



Production d'insectes
Alimentation - Applications
Nouvelles filières industrielles
Organisé par
Adebiotech et AgroParisTech

Actes et propositions

Rédigés par
Marie COLOMBIER
Taiadjana MARQUES FORTUNA

Sponsors



Soutien financier



Table des matières

Introduction	3
Tableau de repérage rapide	4
1 État d'avancement des travaux de recherche académiques et des progrès industriels	6
1.1) L'élevage d'insectes comme solution aux problèmes environnementaux et sociétaux	6
1.2) Quels insectes élève-t-on et comment?	6
1.3) Les insectes comme alimentation humaine et animale	7
1.4) Recherche concernant la santé des insectes et la sécurité sanitaire	8
2 - Principaux verrous et initiatives de la filière pour les lever	10
2.1) Verrou législatif : que comprendre ?	10
2.2) Verrou technique et technologique : de l'élevage au produit transformé	11
2.3) Verrou environnemental : quelle durabilité ?.....	12
2.4) Verrou économique : un prix trop élevé	12
2.5) Verrou social : l'acceptabilité des acteurs en amont et en aval de la filière	13
3- Propositions et recommandations des différents acteurs de la filière pour l'avenir	14
3.1) Propositions pour le cadre législatif	14
3.2) Propositions et orientations pour les entreprises de la filière alimentation animale et humaine	14
3.3) Les besoins en recherche scientifique.....	15
3.4) Propositions et perspectives pour une durabilité environnementale et économique .	16
Conclusion	17

Figure et tableaux

Figure 1 : Répartition en fonction du type d'organisation.....	3
Tableau 1 : Récapitulatif des verrous/challenges de la filière insecte et les propositions évoquées lors du colloque Insectinov2.....	4
Tableau 2 : Récapitulatif des principaux insectes élevés, de leur substrat d'élevage et ce à quoi ils sont destinés.....	7
Tableau 3 : Récapitulatif de la législation actuelle	11
Tableau 4 : Récapitulatif des recommandations de IPIFF aux institutions européennes.....	14

Introduction

Dès l'ouverture du colloque, Paul Vantomme, Senior Forestry Officer à la FAO (Food and Agriculture Organisation) rappelle la nécessité de trouver une solution pour nourrir la planète, dont la population devrait atteindre les 9 milliards en 2050. En effet, l'augmentation de la demande en protéines animales implique une augmentation de la production céréalière nécessaire pour nourrir les animaux d'élevage. Or, aujourd'hui, les animaux consomment 1/3 de la production céréalière mondiale et entrent en compétition avec l'alimentation humaine. Parallèlement, l'aquaculture est en pleine expansion, surtout en Asie, et selon la FAO, 60% du poisson consommé proviendra de l'aquaculture en 2030 (Sylvaine Poret, INRA). Or, les poissons sont nourris avec des farines de poissons sauvages, alors que la surpêche appauvrit les océans, et du soja, dont les plantations entraînent une déforestation importante. Les insectes apparaissent alors comme une solution idéale, tant pour remplacer une partie de la viande dans l'alimentation des hommes, que remplacer les farines de poissons et de soja dans l'alimentation des poissons, et les céréales dans l'alimentation des porcs et des volailles. En effet, les insectes sont très riches en protéine (60%), ont un cycle de vie court avec une croissance très rapide et sont capables de bio-conversion (Franck Launay). Mais est-ce que l'élevage d'insecte est une solution durable ? C'est ce à quoi ont tenté de répondre les différents intervenants du colloque Insectinov 2 et plusieurs propositions ont été mises en avant pour tenter de faire face aux verrous actuels de la filière, concernant tant la réglementation, que la technologie d'élevage ou la durabilité économique et environnementale.

Insectinov 2 a rassemblé 200 participants provenant de 20 pays et appartenant au secteur public et privé (Figure 1).

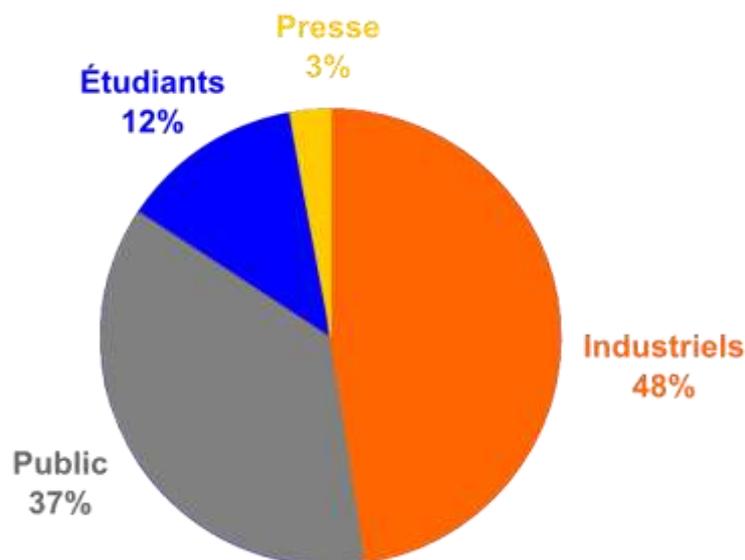


Figure 1 : Répartition en fonction du type d'organisation

Depuis le premier colloque Insectinov en 2014, une réelle "filière insecte" s'est créée en France et en Europe, avec notamment la création de l'IPIFF (International Platform of Insects for Food and Feed) en 2015, dont Antoine Hubert (Ynsect) en est le président. Cette plateforme regroupe 14 pays et 42 entreprises et facilite le dialogue entre les autorités publiques de l'Union Européenne et les acteurs de la filière.

Tableau de repérage rapide

Tableau 1 : Récapitulatif des verrous/challenges de la filière insecte et les propositions évoquées lors du colloque Insectinov2.

	Verrou/Challenge	Proposition
Réglementation	Le gouvernement français ne reconnaît pas assez la filière insecte	Dialoguer avec les élus
		Intégrer les insectes dans les états généraux de l'alimentation
	Application de la Novel Food Law différente selon les pays de l'Union Européenne	IPIFF demande aux institutions européennes une harmonisation de l'application de la loi selon les pays
		Augmenter les recherches scientifiques en sécurité sanitaire à l'échelle européenne + prendre exemple sur d'autres pays
		Trouver le moyen de distinguer les farines d'insectes des autres PAT par des mesures de contrôles, et ainsi n'autoriser que les farines d'insectes
		Interdiction d'utilisation des déchets et excréments pour nourrir les larves
Farines d'insectes considérées comme des protéines animales transformées (PAT) et interdites en alimentation des porcs et des poules		
Marché français de la pisciculture toujours fermé aux PAT	Informé et convaincre	
Sécurité sanitaire	Manque de connaissances sur les pathogènes transmissibles par les insectes et sur les diagnostics de maladies d'élevage	Augmenter les recherches scientifiques
		Appliquer le principe de biosécurité dans les entreprises
Techniques et technologies d'élevage	Améliorer la digestibilité de la farine d'insectes	Processus de transformation des insectes en farine plus performants
		Extraire la chitine mais coûteux et polluant
	Teneur en protéines des insectes très variable	Recherche sur les types de substrats
	Cannibalisme des insectes	Sélection génétique

	Reproduction de insectes	Lampes accélérant la reproduction des mouches en Chine
	Eviter les contaminations	Filtrer l'air et l'eau entrant et sortant
	Une main d'œuvre coûteuse	Automatiser les élevages
Durabilité environnementale Parties 1.1/2.3/3.2/3.4	Ventilation des élevages coûteuse en énergie	Energies vertes ou bio-mimétisme
	Les substrats de insectes font concurrence à l'alimentation des bovins et des porcs	Valoriser les déchets alimentaires
		Utiliser les déjections animales, attention à la compétition avec la méthanisation
		Des insectes pour dégrader le plastique et le polystyrène ?
	Transport polluant des co-produits ou déchets destinés au substrat d'élevage des insectes	Segmenter la filière pour rapprocher l'engraissement des larves des matières premières utilisées pour le substrat
		Approfondir les recherches concernant le potentiel du substrat, digéré par les insectes, en tant qu'engrais
Durabilité économique Parties 2.4/3.4	Prix de la farine d'insectes trop élevé : doit être ramené au prix des farines de poissons	Valoriser les coproduits (chitine, biopeptides, huile, engrais)
		Automatisation des élevages
Acceptabilité sociétale Partie 2.5	Barrière culturelle, dégoût	Intégrer la thématique des insectes comestibles dans l'enseignement.
		Démocratiser la consommation d'insectes par des produits de base et des prix plus faibles
	Peur que les élevages d'insectes ne soient pas sains	Se faire certifier (ISO 22000 chez Micronutris)
	Modification de la couleur et du goût de la chair des truites nourries aux insectes	Informers les consommateurs

1 État d'avancement des travaux de recherche académiques et des progrès industriels

1.1) L'élevage d'insectes comme solution aux problèmes environnementaux et sociétaux

Un tiers de la production céréalière (soja et maïs) du monde sert aujourd'hui à nourrir les animaux pour la consommation humaine et, en 2050, cette proportion atteindra la moitié dû à l'augmentation de la demande en protéines animales. Le besoin en terres cultivables sera alors de 500 000 ha par an, amplifiant les dégâts environnementaux tels que la déforestation de l'Amazonie pour la production de soja au Brésil (P. Vantomme, FAO, communication personnelle). De plus, les mammifères sont des animaux au sang chaud, qui utilisent au moins 30% de ce qu'ils mangent à produire de l'énergie pour régler leur température corporelle. Les insectes, ayant le sang froid, n'ont pas besoin de cette énergie et sont beaucoup plus efficaces à convertir la nourriture en protéines. Paul Vantomme affirme ainsi que les insectes consomment cinq fois moins de nourriture que le bœuf et trois fois moins que le porc, pour produire une même quantité de protéines. Les fermes d'insectes permettent alors une bioconversion plus efficace des sous-produits végétaux et leurs déjections peuvent par ailleurs être utilisées comme engrais vert pour l'agriculture. Par ailleurs, la farine d'insectes peut remplacer la farine de poissons car elle contient autant de protéines et ainsi éviter la surpêche (Paul Vantomme).

D'un point de vue sociétal, les élevages d'insectes, consommés traditionnellement par un quart de la population mondiale (FAO), sont accessibles aux pays en développement et peuvent renforcer l'économie locale. Plusieurs projet sont alors mis en place tels que l'élevage de grillons au Bénin présenté par Mélanie Ramnuth ou encore la production des larves des charançons des palmiers au Cameroun, soutenue par l'institut de recherche pour le développement (IRD).

1.2) Quels insectes élève-t-on et comment?

Depuis le 1^{er} Juillet 2017, la loi européenne autorise les farines d'insectes dans l'alimentation des poissons d'élevage, et les élevages d'insectes sont en plein développement. Deux espèces sont principalement élevées pour l'alimentation animale, la larve de mouche soldat noire, *Hermetia illucens* et le ténébrion, *Tenebrio molitor*. Ce dernier est aussi élevé pour l'alimentation humaine avec les criquets et les grillons (*Tableau 2*). Les principaux enjeux concernant cette nouvelle forme d'élevage concernent les techniques de reproduction, les substrats utilisés comme nourriture pour les insectes, la sélection des espèces, la gestion de la température au sein de l'élevage, la gestion des risques sanitaires, la mise à grande échelle et la réglementation.

Tableau 2 : Récapitulatif des principaux insectes élevés, de leur substrat d'élevage et ce à quoi ils sont destinés

Quel insecte ?	Quel substrat d'élevage ?	A quelle destination ?
Larve de mouche soldat noire : <i>Hermetia illucens</i>	- Co-produits végétaux humides* - Déchets organiques humides, ou excréments d'animaux**	Alimentation animale : -Poissons d'élevage* -Animaux de compagnie et zoos* -poulets et porcs**
Larve de ténébrion ou ver de farine : <i>Tenebrio molitor</i>	-Céréales* -Co-produits végétaux secs* -Déchets organiques secs**	Alimentation animale : -Poissons d'élevage* -Animaux de compagnie et zoos* -poulets et porcs** Alimentation humaine***
Grillons, criquets, sauterelles	-Végétaux secs et humides* -Céréales* -coproduits végétaux secs ou peu humides* -déchets organiques secs ou peu humides**	Alimentation animale : Animaux de compagnie et zoos* Alimentation humaine***
<p>*Autorisé en Europe ** Non autorisé en Europe *** Non autorisé en Europe selon la "Novel Food Law", mais autorisé dans certains pays tels que la Belgique, les Pays-Bas, la Finlande, le Royaume-Uni ou la Suisse (hors Europe).</p>		

1.3) Les insectes comme alimentation humaine et animale

Alimentation humaine : Les protéines d'insectes comme ingrédients alimentaires

Les insectes ont un fort apport nutritionnel étant naturellement riches en protéines (60 %), ainsi qu'en fer, magnésium, phosphore, calcium, vitamine B et C (Micronutris). Les protéines d'insectes, une fois isolées, peuvent être utilisées comme nouvel ingrédient alimentaire. Samir Mezdour, AgroParisTech, montre que les protéines de ténébrion ont des propriétés moussantes similaires aux protéines de lait. Camille Loupiac et l'équipe PCAV de l'UMR PAM montrent que les protéines d'insectes sont solubles dans l'eau comme les protéines de lait ou de viande. Néanmoins, au dessus de 90°C, ces protéines perdent leur solubilité et il faut donc faire attention aux procédés utilisés pour transformer les larves en farine ou pour extraire les protéines.

Alimentation animale : Des larves d'insectes à la farine : procédés

Aujourd'hui, les larves de ténébrion ou de mouche soldat noire sont dégraissées avant d'être broyées en farine. Samir Mezdour décrit le procédé utilisé lors des essais réalisés au sein du projet DESIRABLE, financé par l'ANR et démarré en janvier 2013. Les larves sont lavées, cuites (blanchies) puis pressées afin d'en extraire l'huile. La partie solide est ensuite séchée puis broyée pour produire la farine. Pourquoi dégraisser la farine ? L'avantage est double : l'extraction des lipides permet d'augmenter la concentration en protéines des farines et ainsi de se rapprocher de celle des farines de poissons, utilisées actuellement comme source principale de nourriture des poissons d'élevage. De plus, le séchage de la farine dégraissée consomme moins d'énergie qu'une farine complète non dégraissée.

Christine Burel et Michel Lessire, INRA, ont étudié la digestibilité des farines d'insectes par les truites et les poulets, pour pouvoir tester son effet sur la croissance des animaux par la suite. Ils ont montré que les poissons digèrent aussi bien un aliment contenant de la farine de larves de ténébrions et de mouche soldat noir qu'un aliment contenant de la farine de poissons, à condition que la proportion de farine d'insectes ne dépasse pas 15% du contenu total. Ainsi, la digestibilité de la farine de larves de mouche soldat noire est plus haute ou égale à celle de soja pour les poulets, et celle de la farine de ténébrions est égale à la farine de poisson pour les truites. Enfin, bien que les résultats montrent une meilleure digestibilité des farines d'insectes après extraction de la chitine, la digestibilité reste correcte sans son extraction.

Dans une autre expérience conduite par le département R&D d'InnovaFeed, les poissons étaient alimentés par des granulés contenant 30% de farines d'insectes. Les résultats ont montré que la digestibilité de la farine de larves de mouche soldat noir par le bar et la truite était haute (87-91%) contrairement aux farines d'origine végétale, comme celle de soja. Les farines de poissons, préparées à basse température, étaient mieux digérées par les poissons, mais sont plus chères. De plus, la plupart des farines de poissons utilisées en aquaculture viennent du Pacifique, générant une forte empreinte carbone.

1.4) Recherche concernant la santé des insectes et la sécurité sanitaire

Les connaissances s'améliorent dans le domaine des maladies des insectes et il est indispensable que les académies et gouvernements allouent un budget à ces recherches cruciales. Selon Claire Beauvais, vétérinaire, bien que les maladies propres aux insectes soient rarement transmissibles aux mammifères, ces derniers peuvent être porteurs de pathogènes présents dans leur environnement. Les entreprises doivent donc appliquer les principes de biosécurité, déjà appliqués dans d'autres filières d'élevage : aucun pathogène ne doit entrer dans l'élevage, qui doit être compartimenté pour éviter la propagation d'une éventuelle contamination. Le bâtiment d'élevage doit être bien ventilé, nettoyé et désinfecté et séparer les animaux malades du reste d'élevage. Néanmoins, Christina Nielsen-Leroux, chercheuse à l'INRA, montre que la larve de mouche soldat noir a une meilleure croissance sur un substrat dans lequel se trouvent certaines bactéries, qui sont ensuite bio-transformées et éliminées par les larves.

À partir d'octobre 2015, l'ANSES (Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) et l'EFSA ("European Food Safety Authority") ont invité à définir un encadrement spécifique des conditions d'élevage et de production des insectes.

Suites à leurs avis, plusieurs projets de recherche à l'échelle européenne et nationale tels que inVALUABLE (Danemark), inDIRECT (Belgique) et DESIRABLE (ANR, France) cherchent à faire avancer les connaissances scientifiques en ce qui concerne les risques sanitaires. Un des risques concerne les farines animales, appelées Protéines Animales Transformées (PAT), à l'origine des prions (protéines pathogènes) et responsables par exemple pour l'épidémie de la vache folle. Jean-Philippe Deslys, du CEA, dans le cadre du projet DESIRABLE, a présenté les résultats concernant l'étude des risques sanitaires liés à une bioraffinerie d'insectes, de l'élevage à transformation en farines. Cette recherche permettra de développer des méthodes de détection des farines animales d'insectes, pour pouvoir les introduire dans l'alimentation des animaux de bétail et les distinguer des PAT conventionnelles (carcasses d'animaux).

Comment diagnostiquer la santé des insectes d'élevages ? La métagénomique devient un outil très efficace, présente Mylène Ogliastro, de l'UMR DGIMI à Montpellier. Cet outil permet de détecter les virus d'insectes et de connaître et comprendre la diversité et la prévalence virale dans les populations d'insectes. La chercheuse encourage également la communauté scientifique à étudier les risques de transmission des virus d'insectes aux hommes. Jorgen Eilenberg, University of Copenhagen, Danemark, travaille également à établir des diagnostics pour les différentes espèces d'insectes d'élevages¹ et a établi une liste des maladies déjà observées dans les élevages en effectuant des enquêtes auprès d'une trentaine d'entreprises. Ces résultats sont ensuite étudiés dans le cadre du réseau de collaboration européen "Insectpath", regroupant entreprises et scientifiques autour du sujet.

Quelques programmes de recherches appliquées sont aussi mis en œuvre par les privés, comme par exemple le projet CertiFLY de l'entreprise MUTATEC. En partenariat avec diverses structures, ce projet vise à élaborer un protocole d'évaluation des risques sanitaires liés à la production et consommation d'insectes, comme *Hermetia illucens*.

Enfin, concernant les risques allergiques pour l'alimentation humaine, Justine Courtois, de l'Université de Liège, présente les résultats de ses recherches et de son collaborateur, sur lesquels les individus allergiques aux crevettes et aux acariens présentent aussi une réaction allergique aux criquets. Les résultats préliminaires montrent que ces arthropodes partagent la même protéine allergène, mais qui reste encore à être identifiée.

1

https://www.researchgate.net/profile/Jorgen_Eilenberg/publication/273499752_Diseases_in_insects_produced_for_food_and_feed/links/553d40510cf2c415bb0f5a4f/Diseases-in-insects-produced-for-food-and-feed.pdf

2 - Principaux verrous et initiatives de la filière pour les lever

2.1) Verrou législatif : que comprendre ?

Alimentation animale

Les farines animales, PAT, sont interdites en alimentation animale depuis la crise de la vache folle. Les PAT issues d'animaux non-ruminants sont néanmoins déjà autorisées pour l'alimentation des poissons d'élevage, ce qui a permis l'autorisation des farines d'insectes en aquaculture. Mais aujourd'hui, il est toujours interdit de donner des farines d'insectes aux poulets et aux porcs. La réglementation est si stricte que Michel Lessire, INRA, a reçu l'interdiction de faire tester aux consommateurs des viandes de poulets nourris aux insectes pour son étude présentée au colloque. Selon Brigitte Heidemann, DGAL, la solution serait de trouver une méthode pour savoir distinguer les farines d'insectes des autres farines animales.

Alimentation humaine

Le règlement européen "Novel Food" interdit la commercialisation d'aliments non consommés dans l'Union Européenne avant 1997, appelés " Novel Food " ou nouvelle nourriture, sans l'obtention d'une autorisation spéciale suite au dépôt d'un dossier de gestion des risques. Cette loi a été revue en 2015 afin que les "insectes entiers et leurs produits" apparaissent clairement comme " Novel Food ", ce qui enlève le flou juridique. La loi entrera en vigueur en Janvier 2018 et concerne tous les pays de l'Union Européenne. Néanmoins, certains pays de l'Union Européenne ont autorisé légalement la commercialisation de quelques espèces d'insectes avant la révision de la loi "Novel Food". C'est le cas de la Belgique, des Pays-Bas, du Royaume-Uni et de la Finlande. Les entreprises commercialisant déjà des insectes dans ces pays ont alors un délai de deux ans pour déposer leur dossier tout en continuant leur activité. La France n'ayant établi de texte ou loi autorisant la commercialisation d'insectes sur son territoire, les entreprises françaises devraient s'adapter à la nouvelle loi dès Janvier 2018 et ainsi devraient suspendre leur activité durant la procédure d'autorisation.

Tableau 3 : Récapitulatif de la législation actuelle

Domaine	Sujet	Quelle Réglementation?
Elevage d'insectes	Sur quels substrats peut-on élever les insectes ?	Règlement CE 999/2001 article 7 annexe IV Règlement CE n° 183/2005
	Que faire des déjections des insectes ?	Règlement (CE) 1069/2009 Réglementation fertilisants CRPM-L225
Alimentation animale	7 espèces d'insectes autorisées pour la production de protéines animales transformées (PAT) destinées à l'aquaculture et aux animaux familiers	Regulation (EU) n° 2017/893 Regulation 142/201, Annex X Regulation (EU) n°2017/1017
Alimentation humaine	Insectes et leurs produits interdits à la commercialisation sans autorisation de mise sur le marché	Novel Food Law: Règlement (EU) n°2015/2283, effectif le 1er Janvier 2018
	Peut-on importer des insectes d'autres pays ? Oui si la quantité est inférieure à 2kg	Regulation 206/2009

2.2) Verrou technique et technologique : de l'élevage au produit transformé

La maîtrise des techniques d'élevage reste aujourd'hui un verrou car certaines espèces d'insectes sont difficiles à faire reproduire et de nombreuses variables influencent l'accouplement et la ponte des œufs. Le cannibalisme est parfois également observé si les insectes ne reçoivent pas assez de nutriments dans leur substrat (Jorgen Eilenberg, University of Copenhagen, Danemark). Enfin, bien qu'un élevage d'insectes comporte des millions d'individus, ceux-ci se reproduisent entre eux et la consanguinité peut entraîner une perte de la diversité génétique. Il serait donc nécessaire de renouveler la population de chaque élevage par un apport d'individus extérieurs non apparentés.

Ensuite, des solutions doivent être trouvées pour automatiser entièrement les élevages d'insectes. En effet, le tri, nettoyage et abattage demandent beaucoup de main d'œuvre, raison pour laquelle le prix au kg des farines d'insectes est si élevé aujourd'hui. Marc Bardinal, ADEME, souligne aussi la nécessité de maîtriser le stockage et le traitement des

substrats car pour produire 100 tonnes d'insectes, il faut utiliser 200 tonnes de substrat. Afin d'éviter toute contamination, un système de filtration de l'air et de l'eau devrait aussi être mis en place (Valery Bonnet, Neu Air Moving Technologies).

Enfin, la farine d'insectes obtenue après transformation est aujourd'hui de qualité très variable selon les processus utilisés (température de séchage, équipements de broyage). C'est ainsi que la composition protéique des farines de ténébrions peut varier entre 55 et 74% d'après Michel Lessire, INRA, et la digestibilité de la farine par les poissons et les poulets est elle aussi très variable selon les processus de transformation utilisés.

2.3) Verrou environnemental : quelle durabilité ?

Si les seuls produits autorisés comme substrat pour les insectes sont les mêmes que ceux données en alimentation aux cochons et aux vaches, l'élevage d'insectes est-il vraiment une solution face aux problèmes environnementaux que soulèvent les élevages conventionnels aujourd'hui ?

Selon Jean-Philippe Deslys, CEA, les larves de mouche soldat noire seraient de bons recycleurs des déchets organiques animaux, à l'origine des PAT, ainsi que des déchets d'industries agro-alimentaires, de cantines, restaurants ou grandes surfaces et même les déjections animales. Tous ces substrats organiques, une fois digérés par les larves, seraient répartis sur les terres agricoles, permettant une économie circulaire.

Ces substrats alternatifs sont autorisés dans d'autres pays tels que la Chine, où Longyu Zheng, de l'Université de Huazhong, élève des larves d'*Hermetia illucens* sur des fientes de poulets et des déchets préalablement traitées. Mais la législation européenne n'autorise aujourd'hui aucun de ces substrats pour des raisons de sécurité sanitaires. Il existe effectivement des risques de transmissions de mycotoxines via les déchets organiques ou d'antibiotiques via les déjections animales, et le projet européen ProtelInsect a étudié ces risques durant les deux dernières années.

Le deuxième verrou environnemental concerne la consommation énergétique d'un élevage de masse d'insectes. En effet, selon Valéry Bonnet, Neu Air Moving Technologies, la ventilation et le conditionnement de l'air dans un élevage de masse d'insectes sont indispensables, ces derniers ne pouvant pas réguler leur température interne, mais peuvent consommer jusqu'à 60 000 €/jour en électricité. La durabilité évoquée par le recyclage des déchets est vite donc contrebalancée par le coût énergétique, à moins que les entreprises n'utilisent de l'énergie verte ou repensent leurs systèmes d'aération en faisant du biomimétisme des structures naturelles existantes telles que les termitières.

2.4) Verrou économique : un prix trop élevé

Aujourd'hui, le prix de la farine d'insectes est plus élevé que celui de la farine de poissons. Selon Philippe Schmidely, AgroParisTech, le remplacement de la farine de poissons par celle d'insectes, en aquaculture, ne sera possible que si le prix de la farine d'insectes est réduit à celui des farines de poissons, autour de 1 500€/tonne. Les solutions pour réduire le coût de production des farines d'insectes semblent être l'automatisation des élevages, d'une part, créneau sur lequel l'entreprise Ynsect semble être avancée, et l'utilisation de déchets

en tant que substrat des insectes, d'autre part. Ainsi, Longyu Zheng, de l'université de Huazhong en Chine, présente les résultats d'élevages 100% automatisés de larves de *Hermetia illucens*, nourries sur des excréments d'animaux ou des déchets et vendues ensuite comme alimentation aux volailles et aux poissons d'élevage. Selon le modèle présenté, un élevage peut produire jusqu'à 50 tonnes d'insectes par jour et est viable économiquement.

2.5) Verrou social : l'acceptabilité des acteurs en amont et en aval de la filière

L'acceptabilité des consommateurs, mais aussi des éleveurs ou des élus est un des gros challenges de la filière.

Concernant les pisciculteurs, encore 60 à 70% en France répondent à leur propre cahier des charges concernant l'alimentation des poissons, qui interdit l'utilisation des PAT, selon Antoine Hubert, Ynsect. Un travail d'information est donc à réaliser auprès des associations de pisciculteurs.

Les résultats de l'enquête réalisée par Sylvaine Poret, INRA, dans le cadre du projet ANR DESIRABLE, montrent que les consommateurs se déclarent globalement prêts à manger des truites nourries avec des farines d'insectes mais ils veulent des produits sûres, n'ayant pas le goût d'insectes et portant l'information sur le bénéfice environnemental des insectes sur l'étiquetage.

Néanmoins, Michel Lessire, INRA, met en lumière que les filets de truites nourries avec des granulés contenant 15% de farine d'insectes (*Hermetia illucens*) sont moins appréciées des consommateurs que celles nourries aux granulés conventionnels. Par ailleurs, la couleur de la chair est aussi modifiée, ce qui peut influencer le choix du consommateur lors de l'achat. Enfin, les insectes sont des êtres vivants, et la question éthique peut être soulevée lorsqu'on parle d'ébouillantage et de millions d'insectes confinés dans des boîtes (Philippe Le Gall).

Finalement, tant en alimentation animale qu'humaine, les insectes sont considérés avec dégoût, et selon Paul Vantomme, ce facteur "Yuk" est la première barrière à dépasser pour intégrer les insectes dans nos systèmes alimentaires. Afin de rassurer le consommateur, l'entreprise Micronutris a pris l'initiative de la certification ISO 22000. Cette norme internationale certifie que l'entreprise manage et gère les risques de toutes les étapes, de l'élevage à la transformation des insectes.

3- Propositions et recommandations des différents acteurs de la filière pour l'avenir

3.1) Propositions pour le cadre législatif

Antoine Hubert, président de IPIFF (International Platform of Insects for Food and Feed) invite les acteurs de la filière à lire les "position papers" concernant l'alimentation animale² et humaine³, contenant entre autres des propositions pour le cadre législatif (Tableau 4). Actuellement, IPIFF est entrain de rédiger un guide de bonnes pratiques d'hygiène pour le secteur des insectes et demande que l'EFSA s'empare des sujets de sécurité sanitaire et alloue un budget aux recherches dans le domaine.

Tableau 4 : Récapitulatif des recommandations de IPIFF aux institutions européennes

Recommandations de IPIFF aux institutions européennes:	
Pour l'alimentation animale	Pour l'alimentation humaine
Autoriser les farines d'insectes en alimentation des animaux d'élevage non ruminants (porcs et volaille)	Détailler les opérations et faciliter les procédures à suivre pour déposer les dossiers de "novel food"
Explorer les risques d'utilisation des déchets de supermarchés/restaurants comme substrats d'élevage des insectes	Clarifier la loi pour que tous les pays de l'UE soient sur un pied d'égalité concernant le délai de 1 an accordé aux entreprises commercialisant déjà des insectes dans les pays où cette activité est "légalement" reconnue
IPIFF s'engage à partager avec les autorités européennes les informations concernant la sécurité sanitaires des élevages et des produits d'insectes et invite les entreprises à monter des dossiers conjointement en partageant les informations nécessaires.	

3.2) Propositions et orientations pour les entreprises de la filière alimentation animale et humaine

Beaucoup de pistes de recherche et développement restent à explorer pour les entreprises produisant et commercialisant les insectes. Ainsi, Patricia Le Cadre, Céréopa, invite les entreprises à valoriser les coproduits d'insectes tels que les huiles en industrie alimentaire et cosmétique, les biomolécules en industrie chimique et pharmaceutiques, et les matières organiques comme fertilisant et isolant thermique (Gregory Louis, Entomo Farm). Des recherches doivent être également menées sur le substrat d'élevage. En effet, les chenilles de la fausse teigne seraient capable de digérer le plastique⁴, et les ténébrion, le polystyrène⁵

² <http://www.ipiff.org/public/key-docs/ipiff-position-paper-on-the-use-of-insect-proteins-in-animal-feed-26-07-2017.pdf>

³ <http://www.ipiff.org/public/key-docs/ipiff-position-paper---implementation-of-eu-novel-food-regulation.pdf>

⁴ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982217302312>

⁵ <https://www.scientific.net/AMR.113-116.1972>

(Philippe Le Gall). Enfin, les techniques d'élevages restent toujours à innover et améliorer. En Chine, par exemple, des lampes spéciales permettent d'accélérer la reproduction des mouches *Hermetia illucens* (Longyu Zheng).

Des possibilités de financement existent dans la filière insecte. L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) lance de nombreux appels à projets concernant l'industrie et agriculture éco-efficientes et l'économie circulaire, et la BPI France propose également des aides à l'innovation dont plusieurs entreprises de la filière ont déjà bénéficié.

Enfin, le plus gros marché en aquaculture de demain sera l'Asie, et particulièrement la Chine. Les nouvelles startups se destinant à l'alimentation des poissons par les insectes ont donc tout intérêt à inclure une ouverture sur cette région du monde dans leur business plan (Patricia Le Cadre).

3.3) Les besoins en recherche scientifique

Frédéric Marion-Poll, professeur d'AgroParisTech, alerte sur le fait que les insectes élevés actuellement sont bien différents des insectes généralement étudiés, tels que la drosophile ou les abeilles. La communauté scientifique doit donc se mobiliser pour améliorer les connaissances sur les insectes d'élevage à destination de l'alimentation animale et humaine. Il ajoute que l'enseignement au niveau licence et master devrait intégrer des cours ayant pour thématique les insectes comestibles.

La gestion du stock génétique des insectes en élevage est aussi important puisque l'une des conséquences de l'élevage est la diminution de la diversité génétique. Cette perte de variabilité génétique peut être associée à la désactivation des fonctions vitales chez les insectes comme la perte des défenses naturelles dans le cas des abeilles par exemple. Néanmoins, Frédéric Marion-Poll observe qu'il peut être intéressant de sélectionner des caractères génétiques permettant une amélioration du goût ou des valeurs nutritionnelles, et à plus long terme, une meilleure domestication : insectes plus dociles, sans vol, facile à élever et à se reproduire, sans cannibalisme, non-toxique, et sans risque de s'échapper pour éviter des espèces envahissantes. Qui plus est, la sélection génétique des insectes peut se faire rapidement car leurs cycles de vie sont courts et on compte des millions d'individus dans un élevage, au contraire des vaches. Mais cela soulève de nombreuses questions liées à l'évolution des espèces, par exemple les chiens ont plusieurs races qui se comportent très différemment, dans quelle direction les différents acteurs de la filière veulent aller avec ces insectes demande Frédéric Marion-Poll.

La connaissance des entomopathogènes, incluant virus, bactéries et champignons, ainsi que la connaissance de la résistance des insectes à ces pathogènes constituent un enjeu sanitaire majeur. C'est pourquoi Christina Nielsen-Leroux et Mylène Ogliaastro, INRA, invitent à accélérer les recherches dans ce domaine et conseillent d'identifier, pour chaque insecte, le substrat dont il se nourrit, ses pathogènes et symbiotes comme les bactéries présentes dans les intestins. Un autre défi consiste à mieux connaître les toxines produites par les insectes élevés, comme par exemple les quinones produites par les adultes des vers de farine, qui peuvent avoir des effets indésirables (Paul Vantomme).

Néanmoins, en cas de contamination, il est important de faire attention à l'utilisation d'antibiotiques au sein d'élevage d'insectes, car leurs bactéries intestinales contiendraient des probiotiques valorisables en alimentation animale et humaine et les antibiotiques détruisent ces probiotiques.

Effectivement les insectes contiennent des biopeptides antimicrobiens (AMPs) et il semblerait alors possible de valoriser les insectes à des fins pharmacologiques (Paul Vantomme). Longyu Zheng, de l'Université de Huazhong, argue que les insectes, comme la mouche soldat noir, ont une immunité antimicrobienne innée et sa consommation peut améliorer le système immunitaire des poissons ou des poulets nourri par ces insectes, ayant moins besoin d'utilisation des antibiotiques dans les élevages de ces animaux.

Samir Mezdour, AgroParisTech, encourage aussi à augmenter les connaissances sur les propriétés des protéines d'insectes afin de les utiliser comme ingrédients dans l'alimentation humaine, et de les mélanger avec d'autres protéines connues pour innover dans le secteur de l'agroalimentaire.

3.4) Propositions et perspectives pour une durabilité environnementale et économique

Une économie locale

Les insectes peuvent dégrader des déchets. Il serait dommage de contrebalancer cet avantage par un fort impact environnemental dû au transport de ces déchets sur de longues distances (Paul Vantomme). Mais les entrepreneurs peuvent envisager de favoriser les circuits courts, comme par exemple s'installer proche des fermes pour avoir les co-produits végétaux issus des cultures. Se rapprocher au plus près de la source de substrat diminuerait en effet les impacts logistiques, économiques et environnementaux. Anne Deguerry, Entofood, propose par exemple une segmentation de la filière entre l'unité de reproduction d'insecte, où se produit les œufs, la partie de production des masses ou engraissement des larves, que doit être proche des fermes, et le processus industriel ou transformation. Un autre modèle est aussi proposé par Grégory Louis, Entomo Farm, dans lequel les œufs d'insectes sont donnés aux agriculteurs pour l'élevage des larves puis rachetées par l'entreprise.

Valorisation des coproduits : chitine et chitosane

La biomasse des insectes est fractionnée en lipides, protéines et chitine et tous les trois ont un énorme potentiel pour les produits finaux commercialisables, affirme Leen Bastiens, de VITO (Institut flamand de recherche technologique) dans le cadre du projet européen InDIRECT. La chitine et chitosane ont des propriétés anti-bactériennes et anti-oxydants, et plusieurs applications leur sont confirmées comme le traitement des eaux usées, la biopharmaceutique, l'agriculture (revêtement de graines, biopesticides, et biostimulants), ainsi comme en biofibres. L'utilisation de la chitine pourrait donc être une autre voie de valorisation des insectes et la demande en chitine croit de plus en plus confirme Leen Bastiens. Néanmoins, Franck Launay, IPSB, demande aux entrepreneurs de faire attention à la contamination bactérienne des élevages d'insectes s'ils envisagent l'utilisation de chitosan dans l'industrie cosmétique. Antoine Hubert, Ynsect, déclare toutefois qu'actuellement les entreprises n'extraient pas la chitine pour produire leurs farines d'insectes car c'est coûteux économiquement et polluant (utilisation de soude). Il est donc nécessaire de trouver des moyens moins coûteux et plus respectueux de l'environnement pour éliminer la chitine des insectes. Un moyen moins polluant d'extraire la chitine consiste à utiliser des enzymes, mais là encore, celles employées pour l'extraction de la chitine des carapaces de crustacés ne sont pas aussi efficaces pour les cuticules des insectes et d'autres enzymes plus performantes sont à chercher.

Une durabilité environnementale

La France produit plus de protéines végétales qu'elle n'en a besoin mais manque de certaines protéines spécifiques, trouvées dans le colza, tournesol ou soja, affirme Patricia Le Cadre, Céréopa. Pour cette raison, la France importe des protéines végétales, par exemple, du soja brésilien et du tournesol ukrainien, qui représentent alors 41% des matières premières données aux animaux d'élevage. Les interrogations sur la dépendance des élevages au soja sont particulièrement nombreuses. Bien que ce dernier aie un très bon profil d'acides aminés et soit disponible en grande quantité à faible prix, les problèmes environnementaux liés à l'utilisation des OGM ou à la déforestation pour les plantations de soja font de l'utilisation de protéines de soja une ressource peu durable. De plus, les élevages d'insectes consomment beaucoup moins d'eau que les plantations de soja ou les élevages de viande,⁶ ce qui paraît particulièrement important dans l'avenir où l'eau douce sera une ressource rare et limitante⁷. Toutefois, la production mondiale en 2016 des protéines de soja correspondait à 100 millions de tonnes, alors que la prévision des protéines d'insectes pour 2025 est de 1,4 millions de tonnes, donc très petit à côté du soja. Vouloir remplacer le soja par les insectes est donc un peu utopique argue Patricia Le Cadre.

Conclusion

Les acteurs de la filière de production d'insectes sont de plus en plus nombreux et le sujet commence même à intéresser des équipementiers, tels que Flottweg, Haarslev ou encore HF groupe tous trois présents au colloque Insectinov2. Ce colloque a également amorcé des partenariats entre les acteurs présents, c'est le cas de Entomo Farm et Ovalie innovation⁸

Marc Bardinal, ADEME, résume bien les déterminants de la réussite de la filière : minimiser les risques sanitaires, diminuer les impacts environnementaux et lever les freins culturels. Sur ce dernier point, un accord a été signé entre l'entreprise InnoVaFeed et Auchan quelques jours après le colloque pour lancer une gamme de poissons nourris aux insectes⁹. Les insectes se rapprochent de cette façon de l'assiette du consommateur. Plusieurs projets de recherche sont également en cours à l'échelle européenne et nationale tels que inDIRECT (Belgique), inVALUABLE (Danemark) et DESIRABLE (ANR, France). Ces projets cherchent à faire avancer les connaissances scientifiques pour créer une industrie durable et efficace pour la production de protéines animales à base d'insectes.

Enfin, sur les 2000 espèces d'insectes consommés par l'homme dans le monde, soit 0,2 % de toute la diversité d'insectes qui existe sur notre planète, seules 10 espèces sont élevées actuellement dans l'occident, comme le grillon domestique, le grillon à ailes courtes, la chenille du Bombyx, criquet migrateur, ver de farine et la mouche soldat noire etc. Le potentiel est donc énorme et Philippe le Gall encourage les entrepreneurs et les chercheurs à considérer l'élevage de plus d'espèces.

6

https://www.researchgate.net/publication/283624505_Mealworms_for_Food_A_Water_Footprint_Perspective

⁷ <http://www.fao.org/docrep/018/i3253e/i3253e00.htm>

⁸ <https://presselib.com/lentomologie-service-de-lagriculture-partenariat-a-ete-signé-entre-ovalie-innovation-filiale-rd-de-maisadour-vivadour-start-up/>

⁹ https://www.auchan-retail.com/uploads/files/modules/articles/1508331801_59e751193843f.pdf