathogènes, malgré l'action de l'acide laurique qui est un antimicrobien présente dans les substrats des LMSN (Soomro *et al.*, 2019 et Mazza *et al.*, 2020). Au regard des résultats obtenus dans cette étude, il s'ensuit que les procédés de traitement à chaud (Ébouillantage, Cuisson à la vapeur et grillade) ont eu un effet sur le *Listeria monocytogenes*, qui est généralement détruit à la cuisson et à la pasteurisation (LHL, 2024) d'où son taux est abaissé de l'ordre de (20000 à 23000 UFC/g) au niveau de ces procédés. Cependant, la congélation qui est l'un des traitements thermiques à froid permet de stopper la prolifération des microorganismes, tout en conservant au maximum la qualité nutritionnelle et les propriétés organoleptiques (Maëlys, 2024). Elle est généralement réalisée

en complémentarité à un ou plusieurs traitements thermiques à chaud (Maëlys, 2024), ce germe *Listeria* survit bien à la congélation (Humbot *et al.*, 2015) d'où le taux élevé de 32000 UFC/g obtenu. La proportion de germe restant au niveau des processus de traitement à la chaleur peut être expliquée par une recontamination des farines de LMSN pendant la conservation avant les analyses. *E. coli* est sensible à la cuisson (ébouillantage, cuisson à la vapeur et grillade) et à la congélation (Damien, 2023), ceci explique le taux faible observé dans tous les traitements d'où aucune multiplication exagérée rendant les farines impropres à la consommation animale. La présence de *E. coli* <10 UFC/g dans tous les traitements est conforme aux résultats de Kashiri *et al.* (2018). Ces farines peuvent être utilisées en alimentation animale, car les dénombrements de *E. coli* sont inférieures à la valeur autorisée ≤ 50 UFC/g. Selon Brulé (2024), le taux minimal de salmonelles (m) détecté au niveau des LMSN vivantes est nul (zéro). Ceci s'explique par l'action de l'acide laurique, qui détruit certains germes à travers son rôle antimicrobien et la qualité microbiologique des substrats de production. En outre, Maëlys (2024) a confirmé que les salmonelles sont sensibles à la cuisson à 74° C en quelques minutes et à la pasteurisation (60 à 100°C). Tous les traitements liés à la chaleur étant réalisés à 100°C ont montré leur efficacité par la destruction totale, occasionnant leur absence. Par contre la congélation ne pouvant que réduire la population des salmonelles sans totalement les détruire (www.food-info.net/fr/qa/qa-saf21.htm) a également présenté un taux nul de salmonelles. Ce résultat est conforme à ceux de Rosset (1982), qui a prouvé que lors de la congélation, certaines propriétés des bactéries peuvent être altérées. Cependant, bien que les salmonelles et les autres bactéries à coloration de Gram négatif soient considérées comme les plus sensibles à ce processus d'altération, le taux de destruction demeure relativement

faible. Par conséquent la congélation ne peut être considérée comme un traitement assainissant. L'absence de germes de salmonelles dans la farine de LMSN congelée s'explique aussi par le second mode de traitement complémentaire qui est le séchage à l'air chaud à 35°C durant 24h. L'absence de salmonelles dans les farines de LMSN a confirmé l'effet des trois procédés de traitements (Ebouillantage, cuisson à la vapeur, grillade et congélation associée au séchage à air chaud) et témoigne également de son utilisation potentielle en alimentation animale. Nos résultats ont confirmé ceux de Deschamps *et al.* (2019) qui ont adopté la technologie d'ébouillantage pour l'abattage des larves de mouches soldats noires. Les résultats de plusieurs travaux de recherche ont signalé la présence de bactéries pathogènes telles que *Salmonella*, *Escherichia coli* et *Bacillus cereus* dans les larves (Contreras, 2017, Wynants *et al.* 2018 et Kashiri *et al.* 2018). D'autres études ont souligné que la charge microbienne associée aux LMSN est variable compte tenu de la grande diversité des substrats d'alimentation (nombre total d'aérobies viables = 7,1 à 9,8 log CFU/g ; bactéries lactiques présumées = 4,1 à 8,5 log CFU/g ; entérobactéries = 7,3 à 9,7 log CFU/g ; endospores = 3,7 à 7,5 log CFU/g ; levures et moisissures = 3,1 à 5,8 log CFU/g) (Wynants *et al.*, 2018 ; Gold *et al.*, 2018). Les différentes farines produites au cours de notre étude ont une qualité microbiologique insatisfaisante en matière de coliformes thermotolérants, d'anaérobies sulfito-réducteurs et de *Listeria monocytogenes*. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que la stérilisation d'un aliment ne suffit pas, à elle seule, pour sa conservation à long terme car une contamination ultérieure de l'aliment par les microorganismes environnementaux pourrait survenir (Amrouche, 2010) pendant la manipulation et la conservation avant analyse. Pour y remédier, on procède à la stérilisation du contenant (récipient) et du contenu (le produit

alimentaire). Le récipient doit être étanche à l'eau et aux microorganismes pour ne pas avoir une recontamination ultérieure à la stérilisation (Amrouche, 2010). Les farines de LMSN produites ont été conservées dans des sachets stériles avant l'envoi au laboratoire pour analyse. Cette variabilité des valeurs obtenues pour chaque paramètre (agent pathogène) dans les différentes farines des LMSN pourrait s'expliquer par les conditions d'activité de l'eau, le pH et de température (ambiante) pendant la conservation. En effet, les différents traitements ont permis d'opérer le séchage des farines de LMSN. Cette opération consiste à éliminer l'eau contenue dans un produit (liquide ou solide) afin de le transformer en produit sec dont l'humidité résiduelle est très faible (Amrouche, 2010). Le séchage permet de convertir les LMSN périssables en produits stabilisés, par abaissement de l'activité de l'eau (Bonazzi et Bimbenet, 2003 ; Amrouche, 2010). Le pH est un paramètre important à prendre en compte pour prédire la durée de conservation d'un produit. Ainsi, le traitement et la conservation d'aliment peu acide, c'est-à-dire dont le pH est supérieur à 4,6 et l'activité de l'eau supérieur à 0,85 sont indiquées aux producteurs d'aliments (Minister of Justice, 2018). Il est aussi recommandé que pour favoriser la conservation d'un produit alimentaire à faible teneur en acide, comme les insectes, le produit doit être stérilisé par la chaleur, s'il est emballé hermétiquement ou qu'il doit rester réfrigéré ou congelé (Minister of Justice, 2018). Dans notre étude, les farines de larves grillées et congelées présentent des pH peu acides comprises entre 4,84 et 5,60 alors que celles des larves cuites à la vapeur et ébouillantées sont plus proches de la neutralité (6,60 et 6,92). En effet, selon Worthan *et al.* (2024), les bactéries s'adaptent aux fluctuations du pH en période d'abondance de nutriments faciles à dégrader comme les glucides en libérant par leur métabolisme les sous-produits plutôt acides qui tendent à abaisser le pH du milieu dans lequel elles se

trouvent (Traitement grillade et congélation). A l'inverse, en période de famine, les bactéries se nourrissent de nutriments plus complexes dont la dégradation augmente le pH (Traitement ébullition et cuisson à la vapeur). Ces bactéries s'adaptent à ces fluctuations de pH pour maintenir leur équilibre interne et continuer à fonctionner efficacement (Worthington *et al.*, 2024). Selon ces auteurs, une mutation de la protéine Rho rend son action sensible aux variations du pH, permettant aux bactéries d'ajuster leur réponse métabolique en fonction du milieu extérieur et d'optimiser ainsi leur survie dans des conditions extrêmes (famine ou abondance). Dans une autre étude de Mildred *et al.* (2024), parue dans *Molecular Cell*, les bactéries qui colonisent les mammifères à sang chaud, y compris les pathogènes comme *E. coli*, sont constamment exposées à des variations brutales de la température ou de fluctuations du pH. Pour survivre, elles utilisent des mécanismes moléculaires sophistiqués qui leur permettent d'ajuster l'expression de leurs gènes en fonction des conditions extérieures (froid ou aux épisodes de famine). L'un de ces mécanismes est la terminaison de la transcription Rho-dépendante (TTRD), qui utilise la protéine Rho pour réguler la transcription des ARN. Ce mécanisme est contrôlé par la production d'une protéine qui agit comme interrupteur régulant l'expression

des gènes en réponse à ces changements environnementaux (Mildred *et al.*, 2024). Ceci montre que les différentes technologies n'ont pas pu assurer à elles seules la qualité microbiologique des farines de LMSN, si des mesures de conservation strictes n'ont pas été prises. Par ailleurs, le dénombrement des coliformes thermotolérants, des anaérobies sulfite-réducteurs dans la farine de mouches soldats noires sont contraires à ceux obtenus par (Hédji *et al.*, 2014) au niveau des farines de viscères de poulets et de poisson où on note l'absence de ces germes. Quant au dénombrement des germes aérobies mésophiles, de levures et moisissures, de salmonelles, de *E. coli*, de coliformes à 30°C et de staphylocoques (*S. aureus*), les farines de LMSN répondent aux normes généralement admises pour les denrées alimentaires (Fcd, 2023). Toutefois, pour améliorer les résultats microbiologiques insatisfaisants, il est souhaitable d'améliorer les technologies en tenant compte de la nature, de la composition et de la qualité du substrat car la technologie de production aurait d'impact sur la qualité microbiologique. Au vu des résultats, la qualité microbiologique satisfaisante des farines de LMSN, requérant un traitement thermique équivalent au moins à une pasteurisation, obtenue par cuisson et/ou séchage (Anses, 2014). La cuisson à la vapeur se révèle comme le meilleur traitement.

CONCLUSION ET APPLICATION DES RESULTATS

La technologie de traitement influence assurément la qualité nutritionnelle et microbiologique des farines de LMSN. Nos résultats confirment que la teneur en protéines des larves est régulée dans des limites de 50% pour tous les procédés, tandis que la teneur en lipides ou graisses brutes des larves est fortement affectée par le mode d'abattage-séchage à 20% environ. Ils montrent que la cuisson à la vapeur est la mieux indiquée pour une production de la farine de la LMSN de bonne qualité nutritionnelle. L'ébullition et

la cuisson à la vapeur se dégagent comme les traitements technologiques qui permettent d'assurer une qualité microbiologique conforme aux normes exigées pour les farines d'origine animale à utiliser dans l'alimentation animale et halieutique. La cuisson à la vapeur peut être alors recommandée comme meilleur traitement technologique aux producteurs de farines de LMSN valorisables dans les productions animales et halieutiques. La stérilisation des farines de LMSN ne suffit pas, à elle seule, pour sa conservation à long terme.

Sa contamination ultérieure par les microorganismes environnementaux pourrait survenir. Le récipient de conservation ou

l'emballage doit être étanche à l'eau et exempt de microorganismes pour éviter tout risque de recontamination ultérieure à la stérilisation.

REFERENCES

- Agbohessou PS, Syaghalirwa NM, Armel G, Rudy CM., Lil-Marlys WL, Valérie C, Jérôme L, Giorgia P, Frédéric F, Philippe AL, Patrick K, 2021. Efficiency of fatty acid enriched Dipteran-based meals on zootechnical, digestive, nutritional and immunological parameters of Nile tilapia juveniles. *Aquaculture Nutrition* 00,1–17.
<https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2021.737193>
- Amrouche F, 2010. L'activité de l'eau : aw - Génie alimentaire. Disponible sur: <http://geniealimentaire.com/spip.php>. (consulté le 23 Juin 2025).
- Amrouche F, 2010. La stérilisation : - Génie alimentaire. Disponible sur: <http://geniealimentaire.com/spip.php>. (consulté le 23 Juin 2025).
- Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses), 2014. Avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à « la valorisation des insectes dans l'alimentation et l'état des lieux des connaissances scientifiques sur les risques sanitaires en lien avec la consommation des insectes ». Saisine n° 2014-SA-0153.
- AOAC, 1990. Official Methods of Analysis. 15th Edition, Association of Official Analytical Chemist, Washington DC.
- AOAC, 1995. Official methods of analysis of AOAC International, 16th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA. USA. 1995:71–72.
- Arche des animaux, 2020. Que sont les cendres dans les aliments pour animaux, .Journal . Alimentation chien 18 Juin 2020
- Atchamou J-BO, Tonoukouen R, Kpogue DNS, Ogoudele M, Djissou A, Aboh BA, Sohoun Z, Ndong D, Fall J, and Mensah GA, 2024. “Impact of Different Organic Substrates on the Productivity and Nutritional Composition of Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia Illucens*). *European Journal of Nutrition & Food Safety* 16 (11):240-51.
<https://doi.org/10.9734/ejnf/2024/v16i111589>.
- Barragan-Fonseca KB, Dicke M, & van Loon JJA, 2017. Valeur nutritive de la mouche soldat noire (*Hermetia illucens* L.) et son aptitude à l'alimentation animale - une étude. *Journal of Insects as Food and Feed* 3 :105-120.
<http://www.wageningenacademic.com/doi/pdf/10.3920/JIFF2016.0055>.
- Barragan-Fonseca KB, Dicke M, van Loon JJA, 2018. Influence of larval density and dietary nutrient concentration on performance, body protein, and fat contents of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*). *Entomol. Exp. Appl.* 166, 761–770.
<https://doi.org/10.1111/eea.12716>.
- Bonazzi C, et Bimbenet J-J, 2003. Séchage des produits alimentaires, -Principes, Techniques de l'ingénieur, traité Agroalimentaire, F3000.
<https://doi.org/10.51257/a-v1-f3000>.
- Bouafou KGM, Kouame KG, Amoikon KE, et Offoumou AM, 2006. Potentiel pour la production d'asticots sur des sous-produits en Côte d'Ivoire. *Tropicicultura* 24, 157-16

- Bouafou KGM, Kouame KG, Amoikon K, et Offoumou A.M, 2007. Potentiel pour la production d'asticots sur des sous-produits en Côte d'Ivoire. *Tropicultura* 24, 157-16
- Bouafou KGM, Zannou-Tchoko V, Konan BA, et Kouame, KG. 2008. Etude de la valeur nutritionnelle de la farine d'asticots séchés chez le rat en croissance. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie* 12, 215-225.
- Brulé L, Misery B, Baudouin G, Yan X, Guidou C, Trespeuch C, Foltyn C, Anthoine V, Moriceau N, Federighi M, and Boué G, 2024. Evaluation of the Microbial Quality of *Hermetia illucens* Larvae for Animal Feed and Human Consumption: Study of Different Type of Rearing Substrates. *Foods*, 13, 1587. <https://doi.org/10.3390/foods13101587>
- Règlement (CE) No 152/2009 de la commission du 27 janvier 2009 portant fixation des méthodes d'échantillonnage et d'analyse destinées au contrôle officiel des aliments pour animaux (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE)
- Cheng JYK, Chiu SLH, Irène MCL, 2017. Effects of moisture content of food waste on residue separation, larval growth and larval survival in black soldier fly bioconversion. *Waste Management* 315-323. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.05.046>
- Contreras SP, 2017. Inactivación de Microorganismos Contaminantes Naturales y *Salmonella typhimurium* en Larvas de Moscas Soldado Negra (*Hermetia illucens*) Mediante Tratamientos de Alta Presión Hidrostática HHP. Master's Thesis, Universitat Politècnica de València, València, Spain, 4 July 2017. <https://riunet.upv.es/handle/10251/87859>
- Damien, 2023. Congélation, cuisson et agents pathogènes, Catégories : Barf et raw feeding, Publié le 11 janvier 2023. www.unegamelleautop.fr/congelation-cuisson-et-agents-pathogenes/
- Data bridge Research, 2022. Marché mondial de la farine de poisson – Tendances et prévisions de l'industrie jusqu'en 2029. www.mordorintelligence.com/fr/industry-reports/fishmeal-and-fishoil-market
- Deschamps M-D, Lavigne C, Saucier L, Ratti C, Doyen A, Beaulieu L, Vandenberg GW, 2019. Méthodes optimisées de transformation des larves de mouches soldats noires dédiées à l'alimentation du bétail, No de projet : IA116567
- Kpogwe Gangbazo DNS, Tossavi ND, Atchamou J-BO, Decko ZPE, Djissou ASM, Danhossou G, and Imorou Toko I, 2024. The Use of Black Soldier Fly Larvae Meal *H. illucens* for the Pre Growth of *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) Fingerlings Reared in Floating Cages in Benin. *Journal of Aquaculture & Livestock Production*. SRC/JALP-24-158. DOI: [doi.org/10.47363/JALP/2024\(5\)138](https://doi.org/10.47363/JALP/2024(5)138)
- FAO, 2014. Insect meal has potential as a future animal feed, FAO study finds [Internet]. Posted on 09/11/2014 by Dr Bukar USMAN, mni.
- FAO, 2020. La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2020. La durabilité en action. Rome, Italie : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. 227p <https://doi.org/10.4060/ca9229fr>.
- Fasakin EA, Balogun AM, Ajayi OO, 2003. Evaluation of full-fat and defatted maggot meals in the feeding of clariid catfish *Clarias gariepinus* fingerlings. *Aquaculture Research*.;34:733–738. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.2003.00876.x>

- Fcd, 2023. Critères microbiologiques applicables à partir de 2024 aux marques de distributeurs, marques premiers prix et matières premières dans leur conditionnement initial industriel.
- Grabowski NT, Klein G, 2017. Microbiology of Processed Edible Insect Products—Results of a Preliminary Survey. *Int. J. Food Microbiol.* 243, 103–107. [CrossRef] [PubMed]. <https://doi.org/10.3920/JIFF2016.0004>
- Gold M, Tomberlin JK, Diener S, Zurbrügg C, Mathys A, 2018. Decomposition of biowaste macronutrients, microbes, and chemicals in black soldier fly larval treatment: A review', *Waste Management*. The Authors, 82, pp. 302–318. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.10.022>.
- Hèdji C, Houinato M, Yèhouénou B, and Fiogbé E, 2014. Effect of packaging on the microbiological quality of chicken and fish viscera flour *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci.*, 3(10) 233-242. <http://www.ijemas.com>
- Humblot MJPO, Carter L, Mytilianos I, Lambert RJW 2015: Show more Assessing the survival of *Listeria monocytogenes* in a domestic freezer by analyzing subsequent growth at 30°C using a novel reference method. *Journal of Food Protection*, 78 (2) : 349-354. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-14-319>
- ISO 11290-2:2017. Microbiologie de la chaîne alimentaire — Méthode horizontale pour la recherche et le dénombrement de *Listeria monocytogenes* et de *Listeria* spp. —
- ISO 4832: 2006. Microbiologie des aliments — Méthode horizontale pour le dénombrement des coliformes — Méthode par comptage des colonies
- ISO 6888-2 2021/A1:2023. Microbiology of the food chain — Horizontal method for the enumeration of coagulase-positive staphylococci (*Staphylococcus aureus* and other species)
- ISO 21527-1-2: 2008. (ISO 21527-1) : Microbiologie des aliments — Méthode horizontale pour le dénombrement des levures et moisissures -Partie 1 : Technique par comptage des colonies dans les produits à activité d'eau supérieure à 0,95 ; (ISO 21527-2) : Microbiologie des aliments et des aliments pour animaux - Méthode horizontale pour l'énumération des levures et des moisissures - Partie 2 : Technique de comptage des colonies dans des produits ayant une activité de l'eau inférieure ou égale à 0,95.
- ISO 15213: 2003. Microbiologie des aliments — Méthode horizontale pour le dénombrement des bactéries sulfito-réductrices se développant en conditions anaérobies, remplacé par ISO 15213 : 2023.
- Jouve JL, 1993. La qualité microbiologique des aliments. Maîtrise et critères. Polytechnica - France/France,408p.<https://iifir.org/fr/fridoc/la-qualite-microbiologique-des-aliments-maitrise-et-criteres-1122>
- Kashiri M, Marin C, Garzón R, Rosell CM, Rodrigo D, and Martínez A, 2018. Use of high hydrostatic pressure to inactivate natural contaminating microorganisms and inoculated *E. coli* O157: H7 on *Hermetia illucens* larvae. *PLoS ONE* 13: e0194477. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194477>
- Kjeldahl J, 1883. A New Method for the Determination of Nitrogen in Organic Matter. *Zeitschrift für Analytische*

- Chemie, 22, 366-382.
<http://dx.doi.org/10.1007/BF01338151>
- Laboratoire d'Hygiène Local (LHL), 2024. *Listeria monocytogenes* : Comprendre et Prévenir ce Pathogène Silencieux créée le 24 août 2024/dans Blog/par jcdadmin.
- Larouche J, Deschamps M, Saucier L, Lebeuf Y, Doyen A, Vandenberg GW, 2019. Effects of Killing Methods on Lipid Oxidation, Colour and Microbial Load of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae. *Animals*, 9(4):182.
<https://doi.org/10.3390/ani9040182>
- Lê S, Josse J, and Husson F, 2008. FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *Journal of Statistical Software*. 25(1): 1-18.
<https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01>
- Lewicki PP, 2004. Water as the determinant of food engineering properties. A review *Journal of Food Engineering*, 61, 483-495. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00219-X](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00219-X)
- Li Y, Kortner TM, Chikwati EM, Belghit I, Lock EJ, Krogdahl Å, 2020. Total replacement of fish meal with black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal does not compromise the gut health of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*. 520:734967.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.734967>
- Maëlys L, 2024. Les traitements thermiques in Focus les procédés de conservation.
www.cetdac.com/blog/les-procedes-de-conservation-9/les-traitements-thermiques-24
- Makkar HPS, Tran G, Heuzé V, Ankers P, 2014. State-of-the-art on use of insects as animal feed. 1-33.
<https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2014.07.008>
- Manirakiza P, Covaci A, Schepens P, 2001. Comparative Study on Total Lipid Determination using Soxhlet, Roesse- Gottlieb, Bligh & Dyer, and Modified Bligh & Dyer Extraction Methods. *Journal of Food Composition and Analysis*, 14 (1) :93-100.
<https://doi.org/10.1006/jfca.2000.0972>
- Mazza L, Xiao X, ur Rehman K, Cai M, Zhang D, Fasulo S, Tomberlin JK, Zheng L, Soomro AA, Yu Z, et al. 2020. Management of Chicken Manure Using Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) Larvae Assisted by Companion Bacteria. *Waste Manag.* 2020, 102, 312-318.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.10.055>
- Médale F, et Kaushik S, 2009. Les sources protéiques dans les aliments pour les poissons d'élevage. *Cahiers Agricultures*, 18, 103-111.
<https://doi.org/10.1684/agr.2009.0279>
- Mildred D, Figueroa-Bossi N, Do TD, Kerboriou P, Eveno E, Bossi L, and Boudvillain M, 2024. *Molecular Cell*.
<https://doi.org/10.1016/j.molcel.2024.07.034>
- Minister of Justice, 2018. Food and Drug Regulations—Part B: Foods; Government of Canada, Minister of Justice: Ottawa, ON, Canada, Volume B.27.
https://laws-lois.justice.gc.ca/eng/regulations/C.R.C.,_c._870/FullText.html
- NF EN ISO 4833-1/A1 2022. Microbiologie de la chaîne alimentaire - Méthode horizontale de dénombrement des micro-organismes - Partie 1 : Dénombrement des colonies à 30 °C par la technique de l'ensemencement profond.
- NF EN ISO 6579-1/A1 2020. Microbiologie de la chaîne alimentaire — Méthode horizontale pour la recherche, le dénombrement et le sérotypage des *Salmonella* amendée en mars 2020.
- NF ISO 16649-2. Juillet 2001. Microbiologie - Méthode horizontale pour le

- dénombrement des *Escherichia coli* bêta-glucuronidase positive - Partie 2 : technique de comptage des colonies à 44°C microbiologie des aliments — °C au moyen de 5-bromo-4-chloro-3-indolyl B-D-glucuronate
- NF ISO 7954. Août 1988. Microbiologie - Directives générales pour le dénombrement des levures et moisissures - Technique par comptage des colonies à 25 degrés Celsius remplacée par ISO 21527-1:2008
- NF V 08-060 Mars 1996. Microbiologie des aliments - Dénombrement des coliformes thermotolérants par comptage des colonies obtenues à 44 degrés Celsius - Méthode de routine actualisée en 2009. Microbiologie des aliments - Dénombrement des coliformes thermotolérants par comptage des colonies obtenues à 44°C
- NF V08-061. Décembre 2009. Microbiologie des aliments - Dénombrement en anaérobiose des bactéries sulfito-réductrices par comptage des colonies à 46 °C.
- Oonincx DGAB, van Huis A, et van Loon JJA, 2015. Nutri-ent utilisation by black soldier flies fed with chicken, pig, or cow manure. *Journal of Insects as Food and Feed* 1:131-139. ISSN 2352-4588 online, DOI 10.3920/JIFF2014.0023
- Priyadarshana MKC, Walpita CN, Naveenan M, MaMABage MPS, Ruwandeepika HAD, 2021. Substitution of fishmeal with black soldier fly *Hermetia illucens* Linnaeus, 1758 larvae in finfish aquaculture-a review. *Asian Fisheries Science*, 34:114–126. <https://doi.org/10.33997/j.afs.2021.34.2.001>
- Raimondi S, Spampinato G, Macavei LI, Lugli L, Candeliere F, Rossi M, Maistrello L, Amaretti A, 2020. Effect of Rearing Temperature on Growth and Microbiota Composition of *Hermetia illucens*. *Microorganisms*, 8, 902. <https://doi.org/10.3390/microorganism8060902>
- Règlement d'exécution (UE) 2023/5 de la Commission du 3 janvier 2023 autorisant la mise sur le marché de la poudre d'*Acheta domesticus* (grillons domestiques) partiellement dégraissés en tant que nouvel aliment et modifiant le règlement d'exécution (UE) 2017/2470 (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE) C/2023/6 JO L2 du 4.1.2023, p.9-14.
- Renna M, Schiavone A, Gai F, Dabbou S, Lussiana C, Malfatto V, Prearo M, Capucchio MT, 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* 8:57. <https://doi.org/10.1186/s40104-017-0191-3>.
- Rosset R et Lebert F, 1982. Les règles d'hygiène envisageables aux différents stades de la filière viande : principes. Hygiène et technologie des viandes fraîches. Edition. CNRS, pp 277-280. <https://agris.fao.org/search/en/provider/s/123819/records/64735b4ee17b74d22251bca7>
- Saucier L, M'ballou C, Ratti C, Deschamps MH, Lebeuf Y and Vandenberg W, 2021. Comparison of black soldier fly larvae pre-treatments and drying techniques on the microbial load and physico-chemical characteristics. *Journal of Insects as Food and Feed*, 2022; 8 (1): 45-64. www.wageningenacademic.com/doi/pdf/10.3920/JIFF2021.0002

- Somroo AA, UrRehman K, Zheng L, Cai M, Xiao X, Hu S, Mathys A, Gold M, Yu Z, Zhang J, 2019. Influence of *Lactobacillus Buchneri* on Soybean Curd Residue Co-Conversion by Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens*) for Food and Feedstock Production. *Waste Manag.*, 86, 114–122. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.01.022>
- St-Hilaire S, Cranfill K, McGuire MA, Mosley EE, Tomberlin JK, Newton L, Sealey W, Sheppard C, Irving S, 2007. Fish offal recycling by the black soldier fly produces a foodstuff high in omega-3 fatty acids. *J. World Aquac. Soc.*, 38, 309–313. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2007.00101.x>
- Vandeweyer D, Lenaerts S, Callens A, Van Campenhout L, 2017. Effect of blanching followed by refrigerated storage or industrial microwave drying on the microbial load of yellow mealworm larvae. *Food control*, 311–314. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.07.011>
- Van Huis A, Oonincx DGAB, 2017. The environmental sustainability of insects as food and feed. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 37: 43. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0452-8>
- Vodounnou JV, Iko R, Godwin O, Kpogue D, Ahouansou Montcho S, Micha J-C, 2025. Complete substitution of fish meal with black soldier flies *Hermetia illucens* (L. 1758) larvae meal at varying incorporation rates for feeding *Oreochromis niloticus* raised in captivity. *Aquaculture Science and Management* (2025) 2:1 <https://doi.org/10.1186/s44365-024-00004-0>
- Wang G, Peng K, Hu J, Yi C, Chen X, Wu H, Huang Y, 2019. Evaluation of defatted black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal as an alternative protein ingredient for juvenile Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*) diets. *Aquaculture* 507:144–154. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.04.023>
- Worthan SB, McCarthy RDP, Delaleau M, Stikeleather R., Bratton BP, Marc Boudvillain M., Behringer MG, 2024. Evolution of pH-sensitive transcription termination in *Escherichia coli* during adaptation to repeated long-term starvation. *PNAS*, vol 121, no 39. 12p. <https://doi.org/10.1073/pnas.2405546121>
- Wynants E, Crauwels S, Verreth C, Gianotten N, Lievens B, Claes J, Van Campenhout L. 2018. Microbial dynamics during production of lesser mealworms (*Alphitobius diaperinus*) for human consumption at industrial scale. *Food Microbiol* 70:181–191. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2017.09.012>
- Wynants E, Frooninckx L, Crauwels S, Verreth C, De Smet J, Sandrock C, Depraetere S, Lievens B, Van Miert S, Claes J, Van Campenhout L, *Microb. Ecol.*, 2019. Assessing the Microbiota of Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens*) Reared on Organic Waste Streams on Four Different Locations at Laboratory and Large Scale vol. 77, no. 4, pp. 913–930. <https://doi.org/10.1007/s00248-018-1286-x>
- Xiao X, Jin P, Zheng L, Cai M, Yu Z, Yu J, Zhang J, 2018. Effects of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal protein as a fishmeal replacement on the growth and immune index of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*). *Aquaculture Research*

49:1569–1577.

<https://doi.org/10.1111/are.13611>

Zulkifli NFNM, Seok-Kian AY, Seng LL, Mustafa S, Kim Y-S, Shapawi R, 2022. Nutritional value of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae processed by different methods. PLoS ONE 17(2): e0263924. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263924>.

SITOGRAFIE

www.food-info.net/fr/qa/qa-saf21.htm

[www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Recherche Innovation/Fichedetransfert_IA116567.pdf](http://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Recherche_Innovation/Fichedetransfert_IA116567.pdf)

www.unegamelleautop.fr/congelation-cuisson-et-agents-pathogenes/