



MINISTÈRE  
DE LA TRANSITION  
ÉCOLOGIQUE,  
DE L'ÉNERGIE, DU CLIMAT  
ET DE LA PRÉVENTION  
DES RISQUES

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

# QUELLE ALIMENTATION HUMAINE POUR DEMAIN ?

## LES « NOUVEAUX ALIMENTS » : LE CAS DES INSECTES ET DES MICROALGUES



COMITÉ de la PRÉVENTION  
et de la PRÉCAUTION

## **Contributeurs :**

**Isabella Annesi-Maesano**

**Cécile Chevrier**

**Bruno Frachon**

**Alain Grimfeld**

**André-Jean Guérin**

**Frédéric Jorand**

**Armand Lattes**

**Francelyne Marano**

**Bernard Salles**

## **Coordination éditoriale :**

**Alain Grimfeld**

**Martin Rémondet**

## Le Comité de la prévention et de la précaution (CPP)

Créé en juillet 1996 et actif depuis, le Comité de la prévention et de la précaution (CPP) est composé d'une vingtaine de personnalités scientifiques reconnues pour leurs compétences dans les domaines les plus divers de l'environnement et de la santé. Cette composition illustre une volonté d'interdisciplinarité et de liaison active entre la recherche et la société civile.

Présidé par le professeur Alain Grimfeld, il se trouve actuellement fondé sur le décret du 26 décembre 2014, pris en application de la loi du 13 avril 2013 relative à l'indépendance de l'expertise en matière de santé publique et à la protection des lanceurs d'alerte. Il y figure au titre de comité spécialisé de la Commission nationale de la déontologie et des alertes en matière de santé publique et d'environnement.

Les travaux du Comité de la prévention et de la précaution ont depuis sa création pour objectif de proposer une expertise indépendante et

pluraliste en appui aux politiques publiques. Le comité a dès lors plusieurs missions :

- Contribuer à mieux fonder les politiques du ministère en charge de l'environnement sur les principes de précaution et de prévention ;
- Exercer une fonction de veille, d'alerte et d'expertise pour les problèmes de santé liés aux perturbations de l'environnement ;
- Faire le lien entre, d'une part, les actions de recherche et les connaissances scientifiques et, d'autre part, la décision publique et l'action réglementaire ;
- Formuler des avis, soit à la demande du ministre, soit par auto-saisine.

L'animation du Comité de la prévention et de la précaution et son secrétariat scientifique sont assurés par le service de la recherche et de l'innovation du ministère de la Transition écologique. Depuis sa séance inaugurale du 5 septembre 1996, il se réunit en séance plénière tous les mois ; le comité a publié à ce jour 22 avis et rapports.

Le Comité est à ce jour (arrêté du ministre d'Etat, ministre de la transition écologique et solidaire, en date du 16 février 2018) composé de :

Mme Isabella Annesi-Maesano ; M. Frédéric Bois ; M. Philippe Boudes ; Mme Cécile Chevrier ;  
Mme Christel Cournil ; M. Bruno Frachon ; M. Patrick Gaudray ; M. Alain Grimfeld ;  
M. André-Jean Guérin ; M. Philippe Hubert ; M. Pierre-Benoît Joly ; M. Frédéric Jorand ;  
M. Jean-Jacques Lataillade ; M. Armand Lattes ; M. Hervé Le Treut ; M. Clément Mabi ;  
Mme Francelyne Marano ; M. Charles Ollion ; M. Bernard Salles ; M. Jean-François Silvain ;  
M. François-Guy Trébulle ; M. Jacques Varet ; M. David Volle.



# Table des matières

<b>1</b>	<b>Préambule.....</b>	<b>6</b>
1.1	Motif de l’auto-saisine du CPP.....	6
1.2.	Quelles sont les données qui poussent à s’intéresser aux insectes et aux microalgues en termes d’alimentation humaine « d’avenir » ?.....	7
<b>2.</b>	<b>La réglementation des nouveaux aliments.....</b>	<b>10</b>
2.1.	Cadre général.....	10
2.2.	Concernant les insectes.....	11
2.3.	Concernant les microalgues.....	13
<b>3.</b>	<b>Aspects nutritionnels et risques associés à la consommation d’insectes et microalgues.....</b>	<b>15</b>
3.1.	En termes sanitaires.....	15
3.1.1.	Les insectes.....	15
3.1.2.	Les microalgues.....	25
3.2.	En termes environnementaux.....	27
3.2.1.	Les enjeux d’une alimentation plus durable.....	27
3.2.2.	Retentissement sur les changements climatiques.....	32
3.2.3.	Impacts environnementaux.....	32
<b>4.</b>	<b>Synthèse.....</b>	<b>36</b>
4.1.	Avantages / Inconvénients des nouveaux aliments vs. les aliments traditionnels.....	36
4.1.1.	Concernant les insectes.....	36
4.1.2.	Concernant les microalgues.....	37
4.2.	Impacts économiques et sociaux (notamment d’ordre professionnel).....	38
4.2.1.	Incidences éthiques des orientations alimentaires collectives.....	38
4.2.2.	Incidences professionnelles.....	40
4.2.3.	Aspects sociologiques.....	42
<b>5.</b>	<b>Conclusion.....</b>	<b>44</b>
5.1.	Actions de prévention et de précaution.....	44
5.2.	Recommandations in fine du CPP.....	45
	<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>48</b>
	<b>ANNEXES.....</b>	<b>54</b>
	Annexe 1. L’approche HACCP (analyse des risques et points de contrôle critiques).....	54
	Annexe 2. Sentience des insectes.....	54
	Annexe 3. Aspects industriels de la production et de la transformation des insectes.....	55
	Annexe 4. Aspects industriels de la production et de la transformation des microalgues.....	58

# 1. Préambule

## 1.1. Motif de l'auto-saisine du CPP

**Pourquoi le CPP a-t-il décidé de mener une réflexion sur les « Nouveaux aliments » ?**

**Qu'entend-on par « Nouveaux aliments » ?**

Les **nouveaux aliments** (en anglais *novel foods*) sont définis dans l'Union européenne, comme tout aliment qui n'a pas été consommé de manière significative avant le 15 mai 1997<sup>1</sup> (UE) 2015/2283 du Parlement européen et du Conseil du 25 novembre 2015, relatif aux nouveaux aliments, modifiant le règlement (UE) no 1169/2011 du Parlement européen et du Conseil et abrogeant le règlement (CE) no 258/97 du Parlement européen et du Conseil et le règlement (CE) no 1852/2001 de la Commission). Parmi les catégories d'aliments qui constituent de nouveaux aliments on peut citer les insectes entiers et leurs parties, ainsi que « les denrées alimentaires dont la structure moléculaire est nouvelle ou a été délibérément modifiée, ainsi que les denrées alimentaires dérivées de cultures cellulaires ou tissulaires obtenues à partir d'animaux, de végétaux, de micro-organismes, de champignons ou d'algues, ou encore dérivées de matériaux d'origine minérale. Une catégorie inclut les denrées alimentaires dérivées de végétaux obtenus par génie génétique entraînant des modifications significatives de la composition ou de la structure affectant leur valeur nutritionnelle, leur métabolisme ou leur teneur en substances indésirables. La classe des nouveaux aliments inclus aussi les aliments produits grâce à de nouvelles méthodes comme les nanotechnologies » (Règlement (UE) 2015/2283 du Parlement européen et du Conseil du 25 novembre 2015).

Les discussions qui ont conduit au choix du CPP sont nées de la reconnaissance des changements d'ores et déjà observés dans les pratiques alimentaires (humaines, mais aussi concernant les animaux d'élevage) et, encore davantage, des déclarations qui annoncent ou prévoient des évolutions à venir,

voire des ruptures dans nos régimes alimentaires, de leurs conséquences sur nos comportements et de leur impact sur notre environnement. Le CPP n'a pas manqué de constater l'ampleur du sujet et des champs disciplinaires à mobiliser pour l'appréhender, ainsi que la multiplicité des organismes qui ont compétence sur ces sujets et des acteurs pouvant intervenir dans ce vaste domaine. Chacun d'eux y tient un rôle précis dans un ensemble essentiel pour assurer la sûreté et la sécurité alimentaires et pour en évaluer les incidences environnementales. Le CPP s'est donné pour objectif de porter un regard large et transversal sur ces évolutions et sur la nature des dangers et des risques qu'elles pouvaient engendrer. Le comité soulève les questions se posant à l'échelle nationale même si, en la matière, les connaissances, les normes et les échanges relatifs au système alimentaire sont, pour la plupart, de portée au minimum européenne, et plus largement internationale.

La préoccupation du CPP se trouve largement partagée en France comme au-delà de ses frontières. Il convient donc de faire le point des travaux et publications qui semblent déjà faire débats et parfois consensus. Parmi les nouveaux aliments, **le choix du Comité s'est porté sur les insectes et les microalgues**. Nous en donnerons les raisons en précisant leurs modes de production, leur qualité nutritive et leur sûreté sanitaire.

Dans un rapport en date du 28 mai 2020 (Sénat, 2020) les sénateurs Françoise CARTRON et Jean-Luc FICHET s'interrogent sur la durabilité de l'alimentation et notamment ses enjeux sanitaires et environnementaux. Ils constatent que depuis plusieurs années se développent « un grand nombre de projets d'innovations visant à introduire sur le marché des aliments ou des ingrédients alimentaires nouveaux tels les insectes et microalgues. » Ces changements seraient motivés aussi bien par une forte hausse à venir des besoins mondiaux en protéines pour l'alimentation humaine et animale<sup>2</sup> que par une réponse aux attentes des consommateurs qui souhaitent s'orienter vers des protéines alternatives aux protéines d'origine animale pour des raisons sanitaires ou environnementales, ou simplement pour favoriser la cause animale. Selon les auteurs du

<sup>1</sup> Règlement (UE) 2015/2283 du Parlement européen et du Conseil du 25 novembre 2015, relatif aux nouveaux aliments, modifiant le règlement (UE) no 1169/2011 du Parlement européen et du Conseil et abrogeant le règlement (CE) no 258/97 du Parlement européen et du Conseil et le règlement (CE) no 1852/2001 de la Commission

<sup>2</sup> Cette forte hausse est attendue si les pays émergents adoptent les régimes occidentaux caractérisés par une consommation excessive de protéines. Dans le cas contraire et si la population mondiale respecte les recommandations nutritionnelles en protéines, la production actuelle mondiale devrait être suffisante.

rapport, « l'avenir de ces nouveaux aliments reste cependant incertain, car plusieurs questions restent en suspens concernant leur prix, leurs impacts environnementaux et sanitaires, ainsi que leur acceptabilité sociale. »

On assiste au développement de deux principaux types d'aliments nouveaux (si on exclut la viande de synthèse qui se rapproche plus d'un défi technologique que d'un aliment du futur) : les insectes et les microalgues.

### **1.1.1. Concernant les insectes**

Ils sont la promesse de protéines de bonne qualité dont la consommation est déjà pratiquée quotidiennement par près de deux milliards d'individus à travers le monde. L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) s'est d'ailleurs prononcée en 2013 en faveur du développement de l'élevage d'insectes à grande échelle pour proposer une alternative à l'élevage du bétail et répondre ainsi aux besoins alimentaires d'une population mondiale en plein essor démographique tout en limitant les pressions sur l'environnement. Les perspectives de développement de cette nouvelle alimentation portent actuellement plus sur l'alimentation des animaux d'élevage que sur l'intégration directe d'insectes dans l'alimentation humaine ; la faible acceptabilité sociale et culturelle des occidentaux pour ce type d'aliment étant une des causes majeures selon la FAO (van Huis et al., 2013). L'alimentation des animaux d'élevage par des insectes pourrait concerner/concerner : i) *l'aquaculture*, autorisée par l'Union européenne depuis le 1<sup>er</sup> juillet 2017 (farines d'insectes en substitution à des farines de poisson, ces dernières étant une ressource fragile et à fort impact environnemental) ; elle est aujourd'hui compétitive avec un marché au stade de l'industrialisation où la production européenne pourrait atteindre jusqu'à 3 millions de tonnes en 2030 (contre 200 000 tonnes en 2020) ; ii) *l'alimentation des animaux d'élevage terrestres (feed)*, avec des flux gigantesques (> 1 milliard de tonnes / an) et une forte croissance des besoins en viande émanant surtout des pays émergents. La substitution de l'alimentation animale à base d'insectes aux soja actuels diminuerait nettement la déforestation mondiale. Toutefois, la compétitivité des farines d'insectes par rapport au soja et autres protéagineux de l'alimentation animale est encore à améliorer (Sénat, 2020).

### **1.1.2. Concernant les microalgues**

Les algues représentent déjà un marché mondial important qui est dominé par les microalgues (jusqu'à 9 milliards € d'ici 2030 selon un rapport de la coalition *Seaweed for Europe*, Vincent et al., 2020). Si les macro-algues sont riches en sels minéraux elles sont assez pauvres en protéines (protéines de surcroît relativement peu assimilables) ; on les retrouve majoritairement comme agent de texture dans l'alimentation. Les microalgues en revanche sont très riches en protéines (et contiennent en outre l'ensemble des acides aminés essentiels), ainsi que d'autres nutriments ; elles sont actuellement surtout utilisées dans l'alimentation animale (aquaculture) et humaine (compléments alimentaires), mais elles intéressent d'autres marchés comme l'industrie pharmaceutique et cosmétiques, la chimie verte, la bioremédiation et les bio-énergies.

**Au terme de ce travail, le CPP avance des recommandations, et propose, le cas échéant, des sujets nécessitant à son avis l'entrée dans un régime de prévention ou de précaution.**

## **1.2. Quelles sont les données qui poussent à s'intéresser aux insectes et aux microalgues en termes d'alimentation humaine « d'avenir » ?**

D'ici trente ans, il est prévu que nous soyons neuf milliards d'êtres humains sur terre. D'après la FAO (van Huis et al., 2013), chaque année, plus d'un tiers de la production alimentaire mondiale est gaspillé ou jeté et seulement 20 % des déchets générés sont valorisés de manière biologique. En France, près de 20 millions de tonnes de biodéchets sont générés par an. La gestion de ces biodéchets est particulièrement polluante tout comme la production de protéines animales qui génère une quantité de gaz à effet de serre significative notamment par l'intermédiaire de l'élevage, à l'origine de 14,5 % de ces émissions. Parallèlement, la superficie des terres agricoles a tendance à reculer. Ce sont là deux facteurs qui, s'ils se poursuivent, contribueront au développement d'une crise alimentaire de masse. Ainsi, nous avons besoin de développer de nouvelles sources de protéines pour l'alimentation humaine. Une des voies envisagées consiste à valoriser la production d'insectes qui représente

une source de protéines à la fois pour l'alimentation humaine et aussi animale. De plus, certains des insectes comestibles sont détritivores et peuvent donc contribuer à valoriser nos biodéchets. L'élevage des insectes et la production de farines ont rapidement progressé en termes de financements et donc de quantités produites. Outre leurs apports nutritionnels intéressants, l'autre atout des insectes est leur impact écologique positif. Ainsi, l'élevage des insectes comparativement aux bovins : 1) réduirait la production de gaz à effet de serre, et 2) requiert proportionnellement, pour une même quantité de nutriments produite, beaucoup moins, d'une part de nourriture et d'eau, et d'autre part d'espace, que l'élevage de bovins ou de volailles (van Huis et al., 2013).

### Les avantages nutritionnels des insectes

**Les insectes sont très nombreux sur Terre et ne consomment qu'une infime partie des ressources naturelles.** 1900 espèces sont considérées comme comestibles. Les insectes sont riches en protéines essentielles, en oméga 3, 6 et 9, et ils apportent de nombreux oligo-éléments et vitamines.

Les insectes sont loin de représenter une part substantielle de l'alimentation des populations occidentales. Mais un tournant semble s'amorcer dans l'Union européenne. Ainsi, l'Agence fédérale pour la Sécurité de la Chaîne alimentaire (Afsca, Belgique) avait décidé en 2014 de tolérer la mise sur le marché de dix espèces d'insectes (Afsca, 2014). La liste reflète ce qui était déjà consommé sur le territoire à la suite d'une enquête menée en 2011 pour la Commission européenne (soit douze espèces). La France, au sein de l'Europe, est concernée au même titre.

Selon Paul Vantomme, co-auteur du rapport de la FAO (van Huis et al., 2013) (interview TV5 Monde) : « Ils (les insectes) ne vont pas remplacer toute notre alimentation. On va continuer à faire de l'élevage de bovins, on va continuer à manger du soja mais comme la demande va aller croissant, une partie de cette demande en protéines sera de plus en plus comblée par les insectes ». La part des insectes dans notre ration alimentaire sera progressive et se fera à différents niveaux. Ils ne seront pas obligatoirement consommés sous forme entière mais pourront surtout se retrouver sous forme de farine alimen-

taire ajoutée à la préparation des aliments. Il faudra compter sur l'éducation de notre population pour qu'elle accorde une place à ces nouveaux aliments et qu'elle oublie ses préjugés. Les populations sont capables de modifier leurs habitudes alimentaires, et comme le rappelle Paul Vantomme : « Les traditions alimentaires sont culturelles. Notre culture est évidemment traditionnelle, mais cela bouge. Aujourd'hui, on mange des sushis alors qu'il y a 20 ou 30 ans on ne mangeait pas de poisson cru ». Les insectes devront apparaître dans l'industrie agro-alimentaire, notamment du fait du faible impact environnemental de leur élevage ; « La production de méthane par l'élevage d'insectes est par exemple infime par rapport à celle des porcs ou des bovins » (Paul Vantomme). C'est un point non négligeable dans la lutte contre le réchauffement climatique.

### Pourquoi s'intéresser aux microalgues ?

Le terme microalgue, parfois appelée microphyte, désigne les algues microscopiques unicellulaires photosynthétiques dont la taille varie du micron à quelques centaines de microns. Dans ce groupe, qui n'est en rien un groupe taxinomique, on range aussi bien les algues procaryotes (ou algues bleu-vert, principalement les cyanobactéries) que des algues eucaryotes, de taille plus importante. La diversité des espèces de ce groupe hétérogène est bien plus vaste que celle des plantes supérieures terrestres. Ces organismes occupent des habitats extrêmement variés, qui va de pair avec leur large capacité métabolique : des sources hydrothermales aux lacs hyper salés en passant par les glaciers et les déserts, en symbiose ou pas avec d'autres organismes. Elles seraient parmi les espèces vivantes les plus anciennes sur Terre, étant apparues il y a quelque 2,5 milliards d'années. Parmi les 30 000 espèces connues d'algues (on estime qu'il pourrait y en avoir jusqu'à un million, inconnues pour la plupart) une dizaine seulement est exploitée industriellement (Bonfond et al., 2020).

Elles se caractérisent d'une part par leur **croissance rapide** (bien supérieure à celle des plantes terrestres et qui ne nécessite pas de sols agricoles fertiles), et d'autre part par leur **richesse en acides gras polyinsaturés, protéines, pigments, polysaccharides, vitamines et sels minéraux** et par des propriétés qui intéressent d'autres secteurs que la nutrition.

## Les microalgues, un produit alimentaire à forte valeur ajoutée

Selon Anabela Raymundo, Ingénieure en agroalimentaire à l'Université de Lisbonne : « C'est extrêmement important de trouver des sources alimentaires alternatives qui sont non seulement durables, mais qui apportent aussi un avantage nutritionnel pour les consommateurs. Les microalgues sont des ingrédients particulièrement importants parce qu'elles sont riches à la fois en protéines et en composés bioactifs. Donc elles représentent une source nutritionnelle qui peut trouver plusieurs applications alimentaires. »

### Les coproduits algaux : « huiles végétales », protéines, pigments et vitamines

En dehors de l'apport de protéines qui peuvent se substituer aux protéines animales, les microalgues représentent une source potentielle de nutriments essentiels ou ayant des propriétés médicales. Ainsi, les microalgues contiennent des teneurs significatives en acides gras polyinsaturés oméga 3 comme l'acide docosahexaénoïque (DHA) ou l'acide eicosapentaénoïque (EPA) qui sont deux des trois oméga 3 nécessaires au bon fonctionnement de l'organisme. La spiruline peut contenir des teneurs intéressantes en DHA mais c'est surtout par d'autres algues plus riches en DHA et / EPA, que ces AG sont produits sous forme d'huile alimentaire (e.g. *Schizochytrium sp.*, autorisée par l'UE en 2015, **Journal officiel de l'UE, 2015/545, 31 mars 2015, règlement (CE) no 258/97**). Les microalgues seraient alors des alternatives intéressantes aux poissons pour l'apport d'oméga 3, comme complément alimentaire ou comme aliment pour les poissons d'élevage<sup>3</sup>.

*Arthrospira* (spiruline) contient la C-phyco-cyanine un **pigment bleu** qui est responsable de la coloration bleu-vert de ces algues. Il est rapporté que cette molécule agit sur le système immunitaire, a des propriétés hépato-protectrices et protège les cellules contre l'atteinte des radicaux libres, et anti-inflammatoire (Abert Vian, 2021).

Enfin, *Dunaliella salina* est cultivée notamment pour la production de  $\beta$ -carotène, ou pro-vitamine A.

Parmi les microalgues, *Arthrospira platensis* (« spiruline ») et *Chlorella sp.* (« chlorelle ») sont les plus

cultivées et représentent respectivement 7 000 et 4 000 tonnes par an soit plus des  $\frac{3}{4}$  de la production mondiale de microalgues estimée à 15 000 tonnes par an, en masse sèche, selon Kazbar et al. (2021). Nous nous baserons essentiellement sur ces deux groupes de microalgues dans ce rapport.

### La spiruline

La spiruline est le nom d'un aliment à base de cyanobactéries (ou « algues bleues », organismes unicellulaire procaryotes) du genre *Arthrospira* (encore appelée *Spirulina*). On la trouve naturellement dans les eaux salées ou saumâtres (Ötles et Pire, 2001). La plus commercialisée est *Arthrospira platensis*. Par extension le nom « spiruline » désigne aussi ces micro-organismes. La spiruline est désignée comme une source de protéines, de vitamines et d'oligoéléments notamment de fer assimilable. On la consomme sous forme séchée, comme complément alimentaire, mais aussi de plus en plus comme constituant de préparations alimentaires industrielles.

### La chlorelle

La chlorelle (*Chlorella luteoviridis*, *Chlorella pyrenoidosa*, *Chlorella vulgaris*)

Chlorelle est le nom donné aux algues vertes unicellulaires eucaryotes (ou chlorophytes) utilisées dans l'alimentation. Le genre, *Chlorella*, a été décrit pour la première fois en 1890 par le biologiste hollandais M. W. Beijerinck qui réalisa la première culture expérimentale d'algue. Les chlorelles concernent généralement trois espèces : *Chlorella luteoviridis*, *Chlorella pyrenoidosa*, et *Chlorella vulgaris* (famille *Chlorellaceae*). Ce sont des algues d'eau douce qui sont considérées comme présentant de fortes concentrations en chlorophylle, en protéine et en vitamine B12 biodisponible. Les chlorelles sont traditionnellement consommées au Japon (90 % de la consommation mondiale).

**Il faut souligner que les activités biologiques des protéines et lipides végétaux citées sont essentiellement indicatives. Elles n'ont pas été soumises à des études d'efficacité et de tolérance comme celles exigées pour l'enregistrement d'un produit médicamenteux.**

<sup>3</sup> Les teneurs en oméga 3 des poissons dits « gras » dépend essentiellement de leur alimentation et non de leur capacité à les synthétiser. Ils trouvent en effet dans leur alimentation naturelle des microorganismes riches en acides gras essentiels (bactéries, microalgues). Ces acides gras, tels les oméga 3, sont ajoutés dans la ration alimentaire des poissons d'élevage et leur proportion a tendance à diminuer pour des raisons économiques, ils représenteraient alors des sources de moins en moins intéressantes en acide gras essentiels.

## 2. La réglementation des nouveaux aliments

### 2.1. Cadre général

#### Le Codex Alimentarius

Les normes alimentaires, les lignes directrices et les codes d'usages internationaux concernant les denrées alimentaires, sont détaillées dans le Codex Alimentarius créé en 1963 par l'ONU pour l'alimentation et l'agriculture et l'OMS pour la santé. L'UE et ses Etats membres participent aux négociations conduisant seulement à des recommandations qui, malgré leur caractère discrétionnaire, sont souvent à l'origine des législations nationales.

C'est ainsi qu'en février 2022, le Conseil européen a approuvé des conclusions sur des normes en matière de sécurité alimentaire pour le commerce international, appelant à une meilleure intégration des questions de durabilité dans les travaux de la Commission du Codex Alimentarius.

#### Évolution de la réglementation européenne et prise en compte des nouveaux aliments

Rappelons que l'on désigne par « nouveaux aliments » ceux qui n'ont pas d'historique de consommation dans l'Union européenne avant le 15 mai 1997 ou dont le procédé d'obtention n'avait pas été mis en œuvre à cette date. La réglementation appliquée aux nouveaux aliments a été établie en 2015 (Règlement UE 2015/2283 du Parlement européen et du Conseil du 25 novembre 2015). Tout aliment ou ingrédient alimentaire qui correspond à la définition du règlement européen 2015/2283 doit faire l'objet d'une demande d'autorisation.

Il y a deux modalités de soumission de dossier dans la réglementation « nouveaux aliments » :

- la procédure simplifiée quand le nouvel aliment peut être considéré comme équivalent en substance à un aliment existant : dans ce cas le dossier est examiné par l'administration nationale compétente (la DGCCRF en France),
- et la procédure complète quand il n'y a pas d'équivalence en substance.

La liste des dossiers acceptés ou rejetés par la Commission selon la procédure complète figure

sur le site <https://ec.europa.eu/food/food-feed-portal/screen/novel-food-catalogue/search>. À la place de l'approbation selon le Règlement 2015/2283, certains nouveaux ingrédients alimentaires peuvent être approuvés à titre d'additifs alimentaires pour lesquels les études de toxicité et d'efficacité sont plus poussées mais aussi le marché potentiel plus important.

À la suite de l'adoption du Règlement UE 2015/2283, la Commission européenne a demandé à l'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA) de mettre à jour et d'élaborer des orientations scientifiques et techniques pour la préparation et la présentation des demandes d'autorisation des nouveaux aliments.

Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2018, la Commission européenne est chargée de leur autorisation et, dans le cadre de cette procédure, peut demander à l'EFSA de réaliser une évaluation scientifique du risque afin d'établir leur sécurité. Pour que le nouvel aliment soit autorisé à la vente il ne doit présenter aucun risque pour la santé, d'après les données scientifiques disponibles, mais aussi son utilisation prévue ne doit pas entraîner un déséquilibre nutritionnel. En 2018, l'EFSA a publié un document d'orientation à l'attention des demandeurs ainsi que le premier avis sur un concentré peptidique de crevette en suivant les nouvelles procédures.

Les exigences qui devraient être couvertes dans toutes les demandes portent comme rapporté dans le Règlement UE 2015/2283 sur la description de l'aliment nouveau, le procédé de production, les données détaillées sur la composition, les spécifications, les utilisations proposées et les niveaux d'utilisation, et la consommation prévue de l'aliment nouveau.

D'autres sections sur les antécédents d'utilisation de l'aliment nouveau et/ou sa source, son absorption, sa distribution, son métabolisme, son excrétion, les renseignements nutritionnels, les renseignements toxicologiques et le caractère allergénique doivent être prises en considération par défaut par le demandeur. Si la demande n'est pas visée, cela devrait être justifié.

Le demandeur doit intégrer les données présentées dans les différentes sections afin de présenter ses considérations générales sur la façon

dont l'information appuie l'innocuité du nouvel aliment dans les conditions d'utilisation proposées. Lorsque des dangers pour la santé ont été identifiés, ils devront être discutés en fonction des apports prévus de l'aliment nouveau et des populations cibles proposées. Sur la base des informations fournies, l'EFSA évaluera la sécurité du nouvel aliment dans les conditions d'utilisation proposées.

En **2019**, le règlement relatif à la transparence et à la pérennité de l'évaluation des risques de l'Union dans la chaîne alimentaire (UE) 2019/1381 modifie les règlements antérieurs ((CE) n° 178/2002, (CE) n° 1829/2003, (CE) n° 1831/2003, (CE) n° 2065/2003, (CE) n° 1935/2004, (CE) n° 1331/2008, (CE) n° 1107/2009, (UE) 2015/2283 et la directive 2001/18/CE). Le catalogue « *Novel Food* » est accessible par le lien : <https://ec.europa.eu/food/food-feed-portal/screen/novel-food-catalogue/search>

## 2.2. Concernant les insectes

### Textes réglementaires concernant l'élevage des insectes en France

En France, il existe une réglementation concernant l'élevage des espèces non domestiques ou sauvages : « tout élevage lucratif de quelque espèce non domestique que ce soit est soumis à une obligation de certificat de capacité d'élevage et autorisation préfectorale d'ouverture d'établissement d'élevage », d'après le Code de l'environnement. Comme le souligne l'Anses (2014) : « Les insectes relevant de la réglementation «faune sauvage captive», le fait d'exploiter un établissement d'élevage professionnel d'insectes nécessite donc l'octroi préalable d'un certificat de capacité d'élevage et une autorisation préfectorale d'ouverture évoquées aux articles L.413-2 et 3 du Code de l'environnement. Il est également nécessaire d'attester d'une certaine expérience et connaissance préalable concernant les espèces sollicitées, en vertu de l'arrêté du 12 décembre 2000. »

Enfin, l'Anses souligne qu'au niveau européen, l'alimentation des insectes doit être considérée au même titre que la législation générale *appliquée aux animaux d'élevage destinés à la production d'aliments*. Ainsi, conformément à l'article 3.6 du Règlement européen n°1069/2009, « tout animal détenu, engraisé

ou élevé par les êtres humains et utilisé pour la production d'aliments » est un animal d'élevage (Règlement UE n°1069/2009). En particulier, ces animaux ne peuvent pas être alimentés avec des matières premières interdites en alimentation animale. »

Au niveau national, il n'existe par ailleurs aucune mesure de protection animale spécifique aux insectes élevés en captivité, et cela contrairement à d'autres animaux d'élevage.

### Réglementation européenne concernant l'alimentation animale

La réglementation sur les substances indésirables dans les aliments pour animaux (Directive 2002/32/CE) n'exclut pas les insectes en tant que matière première soumise aux exigences *ad hoc*.

Les producteurs et distributeurs d'insectes et/ou de produits dérivés d'insectes relèvent de la réglementation relative à l'hygiène des denrées alimentaires (Règlement CE n° 852/2004), plus précisément celles d'origine animale (Règlement CE n° 854/2004) et de celle sur les aliments pour animaux (Règlement CE n° 183/2005). La réglementation sur les sous-produits animaux et les produits dérivés (Règlement CE n° 1069/2009) s'applique aux insectes qui ne sont pas pathogènes pour l'homme.

Selon la réglementation européenne (Règlement UE n°1069/2009), les insectes, lorsqu'ils sont non pathogènes pour l'homme, peuvent être utilisés dans les formulations d'aliment destinés aux animaux. En tant qu'invertébrés ils sont considérés comme des matières de catégorie 3.

Pour les animaux de rente ils doivent avoir été transformés en protéines hydrolysées via un processus validé d'hydrolyses chimiques ; pour les animaux de compagnie ils doivent avoir été transformés selon certaines conditions, et utilisés tel quel pour les animaux à fourrure, de zoo, de cirque et pour les autres animaux sauvages détenus (l'obtention d'une dérogation nationale et une autorisation spécifique est cependant nécessaire).

Le Règlement UE n°68/2013 indique également que « les invertébrés terrestres entiers ou non autres que les espèces pathogènes pour l'être humain ou les animaux » peuvent constituer des matières premières pour l'alimentation animale.

**Concernant les insectes destinés à l'alimentation humaine**, leur mise sur le marché est visée par le **Règlement CE n° 258/1997**, relatif aux nouveaux aliments et nouveaux ingrédients alimentaires. Depuis le 25 novembre 2015 c'est le Règlement UE n° 2015/2283 qui s'applique à toutes les catégories d'aliments qui « n'étaient pas utilisés de manière significative pour la consommation humaine au sein de l'Union européenne avant le 15 mai 1997 » (déjà cité), ce qui est le cas des insectes.

Entré en vigueur le 1<sup>er</sup> janvier 2018 la production et la commercialisation d'insectes destinés à l'alimentation en Europe sont régies par cette législation sur les « Novel Food » et ils doivent requérir une autorisation de la Commission européenne avant leur mise en vente.

« La mise sur le marché d'insectes pour la consommation humaine est subordonnée soit au dépôt d'une demande d'autorisation et à la démonstration de l'innocuité pour le consommateur ; soit à la démonstration d'une consommation significative de la denrée avant 1997 dans l'UE. »

L'article 35.2 du Règlement UE 2015/2283 prévoit une mesure transitoire qui vise à garantir que les produits qui ont été légalement commercialisés dans un État membre de l'UE avant le 1<sup>er</sup> janvier 2018, à la date d'application de la nouvelle législation des aliments, peuvent rester sur le marché de ce pays particulier pendant une période donnée, sous réserve de certaines conditions. Ainsi, certains pays comme les Pays-Bas et la Belgique ont permis aux producteurs, transformateurs et distributeurs de continuer à commercialiser leurs produits à base de criquets, punaises et autres larves en attendant que l'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA) rende ses premières évaluations de risques. Plusieurs enseignes (en Autriche, en Belgique, au Danemark et aux Pays-Bas) se sont depuis lancées dans la commercialisation de produits à base d'insectes destinés à l'alimentation des humains.

À l'heure actuelle, ce sont les organismes des États membres chargés d'évaluer les risques et une demande d'autorisation préalable à la mise sur le marché, qui interviennent en premier lieu. Il s'agit de la Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression

des fraudes (DGCCRF) pour la France. La procédure est la suivante comme le rappelle l'Anses dans son rapport de 2014 : « *Lorsqu'un aliment est considéré par la DGCCRF comme entrant dans le champ d'application du Règlement n°258/97, elle émet un avis, en s'appuyant sur l'expertise de l'Anses (favorable ou défavorable, avec ou sans réserve et conditions), sous forme d'un rapport d'évaluation initiale qui est transmis à la Commission européenne. La Commission diffuse ensuite ce rapport d'évaluation initiale à l'ensemble des États membres, pour commentaires et objections.*

*Si aucune objection de sécurité motivée n'est soumise, l'avis de la DGCCRF est entériné et le nouvel aliment peut être mis ou non sur le marché. Si des objections de sécurité motivées, ou d'autres objections sur les conclusions de l'avis sont présentées, une décision de la Commission portant autorisation de mise sur le marché est requise, ce qui suppose dans la plupart des cas une évaluation supplémentaire menée par l'EFSA. »*

Les nouveaux aliments autorisés ou refusés pour la mise sur le marché européen font l'objet d'une publicité de la part de l'Union Européenne. Un nouvel aliment autorisé peut être proposé dans tous les États membres. Les autorisations sont accordées à une entreprise pour un produit alimentaire à base d'insectes. Si l'autorisation est basée sur des données protégées, le demandeur initial a *de facto* le droit exclusif de commercialiser le produit alimentaire pour insectes respectif pendant cinq ans.

C'est le cas de SAS<sup>4</sup> EAP Group Agronutris et Fair Insects B.V., dont la protection des données a été demandée pour une autorisation, et a été accordée. En conséquence, dès l'entrée en vigueur de l'autorisation, la société a reçu *de facto* le droit exclusif de commercialiser les produits couverts par ses dossiers sur le marché de l'UE pour une période de cinq ans, sauf décision contraire de la société. Pourtant, d'autres producteurs de la même espèce peuvent demander une autorisation de mise sur le marché du même nouvel aliment s'ils ne font pas référence aux preuves scientifiques ou aux données scientifiques exclusives protégées, par exemple en proposant un nouveau procédé.

**En janvier 2023** six autorisations relatives à une-

---

4 Société par actions simplifiées

*Novel Food* sont entrées en vigueur pour les insectes comestibles, en suivant la chronologie ci-après.

- À la suite du 1<sup>er</sup> avis de l'EFSA (janvier 2021), l'Union européenne a autorisé, le **4 mai 2021** la mise sur le marché de formulations congelées et séchées à partir du ver de farine (larve de *Tenebrio molitor*). Le demandeur a proposé que ce nouvel aliment soit utilisé sous forme congelée ou séchée (insecte entier), ou sous forme de poudre, et utilisé comme ingrédient à des préparations alimentaires telles que des barres de céréales, des pâtes, des imitations de viande et des produits de boulangerie ciblant la population générale. Etant donné que le nouvel aliment ne sera pas la seule source de protéines alimentaires, l'EFSA a jugé que sa composition et ses conditions d'utilisation ne pénalisent pas le consommateur sur le plan nutritionnel. Bien que les études de toxicité n'aient pas soulevé de problèmes de sécurité, l'EFSA a cependant considéré que sa consommation peut induire une sensibilisation primaire et des réactions allergiques aux protéines de ver de farine chez les sujets allergiques aux crustacés et aux acariens. Il est conclu cependant que le ver de farine est sûr dans le cadre des utilisations proposées (EFSA, 2021). Il s'agit de la première autorisation de mise sur le marché d'insectes en tant qu'aliment. Le règlement relatif aux nouveaux aliments est entré en vigueur en **juin 2021**.
- Par suite du 2<sup>e</sup> avis positif (**juillet 2021**), la Commission européenne, le **15 novembre 2021**, a autorisé le **criquet migrateur** (*Locusta migratoria*) séché et congelé en tant que nouvel aliment.
- Pour donner suite aux 3<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> avis de l'EFSA d'août **2021**, la Commission européenne a publié, le 8 février **2022**, la **deuxième autorisation du ver de farine jaune** (larve de *Tenebrio molitor*) congelé, séché et en poudre puis, le 11 février **2022**, la première autorisation du **grillon domestique** (*Acheta domesticus*) séché, moulu et congelé. Les autorisations sont entrées en vigueur respectivement le 28 février et le 2 mars **2022**.
- L'Union européenne a adopté un texte encadrant le commerce et la consommation de ces nouvelles denrées, avec le Règlement

d'exécution de l'Union européenne 2002-1322 de la Commission du 25 juillet 2022.

- En **mai 2022**, l'EFSA a publié le **5<sup>e</sup> avis** sur les insectes comestibles, à savoir sur le **grillon domestique** entier partiellement dégraissé (*A. domesticus*). Le règlement d'exécution de la Commission autorisant le **grillon domestique** en tant que nouvel aliment a été publié le 4 janvier 2023.
- A la suite du **6<sup>e</sup> avis** positif de l'EFSA du **4 juillet 2022**, la Commission européenne a publié, le **6 janvier 2023**, l'autorisation des formulations congelées et lyophilisées du **petit ver de farine** (*Alphitobius diaperinus*) en tant que *Novel Food*. L'autorisation est entrée en vigueur le 26 janvier 2023.

## 2.3. Concernant les microalgues

Comme nous le verrons, les microalgues sont des sources intéressantes de protéines et de fibres mais également une source de vitamines A, B, C et B12, ainsi qu'une source de lipides dont les acides gras oméga 3 et oméga 6, qui sont des acides gras essentiels que le corps humain ne peut pas produire seul.

Avec des centaines de milliers d'espèces et de variétés, les microalgues sont porteuses de grandes promesses en matière de valorisation industrielle. Il n'est pas étonnant que l'exploitation durable des ressources qu'elles représentent soit un domaine en pleine expansion nécessitant une surveillance accrue encadrée par des règlements destinés, en particulier, à protéger la santé des consommateurs.

L'introduction sur le marché de produits alimentaires utilisant des microalgues entières ou des produits comprenant des microalgues est soumise à des réglementations qui s'appliquent à tous produits alimentaires. Il s'agit du règlement de la Communauté européenne sur la sécurité alimentaire (CE 178/2002), publié en 2002, qui couvre toutes les étapes de la production et de la distribution des denrées alimentaires. Ce règlement a également créé l'Autorité européenne de **sécurité des aliments** (EFSA).

Comme pour les insectes, en Europe c'est l'EFSA qui doit évaluer la sécurité de tout nouvel aliment avant d'être distribué aux consommateurs. **Il n'existe pas au niveau européen de réglementation spécifique relative aux microalgues alimentaires.** Comme dans le cas des insectes, le caractère « consommable » d'une microalgue en Europe est lié à la légis-

lation dite « *Novel Food* ». Comme nous l'avons déjà signalé, cette dernière s'applique aux aliments et ingrédients qui n'ont pas été consommés de façon significative en Europe avant le 15 mai 1997. Le texte développé ci-dessus pour les insectes s'applique directement aux microalgues :

- l'entrée de nouvelles espèces de microalgues est contrôlée par le Règlement UE n° 2015/2283, qui autorise celles qui ont été utilisées comme aliments dans l'UE avant le 15 mai 1997 ;
- l'entrée de nouvelles espèces qui n'ont pas été utilisées comme aliments dans l'UE avant le 15 mai 1997 nécessite une autorisation préalable. La procédure de demande d'autorisation de mise sur le marché au sein de l'UE d'un nouvel aliment et de mise à jour de la liste de l'Union figure au Journal officiel de l'UE (L327) ;
- enfin, pour certaines espèces non utilisées en Europe mais qui sont considérées comme des aliments traditionnels dans les pays en développement, un statut « d'aliment traditionnel » peut être accordé si un historique d'utilisation sûre des aliments pendant au moins 25 ans peut être prouvé. Ce statut facilite l'accès au marché de l'UE pour certaines espèces sous réserve que certaines spécifications soient respectées.

### **Microalgues autorisées pour un usage alimentaire dans l'Union européenne**

#### **Utilisées avant mai 1997**

*Arthrospira platensis*, *Chlorella luteoviridis*, *Chlorella pyrenoidosa*, *Chlorella vulgaris*, *Aphanizomenon flos-aquae*.

#### **Non utilisées avant mai 1997 et année d'approbation (*Novel Food*)**

*Odontella aurita* (2005), *Ulkenia sp.* (2009), *Tetraselmis chuii* (2014), *Haematococcus pluvialis* (2014), *Schizochytrium sp.* (2015).

En outre, quelques extraits de microalgues sont aussi admis comme non *Novel Food*, notamment l'extrait d'huile de *Ulkenia sp.* et *Schizochytrium sp.* et l'astaxanthine de *Haematococcus pluvialis*.

### **Compléments alimentaires**

Pour être commercialisé en France, un complément alimentaire doit préalablement avoir fait l'objet d'une déclaration de mise sur le marché auprès de la Direction Générale de l'alimentation (DGAL). Cette déclaration est obligatoire depuis mars 2006.

### **Arrêté Plantes**

Le décret n°2006-352 prévoit un encadrement spécifique pour les plantes et les préparations qui en sont issues. Au sens de ce décret et de l'arrêté du 24 juin 2014 (dit **Arrêté Plantes**) pris pour son application, les plantes sont définies de manière large et incluent les algues (y compris les microalgues).

#### **« Arrêté du 24 juin 2014 établissant la liste des plantes, autres que les champignons, autorisées dans les compléments alimentaires et les conditions de leur emploi. »**

Dans la liste des plantes apparaissent les microalgues suivantes :

*Aphanizomenon flos-aquae*, *Chlorella vulgaris*, *Arthrospira major*, *Limnospira maxima*, *Arthrospira platensis*.

Toutes sont autorisées sans restriction à l'exception de la première, plus connue sous son nom vulgaire « Algue bleu-vert du lac Klamath » dont l'usage est permis en tenant compte de la restriction suivante : *Les préparations de cette plante sont seulement autorisées s'il peut être démontré par des rapports d'analyse qu'elles ne contiennent pas de microcystine (< 1µg/g) et d'autres toxines marines.*

N.B. : La liste des micro-algues a été récemment mise à jour, le lecteur pourra consulter le document de synthèse du CEVA « Macroalgues et microalgues alimentaires – Statut réglementaire en France et en Europe »(CEVA, 2024).

### 3. Aspects nutritionnels et risques associés à la consommation d'insectes et de microalgues

Le développement à grande échelle de nouveaux aliments comme les insectes comestibles ou les micro-algues peut représenter des risques sanitaires soit directement par leur consommation soit par l'industrialisation de leur production. Un impact sur l'environnement peut résulter également du développement de ces nouveaux aliments. L'ensemble de ces aspects doit être considéré pour appréhender les risques associés aux *Novel foods*. Par ailleurs, doivent être considérées également les réelles valeurs nutritionnelles de ces aliments et leur acceptabilité sociale (retentissement sur l'alimentation vs la nutrition).

#### 3.1. En termes sanitaires

##### 3.1.1. Les insectes

Les insectes représentent une alternative dans le développement des systèmes alimentaires en réponse à la demande croissante de production de protéines dans le monde. Dès 1975, Meyer-Rochow (Meyer-Rochow, 1975) suggérait que l'élevage d'insectes pouvait offrir une solution alternative au déficit global en protéines. L'entomophilie devient une nouvelle composante du système de production alimentaire dans l'Union européenne et les insectes comestibles ont été classés parmi les animaux d'élevage.

Parmi les 1900 insectes comestibles, nous nous limiterons aux insectes destinés à la production à grande échelle caractérisée par une croissance rapide de l'espèce, une faible teneur en chitine, une bioconversion efficace, des performances de reproduction élevées, un cycle de reproduction court et de faibles besoins d'entretien. L'espèce d'insecte optimale pour la production alimentaire doit également être facile à élever, ne doit pas nécessiter d'équipement spécialisé, doit se nourrir d'un large éventail de matières, y compris les déchets de production agricole et d'industrie agroalimentaire, doit être résistante aux changements du microclimat des installations d'élevage, et présenter enfin un fort potentiel d'utilisation dans l'alimentation humaine et animale.

Au cours des deux dernières décennies, nous avons assisté à une explosion de publications sur tous les aspects des insectes en tant que nourriture. Une évaluation de l'apport des insectes d'élevage dans l'alimentation repose sur des analyses de faisabilité industrielle, de rendement économique, d'acceptabilité, de qualité nutritionnelle, de dangers microbiologiques et chimiques et de risque pour la santé.

Nous analyserons la composition et les aspects nutritionnels des insectes d'élevage et leur impact que ce soit en termes de dangers et risques ou d'effets bénéfiques pour la santé des humains ou des animaux d'élevage et de compagnie.

##### 3.1.1.1. Composition et aspects nutritionnels

###### 3.1.1.1.1. Apports caloriques

Les apports caloriques des insectes dépendent de l'espèce, du stade de leur croissance mais aussi du mode de cuisson (cru, cuit, frit, séché). Les apports énergétiques des insectes varient selon les espèces de 290 à 760 kcal pour 100 g de matière sèche. La teneur calorique de viande de mammifères diffère selon les parties consommées avec pour valeur 101 à 122 kcal/100 g pour le veau et le mouton, 144 à 231 kcal/100 g pour les volailles, 114 à 749 kcal/100 g pour le porc et 115 à 710 kcal/100 g pour le bœuf (Chizzolini *et al.*, 1999). L'intérêt d'un apport des insectes dans l'alimentation ne repose pas sur la valeur calorique mais sur la forte teneur en protéines.

###### 3.1.1.1.2. Composition

###### 3.1.1.1.2.1. Protéines

Les protéines d'origine animale sont considérées comme la référence en termes de valeur nutritionnelle pour les humains. La qualité nutritionnelle est définie comme la capacité d'une protéine à répondre aux besoins de base en acides aminés et repose sur sa composition en acides aminés et sa digestibilité. La teneur en protéines est généralement calculée à partir de l'azote total en utilisant le facteur de conversion de l'azote en protéines ( $K_p$ ) de 6,25. Mais ce facteur surestime la teneur en protéines en raison de la présence de chitine (un polysaccharide azoté) dans l'exosquelette des insectes. En conséquence, cette méthode d'évaluation basée sur l'azote est à éviter si on souhaite exprimer

mer correctement la teneur en protéines des aliments à base d'insectes.

La teneur en protéines constitue la plus grande partie de la composition nutritionnelle des insectes. Les teneurs en protéines varient de 20 à 60 g pour 100 g de matière sèche (MS) chez les lépidoptères, de 12 à 74 g pour 100 g de MS chez les orthoptères et de 20 à 69 g pour 100 g de

MS chez les coléoptères (Bessa *et al.*, 2020). La teneur en protéines peut être équivalente voire supérieure à la teneur en protéines de certaines viandes avec cependant de fortes variations selon les espèces, le stade de développement et l'alimentation des insectes (Bukkens, 1997). Pour les insectes d'élevage la teneur en protéines correspond à 42-70 % de la MS (Tableau 1).

Tableau 1. Composition nutritionnelle (% MS) et valeur énergétique (Kcal / 100 g MS) de quelques insectes (adapté de Rumpold et Schlüter, 2013 ; et de Kępińska-Pacelik et Biel, 2022)

Espèce	Stade de développement	Protéines totales	Matières grasses	Fibres	Matière minérale	Énergie
Mouche soldat noire ( <i>Hermetia illucens</i> )	Larve	42±1	26±8	7	21±6	530
Ténébrion meunier ou ver de farine ( <i>Tenebrio molitor</i> )	Larve	47	43	7.5	3	577
	Imago	70	18	3.6	4.7	450
Grillon domestique des tropiques ( <i>Gryllobates sigillatus</i> )	Imago	65	15	20	3.3	380
Grillon domestique ( <i>Acheta domesticus</i> )	Nymphe	67	14	16	4.80	414
	Imago	66	22	22	3.6	455
Grillon champêtre ( <i>Gryllus campestris</i> )	Imago	56	29	7	6	514

Si les insectes sont riches en protéines quelle est leur qualité nutritionnelle ? Par exemple, la teneur en acides aminés essentiels des grillons est comparable à celle de l'œuf, du poulet, du porc et du bœuf (Udomsil *et al.*, 2019). La caractérisation des fractions protéiques provenant de trois espèces de vers de farine et d'une espèce de criquet a été effectuée (Yi *et al.*, 2013). La teneur en protéines de ces espèces est comparable à celle de produits carnés classiques. La teneur en protéines des insectes dépend également de leur stade de développement (Ademolu *et al.*, 2010). Par exemple, l'imago du ténébrion meunier (ver de farine) présente 65 % de protéines contre 54 % pour la larve (Tableau 1). D'après la composition des protéines entre espèces, on constate que les insectes représentent une source de protéines de haute qualité avec un pourcentage et une répartition sensiblement équivalents en acides aminés essentiels par rapport aux mammifères et aux poissons (Tableau 2).

Les protéines d'insectes sont inscrites par la Commission européenne dans la catégorie des protéines animales transformées (PAP), qui sont une source de trois nutriments principaux : les protéines, les lipides et les minéraux. Ces nutriments doivent être conformes aux réglementations légales concernant la prévention et l'éradication de l'encéphalopathie spongi-

forme bovine (ESB). Ces règlements disposent que par dérogation les PAP dérivées d'insectes peuvent entrer dans la composition d'aliments pour l'aquaculture, les volailles et les porcins. La récolte d'insectes dans l'environnement naturel (habitats sauvages) n'est pas justifiable et les ressources obtenues ont une valeur marchande marginale. C'est pourquoi l'élevage de masse à grande échelle d'insectes comestibles est considérée comme une solution viable.

Tableau 2. Contenu en acides aminés essentiels (g / 100 g protéine) pour différentes espèces d'insectes et d'animaux d'élevages conventionnels (Kępińska-Pacelik et Biel, 2022). MS = matière sèche.

Item	Ver de farine ( <i>T. molitor</i> ) (larve)	Mouche s. noire( <i>H. illucens</i> ) (larve)	Grillon domes- tique ( <i>A. domesti- cus</i> )(imago)	Porc (muscle <i>dorsal</i> )	Bœuf (paleron)	Poulet (blanc)	Soja cuisiné	Farine de poisson (anchois)
Protein (% MS)	52.23	45.2	67.4	19.09	68.00	21.3	45.97	68.77
Arg	3.61	4.78	6.19	2.72	7.04	8.83	5.67	5.21
Val	3.62	9.03	9.36	3.67	6.59	4.79	4.33	5.38
Leu	4.22	7.23	8.00	4.27	9.09	7.09	8.04	7.66
Ile	2.51	4.73	4.91	2.39	5.65	3.90	4.00	4.00
Phe	2.51	4.38	3.77	3.1	4.54	3.71	5.99	3.36
Phe + Tyr	6.62	10.58	11.77	4.82	8.53	6.81	9.21	6.28
Met	1.15	1.53	1.68	2.61	3.49	4.98	1.11	3.14
Met + Cys	3.42	2.79	2.76	2.81	4.97	6.01	2.05	4.19
Lys	3.03	7.43	6.41	3.96	9.79	9.95	5.44	7.63
His	1.60	3.21	2.63	2.6	4.32	3.47	3.00	2.08
Trp	0.57	1.46	1.04	0.23	1.37	2.07	1.65	0.99
Thr	2.42	4.18	3.90	3.05	5.04	4.93	4.81	4.14
Somme AAE	31.62	55.42	59.96	38.15	62.40	57.84	48.20	47.56

### 3.1.1.2.2. Lipides et acides gras

Les insectes sont une très bonne source de matières grasses à haute qualité nutritionnelle. Les taux de matières grasses brutes varient de 14 à 43 % (Tableau 1) et sont généralement plus élevés chez les larves que chez les imagos, comme c'est le cas pour le ver de farine (Kępińska-Pacelik et Biel, 2022). La teneur en acides gras des insectes peut varier en fonction de l'environnement dans lequel ils vivent et des espèces ainsi que de leur nourriture. Les profils d'acides gras trouvés chez les insectes reflètent très probablement la composition en acides gras de leur alimentation (Chia *et al.*, 2020). La plupart des insectes présentent un rapport d'acides gras saturés/insaturés inférieur à 40 %, une valeur diététique supérieure à celle observée pour le poisson ou le poulet.

Les acides gras saturés (AGS) sont avant tout une source d'énergie pour l'organisme. Chez les insectes, les niveaux d'AGS varient de 28,20 à 49,60 % d'acides gras et sont comparables aux teneurs en AGS des sources de protéines conventionnelles, tel que le blanc de poulet (43,14 % d'acides gras).

Les acides gras polyinsaturés (AGPI) sont considérés comme des acides gras essentiels car ils ne peuvent pas être synthétisés par les ani-

maux/humains et monogastriques et doivent donc être obtenus à partir de l'alimentation ou de la supplémentation. Les AGPI ont un impact sur la valeur nutritionnelle des graisses, principalement en raison de la présence de l'acide linoléique et de l'acide  $\alpha$ -linoléique. La proportion d'AGPI est élevée chez les larves de vers de farine (25,10 %) et les grillons domestiques (29,50 %).

Les insectes présentent des teneurs en acides gras comparables aux sources animales conventionnelles, ce qui indique qu'ils constituent une bonne alternative comme complément alimentaire (Tableau 3).

Tableau 3. Composition en acides gras (% des AG totaux) chez différentes espèces d'insectes et de sources conventionnelles de protéines (Keřińska-Pacelik et Biel, 2022).

Acides gras	Ver de farine ( <i>T. molitor</i> ) (larve)	Grillon domestique ( <i>A. domesticus</i> ) (imago)	Mouche s. noire ( <i>H. illucens</i> ) (larve)	Poulet (blanc)	Bœuf (entrecôte)	Porc (muscle dorsal)
C10:0	0.02	0.03	<0.5	0.73	0.05	0.16
C12:0	0.37	0.18	28.6	1.80	0.07	0.13
C14:0	3.13	0.86	6.1	3.62	3.15	1.67
C16:0	19.50	31.20	12.6	23.99	30.39	26.22
C18:1, n-9	44.60	25.80	25.10	31.81	41.02	23.65
C18:2, n-6	24.00	27.90	12.50	16.62	2.51	23.43
C18:3, n-3	0.91	1.39	3.40	0.89	0.23	0.45
C20:5, n-3	0.13	0.12	1.70	0.17	0.05	0.21
C22:6, n-3	0.07	0.00	0.70	0.00	0.05	0.44
SFA	28.20	42.30	49.60	43.14	49.92	39.95
UFA	71.60	56.30	50.50	57.16	50.08	60.04
MUFA	46.50	26.80	31.80	36.96	46.10	24.49
PUFA	25.10	29.50	18.70	20.27	3.98	35.55

SFA : acides gras saturés, UFA : acides gras insaturés, MFA : acides gras monoinsaturés, AGPI : acides gras polyinsaturés

### 3.1.1.2.3. Minéraux

Les insectes représentent une bonne source de Ca et de P, éléments importants dans la croissance des jeunes animaux (Tableau 4). Ils constituent une source d'oligo-éléments, en particulier

le fer, le zinc, le cuivre et le manganèse (Tableau 4). La teneur en minéraux varie également en fonction de l'espèce d'insecte, son stade de développement et son régime alimentaire (Rumpold et Schlüter, 2013; van Huis, 2013).

Tableau 4. Composition en minéraux (mg / 100 g MS) chez différentes espèces d'insectes et d'élevage conventionnel (Keřińska-Pacelik et Biel, 2022).

Item	Mouche s. noire ( <i>H. illucens</i> ) (larve)	Grillon domestique ( <i>A. domesticus</i> ) (imago)	Ver de farine ( <i>T. molitor</i> ) (larve)	Poulet (blanc)	Porc (muscle semi-membranaire)	Poulet (muscle)	Agneau (maigre)	Bœuf (entrecôte)
<b>Macroéléments</b>								
<b>Ca</b>	2900	140.3	43.5	8.2	11.8	11.1	16.1	6.1
<b>P</b>	350	842.4	706	205.7	225	134.4	195	182
<b>Ca:P</b>	8:1	1:6	1:16	1:25	1:19	1:12	1:12	1:29
<b>K</b>	57	365.3	947.9	227.2	280	206.4	303	266
<b>Mg</b>	24.5	127.9	202.7	21.4	26.6	17.9	23.5	21.2
<b>Na</b>	100	95	364.5	101.4	59.8	78.3	68.3	39.8
<b>Microéléments</b>								
<b>Zn</b>	61.4	18.4	10.4	1.2	2.7	1.1	4.2	5.2
<b>Fe</b>	200	8.2	6.7	3.3	1.4	1.4	1.8	2.6
<b>Mn</b>	2	4.1	0.5	0.4	0.02	0.01	10.7	11.9
<b>Cu</b>	0.1	4.6	1.3	0.2	0.3	0.06	0.1	0.1

#### 3.1.1.2.4. Vitamines

Les vitamines A, D2, D3, C, E, K, B1, B12, l'acide pantothénique, la niacine, la pyridoxine, l'acide folique, la D-biotine et la vitamine B12 ont été trouvées chez les insectes (Zhou *et al.*, 2022). La teneur en vitamines est dépendante de l'espèce, de son stade de développement et de son alimentation (Ooninx et Dierenfeld, 2012). Par exemple la teneur en vitamine B12 des larves du coléoptère ténébrion meunier (ver de farine, *Tenebrio molitor*), de grillon (*Gryllus assimilis*), de criquet (*Locusta migratoria*) et de blatte (*Shelfordella lateralis*) est faible : de 1 à 13,2 µg / 100 g MS. En revanche, des niveaux relativement élevés de vitamine B12 sont trouvées chez les doryphores et les grillons, soit respectivement de 89,5 et 65,8 µg/100 g de poids sec (Zhou *et al.*, 2022). Ainsi, tous les insectes ne sont pas riches en tous types de vitamines ; leur teneur en vitamines dépend de l'espèce, l'environnement de croissance, la source de nourriture et du stade de développement (Ooninx et van der Poel, 2011).

#### 3.1.1.2. Digestibilité

La digestibilité de régimes alimentaires incluant des insectes est très variable, notamment à cause de la présence de chitine. La teneur en chitine des insectes peut varier considérablement de 8 à 4600 µg de chitine par insecte, selon l'espèce, le sexe et le stade. La teneur en chitine augmente avec le développement des larves vers d'autres stades. La chitine n'est pas digestible par les humains et les animaux car ils ne produisent pas les enzymes nécessaires à leur digestion comme la chitinase (Lee *et al.*, 2022). Il est recommandé d'éliminer au moins partiellement la chitine présente dans les insectes afin d'augmenter leur valeur nutritionnelle. Cependant, la chitine et ses dérivés chitosan (déacétylation de la chitine) et chito-oligosaccharides (produits de dégradation du chitosan ou de la chitine) peuvent offrir un avantage à faible concentration comme additif alimentaire, car ces substances auraient des propriétés antimicrobiennes (van Huis, 2013). Lorsque l'expression du gène codant pour la chitinase est effective chez des animaux d'élevage, d'autres composants non digestibles pourraient

être à l'origine de cette réduction de l'utilisation digestive. Les coefficients d'utilisation digestive apparente (CUDa) des farines d'insectes pour les poissons et crustacés sont de 83 % à 89 % de protéines, 91 % à 98 % de lipides, 84 % à 90 % d'énergie, 77 % à 81 % de matière sèche, 28 % à 36 % de chitine, 76 % à 96 % d'acides aminés, et 89 à 93 % d'acides gras (Lee *et al.*, 2022).

Certaines méthodes de traitement ont été développées pour améliorer la qualité des sources de protéines. En revanche, la cuisson peut diminuer la digestibilité des protéines de 25 % pour *Eulepida mashona* et *Henicus whellani*. La torréfaction doit donc être préférée à l'ébullition. Dans tous les cas, des temps d'ébullition courts sont recommandés (Mancini *et al.*, 2021).

#### 3.1.1.3. Effets indésirables d'une alimentation incluant des insectes

##### 3.1.1.3.1. Dangers pour la santé en général

Les dangers pour la santé associés à la consommation d'insectes ou de produits à base d'insectes peuvent être de deux types :

- spécifiques de l'espèce considérée : dangers microbiens ou d'origine microbienne, substances toxiques (intrinsèques ou bioaccumulées), substances antinutritionnelles ou allergisantes (van der Fels-Klerx *et al.*, 2018) ;
- liées aux pratiques d'élevage (aliments, médicaments vétérinaires) ou de transformation ou de conservation et de conditions de transports.

La production d'aliments sûrs nécessite la mise en œuvre de systèmes de gestion dédiés, y compris de bonnes pratiques d'élevage, de bonnes pratiques d'hygiène et la mise en œuvre de la méthode HACCP (*Hazard Analysis Critical Control Point* i.e. analyse des risques et points de contrôle critiques)<sup>5</sup> (Żuk-Gołaszewska *et al.*, 2022) (Annexe 1).

La consommation d'insectes présente comme tout aliment un risque sanitaire. Ce risque est encore peu documenté à l'heure actuelle, et en absence de données précises il est considéré comme un aliment carné. Concernant le

5 L'HACCP est un système qui identifie, évalue et maîtrise les dangers significatifs au regard de la sécurité des aliments. Ce système a été développé dans les années 1960 pour garantir la sécurité alimentaire des astronautes en mettant au point une méthode axée sur la prévention, et non plus sur l'analyse de produits finis. Depuis, l'HACCP s'est imposé comme étant la norme permettant de contrôler et d'écartier tout danger biologique, chimique et physique.

risque microbien (i.e. lié à la présence et/ou au développement potentiel de microorganismes bactériens, de moisissures ou levures, de parasites eucaryotes, de virus et à leurs molécules) il apparaît que ce risque est faible, par rapport à d'autres aliments carnés, si les règles d'hygiène qui sont appliquées à leur préparation sont les mêmes que celles utilisées pour les aliments carnés « conventionnels ». Sur la base d'une analyse de la littérature récente nous nous sommes efforcés ici de dégager les principaux dangers d'origine microbienne associés à la consommation de ces aliments (Fernandez-Cassi *et al.*, 2019). Ces données concernent principalement l'espèce *A. domesticus* (Grillon domestique). Les points majeurs qui méritent d'être approfondies du fait d'un manque de données concernent les mycotoxines produites par certaines moisissures ainsi que les microsporidies qui pourraient se développer dans ce type d'aliment représentant un risque sanitaire du fait de leur pathogénicité potentielle.

D'après les Règlements CE n° 852/2004 et 183/2005, des points particuliers sont abordés lors des opérations logistiques impliquant des insectes. Ces réglementations fixent les normes à respecter pour garantir la sécurité des aliments à base d'insectes. La traçabilité des ingrédients alimentaires doit répondre aux exigences des Règlements CE 853/2004 et 1169/2011.

### **3.1.1.3.2. Insectes et pathogènes**

#### **3.1.1.3.2.1. Risque microbiologique**

##### **3.1.1.3.2.1.1. Les bactéries**

Au niveau européen il n'existe pas de critères microbiens spécifiques aux insectes destinés à l'alimentation humaine. Certaines agences gouvernementales (e.g. Anses) ont proposé de suivre la réglementation appliquée à la viande hachée en tant qu'indicateur de qualité microbienne et de respect des bonnes pratiques d'hygiène (Anses, 2015). Cette réglementation vise notamment à ne pas dépasser un seuil de contamination microbienne de l'aliment :  $5 \times 10^5$  UFC g<sup>-1</sup> en germes « totaux » aérobies. Pour répondre à cette exigence il est nécessaire de respecter les directives de l'UE concernant les conditions d'élevage des animaux destinés à la consommation humaine. Ainsi, comme le rappelle l'Anses (2015), il est interdit d'alimenter tout animal

d'élevage par des matières premières tels que le lisier ou le fumier, et les déchets de cuisine et de table, pour limiter l'apport de pathogènes d'origine fécale. Il est essentiel aussi de veiller à la qualité des produits utilisés dans l'alimentation des insectes. Des larves de mouches soldat noire (*Hermetia illucens*, classiquement utilisée en alimentation animale et humaine) ont ainsi été contaminées par des bactéries pathogènes pour l'homme (Salmonelles), ces dernières ont pu se maintenir dans l'élevage en contaminant des larves (De Smet *et al.*, 2021). Cela confirme bien que les exigences sanitaires sur la qualité de l'alimentation des insectes doivent être maintenues, à savoir l'absence d'agents pathogènes dans l'alimentation des insectes destinés à la consommation humaine ou animale.

Néanmoins, on peut s'interroger sur la pertinence d'appliquer aux insectes alimentaires le seuil de contamination microbienne de la viande hachée. En effet, le système digestif des insectes étant relativement chargé (de  $10^6$  à  $10^{12}$  bactéries mL<sup>-1</sup> de liquide intestinal) et n'étant généralement pas retiré avant la consommation de l'insecte, il en résulte des valeurs de densité bactérienne pouvant être jusqu'à 200 fois plus élevées ( $8,9 \times 10^7$  UFC g<sup>-1</sup> de grillon brut) que pour la viande hachée. Pour diminuer ce niveau de contamination microbienne, les éleveurs d'insectes incluent des périodes de sevrage de 24 à 48 h avant l'abattage.

Reste à savoir si les bactéries et autres microorganismes retrouvés dans l'intestin de ces insectes, et ailleurs dans l'organisme le cas échéant, sont susceptibles d'être pathogènes. En dépit de cette forte charge bactérienne, des bactéries pathogènes comme *Listeria monocytogenes*, typiquement transmises par l'alimentation, n'ont pas été retrouvées par les méthodes conventionnelles de contrôle microbien (i.e. dénombrement par culture) (Fernandez-Cassi *et al.*, 2019). D'autres espèces pathogènes, ou indicatrices de contamination fécale, ou simplement commensales chez l'homme sont par ailleurs occasionnellement détectées (Salmonelles et *Escherichia coli*, *Yersinia* spp., *Citrobacter* spp., *Fusobacterium* spp., *Bacteroides* spp., *Klebsiella pneumoniae*). D'autres encore, comme *Staphylococcus aureus*, ont été retrouvées dans des aliments (à base d'insectes) destinés aux animaux de compagnie. Ce dernier germe, présent en particulier

dans la flore cutanée humaine, pourrait servir d'indicateur de respect des règles d'hygiène et de bonnes pratiques de fabrication.

Il existe néanmoins des espèces bactériennes spécifiques aux insectes et qui sont potentiellement pathogènes pour l'homme. Il s'agit d'espèces appartenant au genre des Rickettsies mais pas uniquement, *Spiroplasma turonicum*, un genre différent porté par *Gryllus bimaculatus* (i.e. le grillon provençal), a été responsable d'une infection systémique chez un patient (Fernandez-Cassi et al., 2019).

Enfin, les préparations alimentaires d'insectes représentent des milieux tout aussi favorables à la multiplication des bactéries que d'autres aliments et les mêmes règles d'hygiène lors de la préparation du produit et de sa conservation doivent être appliquées pour ces aliments que pour les autres. Bien que les traitements classiques de décontamination (ébullition 30 min suivi de séchage long à 80 °C puis 100 °C) permettent un abattement satisfaisant des bactéries entériques, des staphylocoques, des levures et des moisissures, certaines bactéries sporulantes (qui sont capables de résister à des températures supérieures à 100 °C sous forme de spores), sont par contre insuffisamment éliminées et peuvent se multiplier dans l'aliment après traitement. Certaines de ces bactéries, comme *Bacillus cereus*, peuvent conduire à des intoxications sévères. Chez les insectes elles sont parfois détectées à une fréquence élevée, comme chez des sauterelles où jusqu'à 88 % des individus d'une population peuvent contenir *B. cereus* (Anses, 2015).

Pour compléter les techniques traditionnelles de détection et de numération des bactéries, la microflore présente dans les aliments à base d'insectes a été recherchée par biologie moléculaire. Ces méthodes donnent une analyse assez fidèle de la diversité microbienne d'un milieu en prenant en compte aussi bien les bactéries vivantes que mortes en se basant sur des signatures génomiques. Elles confirment la présence des pathogènes cités plus haut, et parfois, avec une « abondance relative faible » des pathogènes qui n'étaient pas détectés par les techniques normalisées (i.e. par culture sur gélose).

**Finalement, il est nécessaire que soient établis les critères d'acceptabilité bactérienne des insectes destinés à l'alimentation animale et humaine.**

### **3.1.1.3.2.1.2. La résistance aux antimicrobiens et les produits de la médecine vétérinaire**

Une des problématiques environnementales actuelles est le transfert de gènes de résistance aux antibiotiques et il n'est pas surprenant de constater, si l'on considère la diversité des espèces microbiennes « hébergées » par les insectes et leur origine, que des gènes de résistance aux antibiotiques aient été retrouvés parmi la flore microbienne d'insectes de consommation alimentaire (e.g. gènes de résistance à la tétracycline, Milanović et al., 2016). **Les insectes doivent donc être considérés comme des vecteurs potentiels des gènes de résistance aux antimicrobiens.** Ce peut être une raison de plus de limiter le taux de contamination microbienne de ces nouveaux aliments.

### **3.1.1.3.2.1.3. Fungi et mycotoxines**

Les insectes, tout comme n'importe quel organisme vivant, sont exposés à des moisissures dont certaines peuvent leur être fatales. Ces champignons parasites auraient tendance à augmenter dans les élevages du fait de l'humidité et du surpeuplement. De même que pour d'autres produits alimentaires, les moisissures qui contaminent les insectes alimentaires peuvent produire des toxines (mycotoxines) connues pour affecter la santé humaine (e.g. chez *Aspergillus*, *Candida*, *Trichoderma*, etc.). Mais pour d'autres moisissures retrouvées dans les insectes alimentaires, leurs effets restent encore mal documentés. C'est le cas par exemple de la néochinuline produite par *Eurotidium chevalieri*.

Enfin, il y a également encore trop peu de données sur l'occurrence des microsporidies dans les insectes consommés comme le criquet domestique. Il s'agit de pathogènes humains opportunistes particulièrement résistants et commun chez d'autres espèces animales d'importance commerciale (saumons et abeilles).

**Il y a donc, concernant les fungi et mycotoxines, des lacunes importantes dans les connaissances scientifiques sur les insectes vecteurs utilisés comme aliments.**

### **3.1.1.3.2.1.4. Protistes (dont les parasites humains)**

Certains parasites peuvent utiliser les insectes comme hôte intermédiaire ou temporaire et être responsables de pathologies associées à la consommation d'insectes crus (Belluco et al.,

2013). Il s'agit notamment de douves intestinales (six des 65 espèces de douves intestinales sont retrouvées dans des échantillons d'insectes tels que des demoiselles adultes régulièrement consommées en Asie du Sud-Est), ou de nématodes (e.g. : *Gongylonema pulchrum*, « ver de l'œsophage » ayant des coléoptères et blattes comme intermédiaires). La consommation d'insectes crus du milieu naturel reste le principal facteur de risque. D'autres agents pathogènes d'origine hydrique et alimentaire (*Giardia lamblia*, *Entamoeba histolytica*, *Cryptosporidium parvum*) ont été isolés chez des blattes ou des mouches (Beluco et al., 2013).

Les parasites spécifiques des insectes comme les criquets par exemple, ne sont pas connus pour être pathogènes chez l'homme. Une compréhension du microbiome des insectes élevés industriellement est nécessaire pour mieux comprendre le rôle qu'il joue à la fois dans le maintien de la santé des insectes et dans la genèse de maladies. Au sein du microbiome, des microsporidies et des espèces de protistes ont été étudiées (Bessette et Williams, 2022). Parmi les parasites entomopathogènes susceptibles d'infecter les insectes actuellement élevés pour l'alimentation humaine et animale se trouvent les *Amoebozoa*, *Apicomplexa*, *Ciliates*, *Chlorophyta*, *Euglenozoa*, *Ichtyosporidia* et *Microsporidia*. Cependant, la compréhension de la biologie de nombre de ces entomopathogènes est peu documentée. De plus, pour beaucoup d'entre eux, les données moléculaires sont très limitées voire inexistantes, empêchant la mise en œuvre de méthodes de détection moléculaire. **Il est désormais urgent de développer de nouveaux outils moléculaires, associés à des méthodes de diagnostic moléculaire standard, pour aider à comprendre leur biologie et prédire les effets de ces parasites protistes mal étudiés dans les systèmes d'élevage intensif d'insectes.**

#### 3.1.1.3.2.1.5. Virus

Il y a chez les insectes, tout comme la majorité des êtres vivants, une très large diversité de virus qui leur sont spécifiques, et certains groupes taxinomiques sont proches des virus pathogènes de mammifères dont l'homme (e.g. les poxviridés comprenant notamment le virus de la vaccine). Cependant, le franchissement de la barrière d'espèce reste peu probable du fait des grandes distances phylogénétiques (i.e. dis-

tances évolutives) entre l'homme et les insectes. Par ailleurs, plusieurs études ont montré l'incapacité de ces virus à se multiplier chez des lignées cellulaires de vertébrés (Fernandez-Cassi et al., 2019).

**Tout comme les parasites, le danger des virus intéresse donc surtout l'éleveur** (plutôt que la santé publique) du fait des fortes mortalités qu'ils peuvent causer dans les élevages d'insectes.

#### 3.1.1.3.2.1.6. Prions

Les insectes ne possédant pas les gènes des protéines de prions, ils ne représentent intrinsèquement pas de danger par rapport à ce risque infectieux (Thackray et al., 2012). Néanmoins, ils peuvent représenter mécaniquement, des vecteurs de ces prions. Il a en effet été montré que des hamsters ont été infectés par le prion de la tremblante du mouton en consommant des larves de la mouche grise (*Sarcophaga carnaria*) alimentées par des tissus contaminés. **Les prions ingérés par les insectes restent donc infectants.**

**Il est primordial d'éviter l'entrée de ces molécules infectantes dans la chaîne alimentaire**, ce qui passe par le respect strict des directives européennes concernant l'alimentation des animaux d'élevage.

#### 3.1.1.3.2.2. Toxicité liée à des substances chimiques

Les contaminants chimiques étudiés pour les douze espèces d'insectes élevés pour l'alimentation animale et humaine dans l'UE sont : les métaux lourds, les dioxines et les biphényles polychlorés, les hydrocarbures polyaromatiques, les pesticides, les médicaments vétérinaires, les mycotoxines et les toxines végétales (Meyer et al., 2021; van der Fels-Klerx et al., 2018). Le transfert et la bioaccumulation des contaminants dépendent du produit chimique, de l'espèce d'insecte, du stade de développement et de la source du contaminant (enrichi ou naturel), ainsi que du substrat particulier et des conditions d'élevage. Les éléments traces métalliques, plomb, arsenic, mercure et cadmium peuvent s'accumuler, alors que les mycotoxines et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ne semblent pas s'accumuler. Les mycotoxines et les médicaments vétérinaires pourraient être dégradés par les insectes. Les données sont

généralement limitées et des recherches supplémentaires sur la sécurité chimique des différents insectes comestibles sont justifiées.

La recherche de traces de contaminants organiques selon une approche semi-quantitative en spectrométrie de masse a été conduite pour évaluer la bioaccumulation potentielle de divers contaminants par les larves de mouches soldats noires nourries avec des coques d'amandes (sous-produits de l'industrie des amandes en Californie) (Li et Bischel, 2022). L'analyse des tissus des larves et du substrat d'alimentation contaminés par différentes substances toxiques dont les pyréthroides a montré que la bifenthrine était bioaccumulée avec un facteur égal à  $2,17 \pm 0,24$  en 14 j d'élevage. Ce résultat était attendu pour un produit phytopharmaceutique classé PBT (persistant, bioaccumulable et toxique) mais illustre le fait que des agents toxiques sont susceptibles d'être bioaccumulés et en retour que les déchets de l'agro-industrie comme source d'aliment peuvent présenter un risque toxicologique.

Leur élevage présente de ce fait l'avantage de pouvoir mieux contrôler les composés chimiques qui sont présents dans les insectes.

#### **3.1.1.3.2.3. Facteurs antinutritionnels**

Des risques toxiques relèvent aussi de la présence de facteurs tels que (i) l'acide phytique, qui diminue la biodisponibilité du phosphore par complexation, (ii) les oxalates qui à forte concentration provoquent des irritations du tube digestif, des troubles de la circulation sanguine et des lésions rénales, (iii) l'acide cyanhydrique produit par certains insectes, (iv) des tanins, toxiques à fortes doses, (v) la thiaminase qui induit une carence en vitamine B1.

#### **3.1.1.3.2.4. Risque allergique**

Plusieurs cas d'allergies ont été signalés parmi le personnel de laboratoires affectés à l'entretien des élevages d'insectes ou la production de protéines d'insectes (e.g. Debbabi et al., 2023). Les symptômes évocateurs sont les troubles respiratoires (toux, rhinite, dyspnée, bronchite, asthme) ainsi que des manifestations cutanées (démangeaisons, prurit). Ces réactions allergiques sont attribuées à la fois aux aéro-allergènes (ou pneumallergènes) et aux allergènes de contact. La révision de l'organisation du travail et des locaux de l'industrie doit permettre d'éliminer les cas

d'allergies (Debbabi et al., 2023). Ces industries étant en plein essor, il est primordial de rappeler l'importance de la mise en place d'un plan de prévention des risques professionnels habituels telles que les allergies, à la création ou au démarrage de l'entreprise. De même, le risque de sensibilisation en milieu professionnel, lors de l'exposition par voie respiratoire ou cutanée aux protéines de *T. molitor* et de ses larves en particulier, doit être rappelé auprès des salariés. Le médecin du travail doit être averti du risque et le suivi médical sera orienté sur la recherche d'éventuels signes oculaires, respiratoires ou cutanés pouvant évoquer une sensibilisation.

Le risque d'allergies alimentaires est l'un des plus prévisibles du fait de l'existence d'allergènes (panallergènes) communs aux arthropodes, arachnides (acariens, araignées, scorpions), crustacés (homards, crevettes, crabes) et insectes (Anses, 2015; Sánchez-Borges et al., 2005)

La protéomique non ciblée peut contribuer à l'analyse de la composition de produits alimentaires et d'aliments hautement transformés. L'analyse de la farine d'insectes de cinq espèces différentes a été réalisée par spectrométrie de masse en tandem (AF-HPLC HR-MS) (Varunjikar et al., 2022). Les cinq espèces étudiées étaient les suivantes : larves de mouche soldat noire (*H. illucens*), ver jaune de farine (*T. molitor*), petit ver de farine (*A. diaperinus*), grillon domestique (*A. domesticus*) et ver morio (*Z. morio*). Les données ont été examinées pour les peptides marqueurs d'espèces d'insectes ainsi que pour les allergènes communs. Il est mis en évidence que des allergènes connus tels que l'arginine kinase ou la tropomyosine étaient systématiquement détectés dans les cinq espèces testées.

#### **3.1.1.3.3. Dangers liés à l'élevage**

Les principaux dangers liés à la production d'insectes à des fins alimentaires résultent de substances chimiques produites en quantité suffisante par certaines espèces, au-dessus des seuils de réactivité et/ou la protection de la santé de l'homme, ou des substances accumulées au cours du métabolisme par l'insecte à partir de son environnement dans le cadre de la grande variabilité des interactions dynamiques impliquant de nombreuses espèces et des facteurs écoenvironnementaux. Le règlement (UE) 2283/2015 établit les dispositions pour l'approbation de nouveaux aliments en Europe, y com-

pris les insectes. Le profil de risque envisage un système fermé d'élevage dans le cadre d'une analyse des risques et points de contrôle critiques (HACCP) ainsi que de bonnes pratiques d'élevage (GFP). Si le risque chimique lié à l'élevage peut être contrôlé, d'autres risques peuvent être envisagés.

Actuellement 3 espèces d'insectes sont validées pour un élevage et une production comme nouvel aliment. Cependant, l'approbation réglementaire sera demandée pour d'autres espèces avec des dangers sanitaires potentiels. D'autre part, la recherche sur des pathogènes microbiologiques est assez peu développée et dans un cadre de production de masse peut représenter un risque sanitaire.

**Enfin, même si la question d'insectes génétiquement modifiés n'a pas encore été abordée, il est probable que cette question sera posée. Le risque n'est pas celui lié à l'aliment lui-même mais plutôt celui lié à la dispersion de mutants dans l'environnement.**

#### **3.1.1.4. Effets bénéfiques de la consommation d'insectes**

De nombreuses études ont rapporté l'excellente activité « bio-fonctionnelle » de divers composants d'insectes comestibles, tels que les lipides, les protéines et la chitine. Les propriétés bio-fonctionnelles représentatives comprennent les activités antioxydantes, antihypertensives, anticancéreuses, anti-inflammatoires, anti-obésité, antidiabétiques et antimicrobiennes. De nombreuses espèces d'insectes aux propriétés bio-fonctionnelles ont été signalées, notamment *H. illucens*, *B. mori*, *M. domestica*, *T. molitor*, *A. domesticus* et *Spodoptera littoralis* (Lee et al., 2022). Les propriétés fonctionnelles portées de ces insectes varient en fonction de l'état de croissance de l'insecte (larves, pupes et adultes), des composants de l'insecte (protéines, graisses et chitine) et de la méthode d'extraction (extraits aqueux, extraits de solvants et hydrolysats enzymatiques). En conséquence, les insectes peuvent être utilisés de manière sélective dans les régimes alimentaires des animaux, en fonction de la fonctionnalité requise pour l'élevage des animaux.

Par exemple, les performances de croissance des crevettes sont améliorées lorsque des mouches

soldats noires ou des scarabées comme des dynastes (*Dynastinae* spp.) sont inclus dans l'alimentation. Dans le cadre d'effets positifs, Choi et al. (Choi et al., 2018) ont rapporté une amélioration de la productivité des poulets de chair lorsque la poudre d'*H. illucens* était ajoutée à l'alimentation. Jang et al. (Jang et al., 2019) ont indiqué que l'ajout de *H. illucens* à l'alimentation améliore la productivité des canards. Divers composants bioactifs des insectes, tels que la chitine, la mélanine et les peptides, peuvent améliorer la santé de la volaille (Benzertiha et al., 2019).

Les mécanismes impliqueraient des effets positifs sur le microbiote intestinal et/ou l'activité du système immunitaire et/ou une activité antimicrobienne (Lee et al., 2022). Ces impacts sur le microbiote et la santé humaine en général restent encore peu explorés et méritent des études plus approfondies (Stuul et Weir, 2023).

En résumé, les coûts élevés des aliments pour animaux (60 % à 70 % des coûts totaux), l'augmentation des prix des céréales, les problèmes environnementaux, l'augmentation de la consommation et l'insuffisance de l'offre peuvent être des raisons de passer à l'utilisation d'insectes comme nouvel aliment lors de la production de porc (DiGiacomo et Leury, 2019). La croissance des porcs est améliorée avec une complémentation à base de farine d'insectes qui peut être due aux changements de digestibilité entre les porcelets et les porcs (Yoo et al., 2019). *T. molitor* présente un bon potentiel pour remplacer les aliments conventionnels, tels que le poisson, la volaille et la viande pour les porcs en croissance (Yoo et al., 2019; Cho et al., 2020)

#### **3.1.1.5. Comparaison d'impact sur la santé avec le remplacement de la viande rouge par les insectes**

En mars 2018, l'EFSA a conduit une étude sur «*Novelfoods as red meat replacers—an insight using Risk Benefit Assessment methods (NovRBA)*» dans le but d'estimer l'impact global sur la santé du remplacement de la viande rouge par un nouvel aliment, à l'aide de méthodes d'évaluation des risques et des avantages (Naska et al., 2022). L'objectif principal du projet était de réaliser une analyse bénéfice-risque en ce qui concerne la sélection des composantes à prendre en

compte dans l'évaluation. De plus, le projet visait à proposer des stratégies pour communiquer sur le remplacement de la viande rouge par une espèce d'insecte comestible comme étude de cas. *A. domesticus* (criquet domestique) a été sélectionné comme nouvel aliment pour remplacer la viande rouge. Les résultats de santé ont été quantifiés selon la mesure composite des années de vie ajustées sur l'incapacité (DALY, *disability-adjusted life years*). Afin de normaliser l'étape de sélection des composants du modèle et d'attribuer une importance similaire à chaque domaine (nutrition, microbiologie et toxicologie), le projet NovRBA a développé et testé une approche en 3 étapes pour hiérarchiser les nutriments, les agents microbiologiques et les composés préoccupants sur le plan toxicologique.

L'impact global sur la santé a été estimé pour chaque pays, en tenant compte des différences dans la taille de la population adulte de chaque pays, leurs valeurs nationales d'apport alimentaire et leur incidence actuelle des maladies. Le changement attendu des DALY lors du passage du scénario de référence au scénario alternatif a été estimé à environ 8 753 DALY (pour 100 000 habitants) économisés en Grèce, 6 572 DALY (pour 100 000 habitants) au Danemark et 21 972 DALY (pour 100 000 habitants) économisés en France. Cela est principalement dû aux impacts nutritionnels et microbiologiques globalement bénéfiques.

### **3.1.2. Les microalgues**

Les microalgues, spiruline et chlorella, étaient auparavant vendues principalement comme compléments nutritionnels sous forme de poudres, gélules et comprimés. Aujourd'hui elles sont également incorporées dans divers produits alimentaires comme les pâtes, les smoothies, les boissons gazeuses, le chocolat et les crèmes glacées (Nova *et al.*, 2020). Elles sont alors susceptibles de représenter une part non négligeable de notre ration alimentaire et il devient alors nécessaire de considérer le rapport bénéfice / risques que représentent ces nouveaux aliments.

#### **3.1.2.1. Composition et aspects nutritionnels**

##### **3.1.2.1.1. Composition**

###### **3.1.2.1.1.1. Protéines**

Chlorelle et spiruline sont composées d'environ 50 % de protéines (% MS) et sont considérées comme d'excellentes sources naturelles en nutriments essentiels (Tokuşoglu et Ünal, 2003).

###### **3.1.2.1.1.2. Lipides et acides gras**

Les microalgues chlorelles contiennent des quantités intéressantes de lipides (en particulier des acides gras polyinsaturés, en quantités plus importantes que dans la spiruline, Ötles et Pire, 2001), des protéines, de la chlorophylle, des caroténoïdes, des vitamines, des hétéropolymères de protéines et de polysaccharides (Levy, 2023). Les huiles issues de microalgues représentent un apport en DHA (acide docosahexaénoïque), celui-ci est l'un des trois oméga-3 nécessaires au bon fonctionnement de l'organisme. Considéré comme jouant divers rôles fonctionnels et structurels, il permettrait notamment de ralentir le déclin cognitif lié au vieillissement cérébral et de contribuer à un effet protecteur contre les maladies neurodégénératives.

La spiruline est également l'une des seules sources d'acide gamma linoléique (oméga 6) directement consommable. Cet acide gras aurait des propriétés sur la prévention de l'arthrite.

###### **3.1.2.1.1.3. Minéraux**

La spiruline est extrêmement riche en fer, 50 fois plus que la viande rouge, et assimilable contrairement à ce qui est généralement observé pour le fer d'origine végétale (Puyfoulhoux *et al.*, 2001). Dix grammes de cette algue microscopique suffisent à combler les besoins quotidiens d'un adulte moyen.

La spiruline est une source d'oligo-éléments, contenant, outre du fer et du magnésium, du zinc, du sélénium, du manganèse, du cuivre, du chrome et d'autres minéraux : calcium, sodium, potassium, phosphore.

###### **3.1.2.1.1.4. Vitamines**

La chlorelle contient la vitamine B12 (ou cobalamine) sous une forme assimilable et active pour l'homme. Trois grammes de chlorelle couvriraient ainsi les besoins journaliers en vit. B12 pour un adulte (environ 120 %, DJR estimée à

2,4 microgrammes). Par contre, la spiruline n'apporte pas la complémentation nécessaire en vit. B12 car celle-ci est majoritairement présente sous forme d'analogue inactif (« pseudo-cobalamine ») pour l'homme (Anses, 2017 ; van den Oever et Mayer, 2022).

#### **3.1.2.1.2. Digestibilité**

Les composants de la chlorelle et de la spiruline ont fait la preuve qu'ils étaient assimilables et n'induisaient pas de toxicité cardiaque, hépatique ou rénale (Neumann et al., 2018).

#### **3.1.2.2. Dangers sanitaires lié à la consommation de microalgues et à leur production.**

La question de l'évaluation des risques n'a pas été systématiquement abordée pour les protéines extraites de microalgues et une attention limitée a été accordée aux effets secondaires de ces nouveaux aliments, y compris les réactions allergiques chez les populations sensibilisées. Tiberg et al. ont étudié les effets des extraits de chlorelle (*Chlorella vulgaris*) chez des enfants de 6 à 17 ans, avec ou sans autres allergies, à l'aide de tests cutanés et de mesure d'IGE spécifiques. Ils en ont conclu que *Chlorella* représente un allergène (faible), avec un risque pour certaines catégories de patients (Tiberg et al., 1995).

Le premier cas d'anaphylaxie à la spiruline (*Arthrospira platensis*) a été décrit en 2010 (Petrus et al., 2010). Certaines protéines suspectées d'être présentes dans des extraits de microalgues chlorelle et spiruline, présentant une homologie de séquence significative avec des allergènes alimentaires connus, dont la plupart sont associés aux poissons et aux crustacés, ont été annotées (Bianco et al., 2022). De plus, l'existence d'un allergène reconnu, la sous-unité bêta C-phyco cyanine a été déterminée dans des échantillons de spiruline. Le pourcentage élevé d'identité ainsi que les séquences d'acides aminés contiguës de certaines protéines d'algues, marquées comme des allergènes potentiels, pourraient exposer la santé des sujets sensibilisés à des risques graves. Bien que des études cliniques adéquates soient nécessaires pour

évaluer l'allergénicité de ces microalgues, des analyses complémentaires *in silico* et par spectrométrie de masse sont à envisager.

L'Anses s'est autosaisie en avril 2014<sup>6</sup> des risques liés à la consommation de compléments alimentaires contenant de la spiruline. L'agence avait alors rendu public un cas de réaction allergique (angio-œdème facial allergique) survenue après la prise de spiruline. Depuis la création du dispositif de nutrivigilance et jusqu'en février 2017, date de publication de l'avis, l'agence avait reçu 49 déclarations d'effets indésirables susceptibles d'être liés à la consommation de compléments alimentaires contenant de la spiruline. Dans son rapport l'Anses souligne que les cultures de spiruline sont susceptibles de contenir divers contaminants, des cyanobactéries productrices de toxines ayant été mises en évidence dans certains lots. Ainsi, des microcystines hépatotoxiques produites essentiellement par les genres *Microcystis*, *Aphanizomenon*, *Planktothrix* et *Dolichospermum* ont été retrouvées. Ces contaminations doivent être évaluées et une concentration maximale admissible de microcystines doit être déterminée sur la base de la valeur toxicologique proposée par l'OMS<sup>7</sup>.

La présence d'autres cyanobactéries dans le milieu de culture peut être liée à une contamination par l'eau utilisée ou à un inoculum de mauvaise qualité et l'Anses considère que l'absence de contamination par d'autres cyanobactéries doit être systématiquement vérifiée lors de la sélection de l'inoculum et lors des différentes étapes de la production. Par ailleurs, la présence d'éléments traces métalliques, dépassant parfois les valeurs sanitaires, a été mentionnée dans de la spiruline sauvage ou de culture. La présence d'autres espèces bactériennes est également possible. En conclusion de son rapport, l'Anses considère que, en dehors de ces risques de contamination qui doivent être évalués, la consommation de spiruline à faible dose ne semble pas poser de problème sanitaire particulier mais une dose journalière maximale devrait être néanmoins fixée.

Au cours des années 1980, différentes espèces de microalgues à visée alimentaire (*Chlorella*,

6 Avis de l'Anses, saisine 2014-SA-0096, relatif aux « risques liés à la consommation de compléments alimentaires contenant de la spiruline »

7 Dose journalière tolérable (DJT) = 0,04 µg / Kg masse corporelle x j, voie orale

*Dunaliella*, *Aphanizomenon* spp., *Arthrospira* sp. ou « Spirulina ») étaient déjà produites industriellement par différents pays comme le Mexique, Taiwan, les Etats-Unis, la Thaïlande, le Japon, ou l'Israël. Elles étaient essentiellement cultivées dans des bassins en plein air à l'image des bassins de lagunage. Ces bassins avaient une faible profondeur (entre 10 et 50 cm) et étaient agités par des roues à aubes. L'exposition des bassins directement à l'air ambiant rendait complexe la maîtrise des conditions de croissance des algues, et favorisaient les contaminations par des algues sécrétrices de toxines en particulier. Les techniques de production se sont développées notamment vers des réacteurs fermés équipés de système d'éclairage contrôlés (photobioréacteurs). Le développement autotrophe des microalgues au sein de photobioréacteurs contrôlés a émergé véritablement au début du XXI<sup>e</sup> s.

Les algues mises sur le marché doivent satisfaire à divers critères relatifs aux contaminations qui peuvent se produire au cours du processus de production et de transformation. La réglementation européenne définit les concentrations maximales en métaux lourds et en iode susceptibles de se retrouver dans des compléments alimentaires contenant des microalgues (CSHPF 01/1990; AFSSA 04/2009; UE 2023/915) (Tableau 5).

**Tableau 5 : Teneurs maximales en contaminants pour les algues éléments traces métalliques et en iode autorisées en France, en algues légumes ou condiments.**

Eléments	Algues légumes ou condiments (mg kg <sup>-1</sup> MS) (CSHPF 01/1990; AFSSA 04/2009)	Compléments alimentaires (mg kg <sup>-1</sup> produit vendu) UE 2023/915
Arsenic minéral	3	
Cadmium	0.5	3
Mercure	0.1	0.1
Plomb	5	3
Etain	5	
Iode	2 000	
Benzoapyrène		10
Somme des HAP		50

Pour les compléments alimentaires composés exclusivement ou principalement d'algues marines, la teneur en cadmium est fixée à 3,0 mg/kg dans le règlement européen n°629/2008 (Commission européenne 07/2008).

Des recommandations ont aussi été émises pour la qualité microbiologique des algues en sachet (Tableau 6) (CSHPF 01/1990; BID 1987).

**Tableau 6 : Critères microbiologiques pour les produits secs en France. UFC = unité formant colonie.**

Germes	UFC g <sup>-1</sup>
Germes aérobies mésophiles	≤ 10 <sup>5</sup>
Coliformes fécaux	≤ 10
Germes anaérobies sulfitoréducteurs	≤ 10 <sup>2</sup>
<i>Staphylococcus aureus</i>	≤ 10 <sup>2</sup>
<i>Clostridium perfringens</i>	≤ 1
<i>Salmonella</i>	Absence dans 25 g

## 3.2. En termes environnementaux

### 3.2.1. Les enjeux d'une alimentation plus durable

**L'Organisation des Nations-Unies se penche sur l'alimentation et sa production.**

**Le GIEC consacre un rapport spécial aux terres émergées (GIEC, 2019).**

En soi, un tel rapport souligne une attention qui s'est régulièrement accrue de la part des spécialistes du climat aux impacts du réchauffement climatique sur les milieux et les productions terrestres comme sur les incidences sur le climat des divers modes de gestion des milieux terrestres : espaces naturels, forêts, agriculture-élevage, changements des utilisations des sols.

Dans la partie réservée aux options de réponse face aux changements climatiques, le GIEC souligne que « nombre d'options de réponse pour l'atténuation du changement climatique et l'adaptation permettent aussi de combattre la désertification et la dégradation des terres et d'améliorer la sécurité alimentaire. »

Parmi les conditions propices à la mise en œuvre des options de réponse, le GIEC souligne notamment :

Les politiques visant l'ensemble du système alimentaire, y compris celles qui visent à réduire les pertes et le gaspillage et à influencer les choix alimentaires, conduisent à une gestion plus durable des terres, une meilleure sécurité alimentaire et des trajectoires à faibles émissions. Ce genre de mesures peut contribuer à l'adaptation au changement climatique et à l'atténuation, à faire reculer la dégradation des terres, la désertification et la pauvreté, et à améliorer la santé publique. L'adoption d'un système de gestion durable des terres et l'élimination de la pauvre-

té peuvent être facilitées par un accès élargi aux marchés, un régime foncier sécurisé, la prise en compte du coût environnemental dans les denrées alimentaires, la rémunération des services écosystémiques et l'amplification de l'action collective, locale et communautaire.

[...]

Tenir compte des co-bénéfices et des compromis lors de l'élaboration de politiques alimentaires et concernant le secteur des terres peut permettre de surmonter certains obstacles à leur mise en œuvre.

Le GIEC traduit ainsi que le consensus scientifique signale une articulation entre une évolution des régimes alimentaires et la lutte contre le réchauffement climatique.

Il faut rappeler que le GIEC ne produit pas de nouvelles connaissances scientifiques en propre, mais, qu'en revanche, il synthétise l'état des travaux scientifiques (publications académiques) sur le climat, sur ses évolutions, et sur les impacts de ces évolutions.

### **FAO - OMS, Régimes alimentaires sains et durables, Principes directeurs – 2020 (ONU, 2020)**

La consultation d'experts organisé par les deux organisations internationales FAO et OMS a adopté des principes directeurs :

« Reconnaissant l'existence d'opinions divergentes concernant les concepts de régimes alimentaires durables et de régimes alimentaires sains, les pays ont demandé l'avis de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) sur ce qui constitue des régimes alimentaires sains et durables. [...] Les pays devront déterminer la juste mesure d'application de ces principes en fonction de leur situation et de leurs objectifs. »

L'introduction mentionne que, à côté d'une cause de morbidité et de mortalité (sous et mal nutrition, maladies non transmissibles liées à l'alimentation) « Les systèmes alimentaires sont simultanément une cause importante de la dégradation de l'environnement et de l'épuisement des ressources naturelles. » Elle souligne que :

« Chaque contexte est unique et pose des défis spécifiques pour assurer la disponibilité,

l'accessibilité et la consommation des régimes alimentaires, et nécessite donc une solution personnalisée pour favoriser une santé et une durabilité optimales. Bien que les solutions varient, les objectifs des régimes alimentaires qui répondent à des préoccupations d'ordre sanitaire et environnemental, social/culturel et économique sont les mêmes pour toutes les personnes en bonne santé. Exprimer de façon précise ces objectifs peut faciliter la définition, l'élaboration et la réalisation d'actions spécifiques répondant aux besoins contextuels. »

Le rapport comporte plusieurs documents de synthèse. Le premier est un « Document d'information sur les régimes alimentaires sains ». Il retient notamment en conclusion que

« Les recommandations de l'OMS [...] mettent l'accent sur l'importance de la hausse de la consommation de plusieurs aliments d'origine végétale (fruits, légumes (sauf les racines amyloacées), légumineuses, fruits à coque et blé complet); la limitation de la consommation énergétique issue des sucres libres et des matières grasses totales; la consommation de graisses non saturées plutôt que de graisses saturées ou d'acides gras trans; et la limitation de la consommation de sel, tout en utilisant le sel iodé comme défense contre les carences en iode. »

Le deuxième document de synthèse est consacré au « rôle des régimes alimentaires sains dans la création de systèmes alimentaires durables du point de vue environnemental ». Il en ressort notamment que :

« Ainsi, on estime que l'adoption mondiale d'un régime alimentaire faible en viande et répondant aux recommandations nutritionnelles en termes de fruits, de légumes et de besoins caloriques devrait réduire les GES liées au régime alimentaire de près de 50 %, et les décès prématurés de près de 20 %. Cette recommandation d'un régime faible en viande a été confirmée dans un rapport du Centre international de Recherche sur le Cancer (CIRC) qui indique qu'une baisse de la consommation de ces produits peut entraîner une réduction du risque de cancer colorectal. Le rapport du CIRC a classé la viande rouge en groupe 2A (probablement cancérigène pour l'homme) et la viande transformée en groupe 1 (cancérigène pour l'homme) (Bouvard et al., 2015). Les experts ont conclu que la consom-

mation de 50 g de viande transformée par jour correspondait à un accroissement de risque de cancer colorectal de 18% ».

### **L'Europe veut un système alimentaire équitable, sain et respectueux de l'environnement**

Décarboner l'Europe, exige de réussir le passage à l'agriculture durable (Shift Project, 2017). En 2012, l'agriculture engendre 12 % des émissions de gaz à effet de serre (GES) de l'Union européenne bien qu'ayant diminué celles-ci de 23 % par rapport à 1990, dont une bonne part du méthane et l'essentiel du protoxyde d'azote. Plus largement, les émissions liées à l'alimentation représentent environ 30 % des émissions brutes de l'Union. Or, l'élevage pèse pour 70 à 80 % des émissions directes du secteur agricole. C'est pourquoi dès 2017, avec son « Manifeste pour décarboner l'Europe », *The Shift Project* recommande de :

- réduire de moitié les pertes et gaspillages alimentaires ;
- réorienter massivement l'élevage vers des productions labellisées de haute qualité, afin de diminuer les volumes et d'augmenter les prix unitaires payés aux éleveurs ;
- améliorer l'équilibre nutritionnel avec une consommation de produits d'origine animale moindre et de meilleure qualité.

Une Europe entièrement agroécologique pourrait nourrir durablement 530 millions d'Européens en 2050 selon le projet TYFA (IDDRI, 2018).

Afin de prendre en charge de manière cohérente les enjeux auxquels fait face le système alimentaire européen actuel, à savoir aller vers une alimentation plus durable des Européens, préserver la biodiversité et les ressources naturelles, et lutter contre le changement climatique, le projet TYFA explore la faisabilité et les conditions d'une généralisation de l'agroécologie, fondée sur l'abandon des pesticides et des engrais de synthèse, le redéploiement de prairies extensives et d'infrastructures paysagères. S'appuyant sur les mêmes constats et les recommandations de l'OMS et la FAO, il appelle une évolution du régime alimentaire européen.

En partant d'un régime alimentaire sain, basé sur les recommandations nutritionnelles en vigueur (EFSA, OMS et PNNS), tout en conservant des attributs culturels importants comme

la consommation de produits animaux et de vin, la baisse de production modélisés dans le scénario (- 30 % sur les produits végétaux et - 40 % sur les produits animaux) permet de nourrir les Européens, y compris en consacrant une fraction élevée des surfaces à des infrastructures agroécologiques qui ne produisent pas directement mais contribuent au bon fonctionnement des agroécosystèmes.

Ce régime alimentaire est notablement moins riche en produits animaux – mais ceux que l'on consomme sont de meilleure qualité – et en sucres ; il l'est par contre davantage en fruits et légumes – de saison – et en fibres. Il est au total plus sain sur le plan nutritionnel et d'une qualité environnementale totale si l'on considère le remplacement des pesticides par des auxiliaires naturels.

L'Union européenne déploie une stratégie « De la ferme à la table » (CE, 2020) La stratégie « De la ferme à la table » s'inscrit dans « Le pacte vert pour l'Europe » qui indique comment faire de l'Europe le premier continent neutre sur le plan climatique d'ici à 2050. Elle est en outre un élément essentiel du programme élaboré par la Commission pour atteindre les objectifs de développement durable (ODD) des Nations unies. Elle « reconnaît les liens inextricables entre des personnes en bonne santé, des sociétés en bonne santé et une planète en bonne santé. »

La stratégie s'appuie sur le fait que « L'alimentation européenne est déjà une norme mondiale en matière de nourriture sûre, abondante, nutritive et de qualité. » Mais elle n'en affirme pas moins que « les systèmes alimentaires restent fondamentalement l'un des principaux facteurs du changement climatique et de la dégradation de l'environnement. Il est urgent de réduire la dépendance aux pesticides et aux antimicrobiens, de réduire l'emploi abusif d'engrais, de développer l'agriculture biologique, d'améliorer le bien-être des animaux et d'inverser la régression de la biodiversité. » Il est noté que ...

« *L'agriculture est responsable de 10,3 % des émissions de GES de l'Union et près de 70 % de ceux-ci sont imputables au secteur de l'élevage.* Elles sont constituées de GES autres que le CO2 (méthane et protoxyde d'azote). En outre, 68 % de la surface agricole totale sert à la production animale.

Afin de réduire l'incidence de la production animale sur l'environnement et le climat, éviter les fuites de carbone lors des importations et soutenir la transition en cours vers un élevage plus durable, la Commission entend faciliter la mise sur le marché d'additifs pour l'alimentation animale durables et innovants. Elle reverra les règles de l'Union afin de réduire la dépendance à certaines matières premières pour aliments des animaux essentielles (telles que le soja cultivé sur des terres déboisées) en favorisant les protéines végétales cultivées dans l'Union et des matières premières pour aliments des animaux de substitution telles que des insectes, des aliments marins (par exemple, les algues) et des sous-produits de la bioéconomie (par exemple, des déchets de poisson). En outre, la Commission va réviser le programme de promotion de l'UE en faveur des produits agricoles, afin de contribuer davantage à une production et à une consommation durable et en adéquation avec l'évolution des régimes alimentaires. En ce qui concerne la viande, cette révision devrait porter sur la manière dont l'Union peut utiliser son programme de promotion pour soutenir les méthodes de production animale les plus efficaces au regard des émissions de carbone et les plus durables. Elle évaluera aussi rigoureusement toute proposition de soutien couplé dans les plans stratégiques du point de vue de sa nécessité pour la durabilité globale ».

Comme à l'échelle mondiale, la Commission européenne reprend à son compte le constat selon lequel :

« Les comportements alimentaires actuels ne sont pas durables, tant du point de vue de la santé que du point de vue de l'environnement. Alors que, dans l'Union, les apports moyens en énergie, en viandes rouges, en sucres, en sel et en matières grasses continuent de dépasser les recommandations, la consommation de céréales complètes, de fruits et légumes, de légumineuses et de fruits à coques est insuffisante. »

Dans sa conclusion, « la Commission invite l'ensemble des citoyens et des parties prenantes à engager un vaste débat, y compris dans les assemblées nationales, régionales et locales, en vue d'élaborer une politique alimentaire durable. »

L'annexe à la communication de la Commission détaille le projet de plan d'action.

## **Vers un programme français d'alimentation durable**

Dès 2016, l'association Solagro dessine un horizon pour l'agriculture et l'alimentation : Afterres 2050 (Solagro, 2016). La question de l'ONG est la suivante : « Est-il possible de : i) ralentir la course du dérèglement climatique, de la perte de biodiversité, en finir avec les pollutions de toutes sortes des eaux, des sols, de nos aliments ; ii) satisfaire les besoins essentiels de tous avec une nourriture saine et suffisante et iii) passer d'une économie dominée par le carbone fossile à une économie adossée au carbone renouvelable pour les matériaux, la chimie, l'énergie, ... alors que nous allons être plus nombreux, que l'artificialisation des terres fait disparaître l'équivalent d'un département tous les 10 ans que les rendements stagnent, que les aléas climatiques plus fréquents et intenses peuvent mettre à mal les récoltes ?

## **Nos agriculteurs et nos forestiers peuvent-ils relever ces défis ? La France est-elle assez grande pour produire tout cela ?**

### **Dans le scénario Afterres 2050, la réponse est positive**

Les recommandations sont :

- dans les assiettes : réduction de consommation de 1/3, division par 2 des pertes et gaspillages, 1/3 des protéines d'origine animale - 2/3 d'origine végétale, soit l'inverse du rapport actuel ;
- aux champs : généralisation de l'agroécologie, la production animale est essentiellement placée sous label ou signe de qualité et l'autonomie alimentaire des élevages est privilégiée. Les surfaces forestières sont protégées.

### **Programme national pour l'alimentation (PNA, 2020)**

#### **Reprenant aussi les principes directeurs de l'OMS et de la FAO.**

La politique de l'alimentation a pour finalités « d'assurer à la population l'accès à une alimentation sûre, saine, diversifiée, de bonne qualité et en quantité suffisante, produite dans des conditions économiquement et socialement acceptables par tous, favorisant l'emploi, la protection de l'environnement et des paysages et contri-

buant à l'atténuation et à l'adaptation aux effets du changement climatique ». L'outil du ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation pour relever ce défi est le Programme national pour l'alimentation (PNA).

[...]

Au croisement de différentes politiques publiques relatives à la préservation de la santé, à l'environnement et à la transition agroécologique, le PNA est nécessairement complémentaire de nombreux autres plans. Il est plus spécifiquement articulé avec le nouveau plan national nutrition santé (PNNS) 2019-2023 qui fixe les objectifs, principes et orientations de la politique nutritionnelle. Le PNA et le PNNS sont les deux principaux outils de la politique nationale de l'alimentation et de la nutrition portée par le gouvernement pour 2019-2023. Ils font l'objet d'un document de présentation commun dévoilé lors du Comité Interministériel de la Santé du 25 mars 2019 : le programme national de l'alimentation et de la nutrition (PNAN).

Ce document formule les politiques publiques synthétisant à la fois des objectifs de santé publique, agricoles et environnementaux. Le PNAN identifie onze « Actions phares ». Il recommande en particulier d'« Augmenter les fibres, réduire les quantités de sel, sucres, gras dans les aliments de consommation courante... ». Il faut déplorer que ce PNAN n'ait pas associé également le ministère de la transition écologique en charge à la fois des politiques publiques concernant énergie et climat, biodiversité et nature, pollutions et notamment celles de l'air et des eaux. Heureusement, à l'inverse, d'autres institutions, le Sénat, l'Assemblée nationale, France Stratégie, et certaines organisations non gouvernementales articulent les aspects environnementaux pour formuler des recommandations synthétiques, voire des plans d'actions, pour des productions alimentaires qui prennent en compte la protection de l'environnement et des paysages et contribuent à l'atténuation et à l'adaptation aux effets du changement climatique.

**Vers une alimentation durable : Un enjeu sanitaire, social, territorial et environnemental majeur pour la France — rapport d'information du Sénat (2020)**

Ce rapport consacre un chapitre pour « Une prise de conscience de la non-soutenabilité du système alimentaire » pour des raisons à la fois, i) de la question stratégique et de la sécurité alimentaire, ii) des enjeux de santé, iii) des enjeux écologiques. Il en tire deux axes pour guider la transition alimentaire du XXI<sup>e</sup> s : sobriété et végétalisation. Considérant que cette transition sera tirée par la demande, il recommande de lutter contre les inégalités en levant des barrières culturelles et économiques. Et il appelle un fort développement des infrastructures agroécologiques qui ne produisent pas directement mais contribuent au bon fonctionnement des agroécosystèmes.

### **Pour une alimentation saine et durable - Analyse des politiques de l'alimentation en France. Rapport pour l'Assemblée nationale (France Stratégie, 2020)**

« En invitant France Stratégie à travailler sur une 'alimentation saine et durable', l'Assemblée nationale se place au cœur d'un des grands enjeux des décennies à venir : celui de la rencontre entre les préoccupations de santé que portent les politiques de l'alimentation tournées vers la nutrition, et les objectifs environnementaux, économiques et sociaux des politiques tournées vers l'alimentation, au sens d'offre de produits agricoles et agroalimentaires. »

Et l'avant-propos mentionne une « approche sur laquelle ont convergé en 2020 la FAO et l'OMS en publiant des principes directeurs pour une alimentation saine et durable ». Et d'ajouter ...

« L'Assemblée nationale s'empare donc de ce sujet à un moment où l'intégration de la préoccupation environnementale au tout premier plan dans la conception des politiques agricoles et agroalimentaires peut donner de nouveaux leviers de convergence entre des politiques jusqu'ici éloignées. L'exemple type de cette convergence est celui de l'évolution vers une alimentation comportant moins de viande de bœuf et de produits laitiers : leur production est fortement émettrice de gaz à effet de serre ; leur part importante dans le régime alimentaire français doit être modérée pour cette raison mais aussi pour améliorer la santé de nos concitoyens. Dans le même temps, certains modes d'élevages extensifs et autonomes permettent de préserver des écosystèmes contribuant à la séquestration

de carbone et à la préservation de la biodiversité, comme les prairies permanentes ou les bocages.»

### **3.2.2. Retentissement sur les changements climatiques**

**Que faire pour que l'agriculture et l'alimentation française évoluent de façon compatible avec nos engagements climatiques ? (Shift Project, 2022)**

Le Shift Project élargit encore le sujet, car le système alimentaire repose sur un ensemble de flux de matières et d'énergie qui montre ses liens de dépendance aux ressources naturelles et à d'autres secteurs économiques et parties du monde. Il propose un « Plan de transformation de l'économie française » (PTEF), pour qu'en 2050 la France soit devenue indépendante des énergies fossiles, résiliente face aux crises climatiques et à des problèmes d'approvisionnement sur différentes ressources. Sans surprise, il repart du constat que l'agriculture et l'alimentation sont sources d'un quart des émissions de GES. Avec une intégration de l'ensemble des secteurs dans une représentation de l'économie à partir des stocks et flux d'énergie, de matériaux, d'emplois et de compétences, le PTEF adresse un certain nombre de demandes à l'agriculture et la forêt en plus des productions alimentaires : bois, fibres, biomasse, énergie. Et ceci devra se faire avec des modes de production agroécologiques en phase avec les schémas et scénarios de Solagro ou de l'IDDRI. Le PTEF donne sa vision du secteur de l'agriculture et de l'alimentation en 2050 :

- Production de lait et d'œufs réduite de 33 %
- Produits de la pêche divisés par 2
- Production de viande divisée par 3
- Pertes et gaspillage divisés par 4

Le scénario prédictif devient alors le suivant : Les émissions nationales de GES ont baissé de 60 %. Le secteur devient producteur net de carburants et de combustibles. La santé des Français s'est améliorée grâce au changement d'alimentation.

**Une nouvelle politique agricole commune mise en œuvre à partir de 2023**  
**Le Conseil européen a adopté la réforme de la PAC le 2 décembre 2021 (CE, 2021).**

Les instances européennes, Commission,

Conseil, Parlement, soulignent l'inscription de la réforme de la PAC dans le « Pacte vert » européen (voir plus haut). Les priorités visent à :

- renforcer la contribution de l'agriculture aux objectifs de l'UE en matière d'environnement et de climat,
- assurer un soutien plus ciblé aux petites exploitations,
- laisser aux États membres une plus grande marge de manœuvre pour adapter les mesures aux conditions locales.

Sa mise en œuvre passe par une explicitation propre à chaque État-membre. Le ministère de l'agriculture et de l'alimentation a souhaité un débat public organisé avec l'aide de la (CNDP) et a demandé l'avis de l'Autorité environnementale. A la suite de quoi, la France a transmis son projet de Plan Stratégique National (PSN) à Bruxelles (CE, 2022). Ce dernier prévoit entre autres orientations : une forte augmentation de l'enveloppe consacrée aux légumineuses et l'incitation à inclure des légumineuses dans les assolements ; une diversification des cultures ; un doublement des surfaces en AB ; le maintien des prairies permanentes au titre du climat ; un renforcement de l'autonomie de l'agriculture en réduisant l'empreinte carbone alimentaire et la déforestation importée ; etc. Le PSN, éventuellement modifié, puis approuvé par la Commission européenne, est entré en vigueur à partir de 2023.

***Le recours à une alimentation à base d'insectes et de microalgues pourrait en toute hypothèse, par une substitution partielle, agir en diminuant les effets dommageables de l'alimentation conventionnelle. Cette hypothèse n'est pas abordée par les instances chargées d'étudier les divers scénarios d'une alimentation d'avenir. Elle reste donc à documenter.***

### **3.2.3. Impacts environnementaux**

#### **3.2.3.1. Empreinte écologique des élevages d'insectes**

L'évaluation de l'impact environnemental des élevages d'insectes comestibles est à ses débuts. Dans son rapport de 2014, l'Anses avait pris en compte la question de l'empreinte environnementale de l'élevage d'insectes en se basant sur

une poignée d'études de 2007 à 2013 concernant essentiellement les larves de *T. molitor* (ver de farine). Trois paramètres ont été pris en compte au travers d'analyses du cycle de vie (ACV) et comparés avec des modes d'élevage conventionnels pour la production de viande, et avec la production de soja pour l'alimentation animale : i) le potentiel de réchauffement planétaire (PRP), ii) l'utilisation de l'énergie fossile (UEF) et l'utilisation au sol (US). Ainsi, pour PRP et US, l'empreinte écologique de l'élevage du ver de farine apparaissait plus forte que le soja mais moins que l'élevage d'animaux de rente. En ce qui concerne le paramètre UEF il serait « quasi identique » entre les bovins et les vers de farine. Les résultats de ces analyses peuvent sembler inattendus mais ils s'expliquent en fait par la physiologie même des insectes qui, étant incapable de réguler leur température, ont besoin de chaleur et d'humidité (28 °C et 70 % d'humidité). Ce qui entraîne, lorsque les zones d'élevage se trouvent en pays tempérés, des dépenses énergétiques qui alourdissent leur empreinte écologique.

Plus récemment, une étude de l'ACV d'élevage de ver de farine, concluait que « *La production généralisée de protéines à partir de vers de farine s'avère durable et compatible avec la conservation de la biodiversité. En effet, il a moins d'impacts sur l'écosystème, en cohérence avec la nécessité d'occuper moins de terres pour la production d'une quantité égale de protéines, par rapport au processus de production et d'abattage du porc* » (Vinci et al., 2022). Une autre étude recommande la valorisation des déchets organiques et notamment issus de l'alimentation humaine, en les destinant à l'élevage des insectes comestibles (Smetana, 2023). Ce serait un moyen de réduire considérablement l'impact environnemental de cette industrie *NovelFood*. Cependant cette approche se heurte aux barrières sanitaires visant à éviter les contaminations biologiques à partir de déchets alimentaires.

En ce qui concerne la production de gaz à effet de serre (GES), les élevages d'insectes produiraient moins de GES que les élevages conventionnels. Cependant, si les insectes concernés hébergent des bactéries méthanogènes dans leur système digestif comme les blattes, les termites et les scarabées, le méthane produit (CH<sub>4</sub>, un GES particulièrement radiatif) pourrait remettre en cause cet avantage. Les faibles émis-

sions de GES par les insectes eux-mêmes, pourrait être un critère de sélection des espèces à élever dans l'industrie.

Enfin, un point sur lequel il y a consensus, est la consommation d'eau. Les élevages d'insectes ne réclament pas plus d'eau que celle apportée par les aliments. C'est un point qui mérite d'être pris en compte car l'agriculture, selon la FAO (citée par l'Anses, 2014), consomme jusqu'à 70 % de la ressource en eau douce extraite des eaux souterraines, et des eaux de surface.

Il reste donc nécessaire d'approfondir les recherches pour améliorer les modes d'élevage d'insectes comestibles au regard de leur empreinte écologique.

### **3.2.3.2. Les insectes et la biodiversité**

Les insectes jouent un rôle important dans la biodiversité, car **ils apportent de la matière organique au sol** par décomposition des déchets. Ils contribuent ainsi à la fertilisation des sols et *in fine* à l'assimilation des nutriments par les plantes. De plus, ils représentent une **source nutritive majeure** pour **d'autres espèces**. Ils tiennent ainsi une place essentielle de la chaîne trophique, i.e. l'ensemble des chaînes alimentaires reliées entre elles et dans lesquelles circulent de la matière et de l'énergie. Les élevages d'insectes ne pourraient intervenir sur la biodiversité que par un déséquilibre induit par des échappements et des invasions d'insectes élevés sur l'environnement proche des zones d'élevage. Cette éventualité et ses conséquences demandent aussi à être évaluées au même titre que l'emprise environnementale des élevages.

### **3.2.3.3. Impacts environnementaux liés à la culture des microalgues**

En fait, concernant la production des microalgues, les études sont principalement orientées vers l'efficacité des processus (consommation d'énergie, d'eau, d'intrants) et l'impact environnemental (bilan carbone). Des travaux d'analyse de cycles de vie ont été réalisés pour différents types de processus de production, et prenant en compte l'impact de la production des intrants eux-mêmes. Ces travaux couvrent la culture proprement dite des microalgues, responsable de la plus grande part de l'impact (consommation d'énergie et de nutriments), ainsi que les diffé-

rents traitements aval aboutissant à la fabrication de produits commercialisables, avec des impacts variés selon la nature des produits finaux.

Dans le cas des produits pour l'alimentation, les analyses de cycle de vie mettent en évidence des variations importantes selon les méthodes de culture (autotrophie, mixotrophie) (Quintero *et al.*, 2021). Sur le bilan carbone, s'il est reconnu qu'il est plus favorable pour la production de protéines issues de la culture de microalgues que pour celles de protéines animales, il reste plus élevé que pour les cultures terrestres traditionnelles selon une étude (Ye *et al.*, 2018). Néanmoins, si on prend en compte la richesse en micronutriments de la spiruline, comme le bêta-carotène, alors l'impact environnemental de l'industrie des microalgues devient plus faible (à production équivalente des mêmes combinaisons nutritionnelles de protéines et de bêta-carotène). Ces variations rendent nécessaires des connaissances plus précises sur l'impact des cultures à l'échelle industrielle, pour en cerner précisément le bilan environnemental dont le bilan carbone.

Enfin, comme pour toute industrie, la culture industrielle des microalgues doit s'efforcer de réduire son impact carbone et son impact environnemental par le développement de bioéconomie circulaire. Néanmoins, les contraintes sanitaires sur les produits destinés à l'alimentation pourraient-ils limiter l'application aux microalgues alimentaires de modes d'économie circulaire comme par exemple l'utilisation d'eaux usées (en guise d'apport nutritif en remplacement des milieux synthétiques à fort impact environnementaux) (Lim *et al.*, 2021) ?

Une étude scientifique a montré que les microalgues, et d'autres organismes microscopiques de nature végétale, pourraient contribuer à nourrir la population mondiale croissante de manière plus durable que les systèmes agricoles conventionnels, source majeure d'émissions de gaz à effet de serre et de pollution environnementale (Diaz *et al.*, 2023).

Stephen Mayfield, leader de l'équipe, déclare : « Beaucoup d'entre nous connaissent le potentiel des algues pour l'alimentation depuis des années et les étudient en tant que source de nourriture, mais aujourd'hui, avec le change-

ment climatique, la déforestation et une population de huit milliards de personnes, la plupart des gens se rend compte que le monde doit tout simplement devenir plus efficace dans la production de protéines ».

Une étude de 2014 citée dans l'article a révélé que les algues peuvent produire annuellement 167 fois plus de biomasse utile que le maïs, à surface utile équivalente. D'autres modèles prévoient que les souches d'algues existantes pourraient potentiellement remplacer 25 % de la consommation européenne de protéines et 50 % de la consommation totale d'huile végétale lorsqu'elles sont cultivées sur des terres disponibles, qui ne sont pas actuellement utilisées pour les cultures traditionnelles.

« Le plus grand avantage est la production de protéines par acre. Les algues éclipsent tout simplement l'étalon-or actuel qu'est le soja en produisant au moins 10 fois, voire 20 fois, plus par acre », soulignent les auteurs.

De plus, certaines espèces d'algues peuvent être cultivées dans des eaux saumâtres ou salées, l'eau douce pouvant être alors réservée à d'autres fins.

Il reste cependant des défis à relever, à commencer par la recherche ou le développement de souches d'algues qui répondent aux critères majeurs que sont : le rendement élevé de la biomasse, la teneur élevée en protéines, le profil nutritionnel avantageux et les conditions de culture les plus efficaces en termes d'utilisation des terres, de besoins en eau et d'apports en nutriments.

Selon M. Mayfield, les approches les plus souhaitables pour le développement commercial d'une culture d'algues à haute qualité nutritionnelle et environnementale supposeraient une combinaison de sélection traditionnelle et d'ingénierie moléculaire : « C'est de cette manière que les cultures modernes sont développées, et c'est de cette manière que les algues seront développées ».

La nutrition et le rendement ne sont pas les seules considérations à prendre en compte. Il faudra peut-être modifier la couleur, le goût et diminuer l'odeur habituelle de poisson de ces microalgues pour convaincre certains consommateurs. D'autres expériences ont déjà démon-

tré la possibilité de modifier ces caractéristiques organoleptiques tout en augmentant la teneur en protéines de nouvelles souches d'algues.

Selon M. Mayfield : « En fait, le plus grand défi pour le développement commercial n'est pas nécessairement d'ordre scientifique, technique ou esthétique. Il s'agit de la capacité à faire évoluer la production à l'échelle mondiale. On ne peut pas connaître tous les défis à relever pour passer à cette échelle tant qu'on ne l'a pas fait. Mais le monde l'a réalisé [avec] les smartphones, les ordinateurs, les panneaux photovoltaïques et les voitures électriques – tous ces produits présentaient des défis, et nous les avons surmontés pour amener ces "nouvelles" technologies à l'échelle mondiale, alors nous savons que nous pouvons le faire avec les algues.»

Selon lui, le besoin de systèmes alimentaires alternatifs n'a jamais été aussi urgent, alors que la population humaine augmente sans cesse, poussant les ressources et les systèmes jusqu'au point de rupture. Il conclut : « La seule façon d'éviter un avenir vraiment sombre est de commencer à faire la transition dès maintenant vers un avenir beaucoup plus durable, et les algues en tant qu'aliments sont l'une de ces transitions que nous devons faire ». Sans être aussi maximaliste, les résultats de ces travaux et d'autres dans le même domaine (Gouda et al., 2022) nous incitent à être pro-actifs.

## 4. Synthèse

### 4.1. Avantages /Inconvénients des nouveaux aliments vs. les aliments traditionnels

#### 4.1.1. Concernant les insectes

À ce jour, 1900 espèces d'insectes sont recensées comme comestibles dans le monde, et ils font partie du régime alimentaire de nombreux pays.

L'organisation des Nations unies pour l'agriculture et l'alimentation (FAO) met en avant *quatre critères pour favoriser et développer l'élevage et l'introduction des insectes dans l'alimentation* (van Huis et al., 2013).

##### 1- Des qualités nutritionnelles avérées

Les insectes comestibles ont une valeur nutritionnelle élevée et peuvent servir d'aliments d'appoint. Ils fournissent un apport intéressant en énergie, en graisses, en protéines et en fibres et, selon l'insecte, peuvent être de bonnes sources de micronutriments tels que le zinc, le calcium et le fer. Ils sont une source de protéines pouvant se substituer à la viande traditionnelle.

##### 2- Des élevages économiquement fiables

Les insectes comestibles offrent de multiples avantages pour l'environnement. Ils émettent beaucoup moins de gaz à effet de serre que la plupart des autres sources de protéines animales et nécessitent moins d'eau. De plus, les superficies requises pour les élever sont nettement moins importantes que celles nécessaires à la production animale. Ils présentent un très bon rendement de conversion des intrants alimentaires en protéines. Les grillons, par exemple, ont besoin de 12 fois moins d'intrants alimentaires que les bovins pour produire la même quantité de protéines. Et pour s'assurer que les normes internationales de sécurité sanitaire des aliments sont respectées, la FAO a publié, en collaboration avec l'Université Khono Kaen de Thaïlande, un guide sur l'élevage écologique des grillons : *Guidance on sustainable cricket farming* (Hanboonsong, 2020).

##### 3- L'ouverture de perspectives économiques

Les insectes comestibles peuvent procurer des moyens d'existence et des revenus finan-

ciers attractifs. Sachant que l'élevage des insectes ne réclame que peu d'espace, il est possible de le pratiquer en milieu urbain aussi bien qu'en milieu rural. Les insectes comestibles sont aussi aisément transportables et souvent faciles à élever sans devoir suivre une formation approfondie. L'élevage des insectes offre donc des perspectives économiques à ceux qui n'ont qu'un accès minimal à la terre, à la formation professionnelle et à d'autres ressources.

##### 4- Une ressource sous-exploitée

La croissance démographique mondiale se poursuivant, l'agriculture ainsi que les ressources naturelles seront sous tension pour nourrir la population. Pour répondre à la demande mondiale en protéines et autres sources d'aliments nutritifs, la FAO estime que des solutions novatrices doivent être trouvées et l'élevage des insectes en est une. Alors qu'ils sont consommés dans de nombreuses régions du monde, l'organisation regrette que le potentiel économique et nutritionnel des insectes comestibles demeure globalement sous-exploité. Elle insiste néanmoins sur le fait que l'innocuité et l'hygiène doivent être au cœur des préoccupations et a publié un document en ce sens : *Looking at edible insects from a food safety perspective* (Regard sur les insectes comestibles sous l'angle de la sécurité sanitaire des aliments). Ce dernier a pour objectif d'aider à définir les pratiques d'hygiène et de production particulières à ce secteur.

La FAO rappelle qu'aujourd'hui **2,5 milliards de personnes consomment des insectes** et ce peut être là une des moyens de lutte contre la sous-nutrition. Certaines populations, dites entomophages, ont déjà adopté cette habitude alimentaire. Par exemple, en Asie ou en Amérique latine, les gens mangent traditionnellement des insectes, criquets, fourmis ou scarabées, adultes ou au stade larvaire. Cette alimentation s'est développée en Afrique et en Amérique du Sud, mais n'appartient pas encore aux habitudes alimentaires des occidentaux.

**En Europe**, l'Union européenne a adopté un texte encadrant le commerce et la consommation de ces nouvelles denrées : *le Règlement d'exécution de l'Union européenne 2002-1322 de la Commission du 25 juillet 2022.*

**Pour les pays occidentaux en général**, Paul Vantomme, chargé du programme sur les insectes comestibles à la FAO, déclare : « *On peut (pourrait) manger des insectes sans avoir aucune réglementation, C'est ce qui se passe dans beaucoup de pays en Afrique, en Asie du sud-est, en Chine, au Mexique. C'est une nourriture traditionnelle. Comme nous mangeons des crevettes, il y a des gens qui mangent des sauterelles. Cela n'a pas été réglementé car c'est considéré, même dans ces pays-là, comme une nourriture occasionnelle, saisonnière, qui n'est pas un aliment de base* ». Mais finalement : « *L'Europe est peut-être en retard au niveau de l'utilisation des insectes comme source d'alimentation humaine et animale, mais d'un autre côté, elle est peut-être un peu en avance au niveau de la réglementation* ». Ainsi, la Belgique a, la première en Europe, le 1<sup>er</sup> janvier 2018, autorisé la mise sur le marché de trois puis dix espèces d'insectes pour l'alimentation humaine.

**En conclusion**, les insectes comestibles représentent **une industrie qui devrait atteindre près d'un milliard de dollars annuel au cours des prochaines années**. Une piste prometteuse pour l'alimentation humaine ou animale. Un développement plus complet des industries de insectes comestibles est proposé en Annexe 3.

## **4.1.2. Concernant les microalgues**

On observe dans le monde une tendance croissante vers des **régimes végétariens** et un intérêt pour les **sources de protéines alternatives** comme les microalgues. Les populations des pays économiquement développés sont de plus en plus attentives à leur santé. En outre, on constate une augmentation de la consommation de **compléments alimentaires**, dans une optique préventive ou de bien-être en particulier.

### **4.1.2.1. La spiruline**

Parmi les 2 000 espèces de cyanobactéries seulement 36 espèces d'*Arthrospira* sont comestibles. L'espèce la plus consommée et cultivée étant *Arthrospira platensis* (anc. *Spirulina platensis*).

Les Aztèques (civilisation précolombienne 1200-1521 apr. J.C.) et d'autres Méso-Américains, ont largement consommé la spiruline. Cette consommation pourrait même être plus ancienne, aux frontières du Tchad actuel sous

l'Empire du Kanem (IX<sup>e</sup> s). Au début des années 2000, les Kanembou en consomment environ 40 g par personne et par jour, répondant à une partie significative de leurs besoins nutritionnels (Abdulqader, 2000).

### **4.1.2.2. La chlorelle**

La chlorelle (*Chlorella luteoviridis*, *Chlorella pyrenoidosa*, *Chlorella vulgaris*) a été découverte en 1890 par le biologiste hollandais Beyerinck qui réalisa la première culture expérimentale d'algue. De par ses propriétés nutritionnelles elle a rapidement suscité de nombreux intérêts pour lutter contre la faim dans le monde voire comme aliment de l'armée. Mais l'engouement qu'elle suscitait à l'époque aurait baissé du fait de ses coûts de production à l'échelle industrielle. Les méthodes de culture ayant progressé et leur coût ayant diminué avec, elle revient au-devant de la scène.

Elle présente des intérêts nutritionnels certains (voir § 3.1.2.1.) en termes de lipides (acides gras polyinsaturés), protéines, caroténoïdes, vitamines (B12), oligoéléments. *Chlorella pyrenoidosa*, connue sous le nom de ONC-107, contient spécifiquement des complexes de protéines et polysaccharides composés de galactose, rhamnose et arabinose (Kralovec et al., 2007).

### **4.1.2.3. Développement des marchés de microalgues**

Le cabinet conseil en nutrition *PepsWork* (2020) considère, en se basant sur l'analyse de *Mintel* (Global Market Intelligence & Research Agency), que « les aliments et les boissons aromatisés aux algues devraient être la **prochaine grande tendance des « superaliments »** en Europe (vitamines, minéraux, protéines végétales). »

Ces, déjà disponibles sur le marché se retrouvent dans les produits suivants :

- « **boissons fonctionnelles** »,
- « **aliments fonctionnels** »,
- « **produits d'épicerie** » : chocolat, céréales, bonbons, jus de fruits, pâtes,
- « **compléments alimentaires** » : tablettes, poudres ou capsules, paillettes.

Les arguments marketing ciblent principalement les jeunes et sont en relation avec la recherche

d'une alimentation saine, au bien-être, et un retour à des produits naturels peu transformés, et une réduction de la consommation de produits carnés (flexitarisme).

L'industrie mondiale des microalgues se concentre principalement aux **États-Unis, en Europe, en Chine et à Taïwan, et au Japon**, la répartition géographique évoluant toute-

fois dans un marché en croissance significative (Tableaux 7 et 8). Selon le rapport publié par *Meticulous Research* et l'*European Algae Biomass Association*, au cours des 7 prochaines années, le marché des microalgues enregistrera un taux de croissance annuel de **8,3 %** et la taille du marché mondial devait atteindre **2 080 millions d'USD en 2024**.

Tableau 7. Diverses espèces d'algues cultivées, tonnage et applications selon les pays (d'après Spolaore et al., 2006).

Algue	Production annuelle	Pays	Applications et produits dérivés
Spiruline ( <i>Arthrospira</i> )	3000 t (poids sec)	Chine, Inde, USA, Birmanie, Japon	Nutrition humaine et animale, cosmétiques, phycobiliprotéines
<i>Chlorella</i> spp.	2000 t (poids sec)	Taiwan, Allemagne, Japon	Nutrition humaine, aquaculture, cosmétiques
<i>Dunaliella salina</i>	1200 t (poids sec)	Australie, Israël, USA, Chine	Nutrition humaine, cosmétiques, β-carotènes
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	500 t (poids sec)	USA	Nutrition humaine
<i>Hematococcus pluvialis</i>	300 t (poids sec)	USA, Inde, Israël	Aquaculture, astaxanthine
<i>Cryptocodium cohnii</i>	240 t (huile DHA)	USA	Huile de DHA
<i>Shizochytrium</i>	10 t (huile DHA)	USA	Huile de DHA

Tableau 8 : Production mondiale des principales microalgues (CGAAER, 2019).

Espèces	Production annuelle	Pays producteurs	Produits et marchés
Spiruline	10000 t (poids sec)	Chine, Inde, USA, Japon, Myanmar, France	Nutrition animale et humaine, phycobiliprotéines, Cosmétiques
Chlorelle	4000 t (poids sec)	Taiwan, Allemagne, Japon	Nutrition humaine, aquaculture, cosmétiques
Dunaliella	1200 (poids sec)	Australie, Israël, USA, Chine	Nutrition humaine, cosmétiques, β-carotène

À moins de 400 millions de dollars pour une production de près de 32 000 tonnes selon une étude marketing d'IndexPresse (IndexPresse, 2022), le marché des microalgues dans le monde demeure toutefois pour l'instant modeste. **En France**, on produit quelques dizaines de tonnes de microalgues (les ¾ destinés à l'alimentation humaine) avec une progression qui semble forte (PepsWork, 2020).

La première exploitation voit le jour en 1998 dans le Larzac (100 m<sup>2</sup>) suivie par de nombreuses microexploitations (< 1 t / an). La filière s'organise et crée en 2009 sa Fédération des spiruliniers de France ([www.spiruliniersdefrance.fr](http://www.spiruliniersdefrance.fr)) regroupant les producteurs dans un concept de « filière paysanne », se distinguant de la filière industrielle (TRAME, 2018). Parmi les producteurs industriels de microalgues, on peut citer LLDC Algae, installé en Bretagne, Microphyt dans l'Hérault.

Parmi les producteurs d'aliments à base de

microalgues en France, on peut citer la société Algae West Store qui propose des biscuits, des pâtes à tartiner ou des préparations à saupoudrer sur les salades, des gels énergétiques, des snacks salés. Ces produits font l'objet de collaborations avec des grands groupes comme Actalia. L'annexe 4 donne quelques compléments sur les aspects industriels de la production et de la transformation des microalgues.

## 4.2. Impacts économiques et sociaux (notamment d'ordre professionnel)

### 4.2.1. Incidences éthiques des orientations alimentaires collectives

Lorsque ni la science, concernant ce qui est possible ou ne l'est pas, ni le droit pour ce qui est autorisé ou interdit, ni la morale, quelle qu'en soit la nature, distinguant le bien du mal, n'ap-

portent de réponse satisfaisant à une question de dimension sociétale, se pose l'indication d'une réflexion éthique.

L'alimentation utilisant de « nouveaux aliments » tels qu'insectes ou microalgues se situe dans cette configuration.

Sur le plan scientifique, nous manquons d'étude(s) nous permettant d'évaluer l'impact à court, moyen ou long terme, sur des populations entières, d'alimentation comprenant, de manière courante, des insectes ou des microalgues. Cette évaluation devrait comporter notamment des résultats relatifs à la qualité nutritionnelle, mais aussi aux éventuels effets nocifs sur la santé, de nature microbiologique notamment. Des études épidémiologiques dans des populations consommant en fait ces « nouveaux aliments » de manière habituelle, depuis de nombreuses années, nous permettraient d'en proposer, éventuellement, la promotion pour des populations nourries de manière que l'on pourrait qualifier de « traditionnelle ». Cette configuration pourrait être réalisée par exemple en appliquant à ces dernières des pratiques alimentaires de populations de pays africains ou asiatiques. Ce qui est bons pour les uns, pourquoi ne le serait-il pas pour les autres ?

Du point de vue du droit, il existe une réglementation abondante autorisant ou non l'utilisation d'insectes et microalgues dans l'alimentation humaine, et animale. Les règlements, multiples, sont issus essentiellement d'études, à des échelles limitées, de toxicité (y compris de nature immunologique), de dangers de contamination, ou de digestibilité à court terme. Ils n'excluent pas les questions de tolérance à large échelle sur la durée, telles qu'envisagées dans le chapitre précédent.

Au plan de la morale, se pose la question de savoir s'il est bien ou mal, s'il est nécessaire ou non, au plan sociétal, de proposer une « alimentation nouvelle » composée notamment d'insectes et de microalgues, à des populations entières, au motif, outre les sujets de qualités nutritionnelles et de tolérance, qu'elle serait moins consommatrice dans sa production, d'énergie et d'eau, et moins génératrice de gaz à effet de serre.

Enfin, au cours de la réflexion éthique intervient une notion essentielle pour les populations qui seraient concernées par une extension de la

consommation de « nouveaux aliments » pour des raisons de politique générale, économique et environnementale, celle de l'acceptabilité. En effet, depuis l'antiquité, s'alimenter dépasse largement le cadre exclusif de l'acquisition de moyens de subsistance. Sur le plan physiologique, à côté de remplir les besoins nutritionnels, l'alimentation satisfait au désir de satiété, au plaisir de l'apparence, des parfums, des saveurs, des couleurs. Elle interroge dans la relation entre une alimentation « variée » et une alimentation végétarienne voire sans aucun produit animal. A ce propos, devra se discuter la consommation d'insectes notamment sous l'angle : *Les insectes sont-ils sentients ?* Cette question ouvre sur des enjeux en matière d'éthique des élevages d'insectes (Annexe 2).

Sur le plan relationnel, le repas est une occasion de se rencontrer, de discuter, de résoudre parfois certains problèmes, en toute convivialité. Sous un angle traditionnel, les repas occupent une place importante, religieuse ou coutumière, dans la vie des populations, englobant la préparation des mets, parfois en famille, où l'éducation à l'art culinaire peut faire partie de l'éducation en général. Le passage d'une alimentation traditionnelle à la préparation et la consommation de « nouveaux aliments » pourrait-il perturber cette éducation ? « *Manger seul est malsain pour un philosophe* », affirmait Kant dans *l'Anthropologie d'un point de vue pragmatique* (1798). D'après ce dernier, consommer un repas en solitaire se réduit à la « *satisfaction corporelle* », au plaisir des sens, du palais, du nez. Au contraire, en bonne compagnie, il est l'occasion d'un plaisir plus subtil : celui de la conversation.

De nombreux autres philosophes se sont emparé de la thématique de l'alimentation, cela depuis l'antiquité.

Hippocrate (5<sup>e</sup> siècle av. J.-C.), avait affirmé la primauté de l'alimentation dans la santé : « *Que ton alimentation soit ta première médecine* ». Pour Platon (5<sup>e</sup> siècle av. J.-C.) : « *La rhétorique correspond pour l'âme à ce qu'est la cuisine pour le corps* ».

L'éthique alimentaire est une éthique multiple, plus qu'une éthique appliquée à la seule question de l'alimentation. Elle est impliquée dans le territoire complexe de l'alimentation qui cherche à clarifier, à donner du sens à l'acte de se nourrir,

la plus humainement essentielle des nécessités pour survivre. « *Il faut manger pour vivre, et non pas vivre pour manger* ». Ce proverbe est extrait de *l'Avare de Molière*. Cependant il est possible qu'il provienne de l'antiquité grecque. En effet, *Diogène Laërce* l'attribue à Socrate (5<sup>e</sup> siècle av. J.-C.) Il s'agit là d'une critique de la gourmandise. Par extension, ce proverbe signifie qu'il ne faut pas confondre la fin et les moyens.

Dans ses *Méditations*, René Descartes affirmait : **« Je suis une chose qui pense. »** Mais une révolution philosophique a remis en question, au XIX<sup>e</sup> siècle, cette affirmation. C'est ainsi que Brillat-Savarin déclarait, dans son traité de gastronomie, *La Physiologie du goût* (1825) : « *Dis-moi ce que tu manges, je te dirai qui tu es* ». Ludwig Feuerbach insiste dans ses *Manifestes philosophiques* (1839-1845) sur : « *L'homme est ce qu'il mange* ». Quant à Friedrich Nietzsche, il affirme un peu plus tard : « *Il est une question dont le "salut de l'humanité" dépend beaucoup plus que de n'importe quelle subtilité de théologien : c'est la question du régime alimentaire* » (*Ecce Homo*, 1888). Gaston Bachelard disait, à propos de l'alimentation, « *l'homme n'est pas une création du besoin mais une création du désir* » (Bachelard, 1938).

Bien qu'étant une notion indéfinie, « penser sa nourriture » signifie réfléchir au rapport qui existe entre l'homme, son développement, son épanouissement, et son environnement, l'ensemble pouvant être incorporé dans le concept « *One Health* »<sup>8</sup>. Ce qui est tiré des différentes sciences humaines, telle que la philosophie, mais aussi l'histoire, l'ethnologie, ou la sociologie, c'est que « l'homme est un être mangeur et que cette situation est pour lui à la fois une situation naturelle et sociale » (Stengel, 2022).

Ce court rappel de réflexions menées depuis des millénaires à propos de la place de l'alimentation dans l'existence humaine, nous incite à poursuivre cette démarche concernant la perception des « nouveaux aliments » par nos contemporains (Pelluchon, 2017).

## 4.2.2. Incidences professionnelles

L'augmentation des demandes en produits alimentaires, qui suit celle de l'accroissement des populations, est aussi guidée par le changement des habitudes culinaires et par la recherche d'un plus large accès à des aliments de meilleure qualité nutritionnelle. Une réponse à ces demandes concerne l'utilisation de sources nouvelles de nourriture, comme les insectes et les microalgues qui seraient capables d'apporter rapidement des **quantités très importantes de substances utiles en nutrition humaine et animale**.

**Les industries spécialisées** de ce domaine devraient surtout enrichir les régimes en protéines, rapidement, pour plus de 250 000 tonnes par an pour les entreprises françaises productrices d'insectes, mais aussi en lipides, alternatives aux huiles végétales, utilisables en aquaculture et pour la consommation des animaux comme les porcs et les volailles. Si on ajoute à cela l'utilisation des déjections d'insectes comme engrais organiques, valables même en agriculture biologique, et à un degré moindre, celle de la chitine des cuticules en cosmétologie, le tout associé aux apports plus spécifiques des microalgues, on devrait assister à l'entrée sur les marchés d'une concurrence forte avec certains produits de provenances plus traditionnelle.

L'introduction des aliments disruptifs en alimentation animale et humaine va donc être à l'origine d'incidences professionnelles qui toucheront divers secteurs, notamment l'agriculture, l'industrie alimentaire, la santé publique et la réglementation.

### Préjudices professionnels

Individuellement, **la disparition de certaines activités** devrait entraîner celle de nombreux emplois qui y sont associés. Dès lors l'incidence professionnelle relève de préjudices qui viennent compléter ceux relatifs aux pertes de gains professionnels et vise « les incidences périphériques d'un dommage touchant à la sphère professionnelle, comme le préjudice subi par la victime en raison de la nécessité de devoir abandonner la profession qu'elle exerçait au profit d'une autre

8 « One Health » (« Une seule santé ») est une approche intégrée et unificatrice visant à optimiser la santé des personnes, des animaux et des écosystèmes, et à trouver un équilibre entre celles-ci. Elle utilise les liens étroits et interdépendants qui existent entre ces domaines pour créer notamment de nouvelles méthodes de surveillance des maladies et de lutte contre celles-ci.

qu'elle a dû choisir »<sup>9</sup>, l'origine étant ici la situation nouvelle créée par l'arrivée d'aliments disruptifs.

L'essor des aliments disruptifs peut se traduire inversement par la **création d'emplois** et la **transformation des compétences**. En Europe, où l'on compte en 2024 seulement 1000 ETP dans les secteurs considérés, de nouveaux emplois peuvent être générés dans la recherche, la production, et la commercialisation. Des postes spécialisés dans la biotechnologie, l'ingénierie alimentaire, et le marketing innovant pourraient émerger. Au total on prévoit la création de 25 000 emplois d'ici 20 ans ! Les travailleurs de l'industrie alimentaire devront peut-être acquérir de nouvelles compétences, notamment dans l'utilisation de technologies avancées et la compréhension des nouvelles chaînes d'approvisionnement.

### **Changements dans les pratiques agricoles (cultures et élevage) et en aquaculture**

L'introduction des aliments disruptifs, tels les insectes et les microalgues, peut nécessiter des ajustements dans les pratiques agricoles. Par exemple la demande de nourriture pour les insectes pourrait impacter l'utilisation des déchets agricoles et bouleverser leurs conditions de valorisation. Par voie de conséquence, les productions elles-mêmes seraient impactées.

Dans ce cas les agriculteurs et éleveurs devront peut-être acquérir de nouvelles compétences et adopter de nouvelles techniques en cultures et élevages, responsables, également, d'impacts économiques. En effet si les coûts initiaux d'adaptation et d'investissement dans ces nouvelles cultures ou méthodes d'élevage pourraient être élevés, celles-ci pourraient, à long terme, réduire les coûts de production et améliorer la durabilité.

Il en serait de même de l'utilisation des insectes en aquaculture. Ainsi, au niveau le plus élevé de substitution alimentaire de la farine et/ou de l'huile de poisson par du BSFL (*Black Soldier Fly Larvae*, larve de mouche soldat noire), substitution qui ne diminue pas les performances des trois espèces aquacoles, 40 843 tonnes de poissons pélagiques pourraient être épargnées

chaque année sur les pêches océaniques des Etats-Unis (Moore et al., 2024). Par conséquent, l'intégration du BSFL dans le régime alimentaire des espèces aquacoles pourrait réduire la demande de poissons pélagiques provenant des captures océaniques et contribuer positivement à la durabilité de la production aquacole mais en perturbant fortement les habitudes des pêcheurs.

### **Transformation de l'industrie alimentaire**

Les entreprises alimentaires devront investir dans la recherche et le développement pour créer de nouveaux produits à base des nouveaux aliments. Cela peut induire des changements dans les formulations, les processus de production et les chaînes d'approvisionnement.

Le développement de produits à base de nouveaux aliments dépend en grande partie de leur acceptation par les consommateurs. Les professionnels du marketing devront informer les populations sur les avantages de ces produits dans le but de surmonter les réticences culturelles et psychologiques.

### **Impacts sur la nutrition et la santé**

Les nouveaux aliments et les nouvelles présentations qu'ils entraînent (nanoparticulaires, par exemple), sont susceptibles de présenter des risques pour la santé : les autorités de santé publique et les régulateurs devront les évaluer. Cela implique des tests fiables et adaptés, pour s'assurer de leur innocuité. Les nutritionnistes et les diététiciens devront être formés sur les avantages et les **dangers et risques des nouveaux aliments transformés** afin de pouvoir conseiller leurs patients en fonction de leurs besoins.

### **Réglementation et politiques publiques**

Les régulateurs devront adapter les lois et les normes alimentaires pour inclure ces nouveaux produits. Cela peut impliquer la révision des classifications alimentaires et des exigences de sécurité. Des politiques de soutien pourraient être nécessaires pour encourager la production et la consommation d'aliments disruptifs, y compris des subventions pour les agriculteurs et les entreprises qui adoptent ces innovations.

9 L'incidence professionnelle se réfère à l'impact d'un accident ou d'une maladie sur la capacité professionnelle et la carrière de la victime. Elle inclut la perte de revenus, la diminution des opportunités de carrière, les difficultés de reconversion professionnelle et les contraintes liées au travail après l'événement.

## Enjeux éthiques et durabilité

**En termes d'éthique**, l'acceptation de nouveaux aliments peut soulever des questions telles que celles relatives au bien-être animal, aux conséquences de modifications génétiques, et à l'impact environnemental, questions qui toutes auront des incidences professionnelles positives ou négatives.

**En termes de durabilité**, de nombreux nouveaux aliments sont introduits pour leur potentiel à améliorer la durabilité des systèmes alimentaires. Les professionnels devront évaluer l'empreinte écologique de ces nouveaux aliments et leur contribution à la sécurité alimentaire des populations.

### En conclusion

L'introduction de nouveaux aliments en alimentation humaine et animale représente une évolution anthropologique majeure avec des implications professionnelles étendues. Les secteurs concernés devront s'adapter par le biais de nouvelles compétences, technologies, et régulations pour tirer parti des opportunités offertes tout en relevant les défis générés.

## 4.2.3. Aspects sociologiques

Les réflexions qui suivent concernant au même titre les insectes et les microalgues sont tirées du travail de Debucquet et Friant-Perrot (2016).

### 4.2.3.1. Appréciation des dangers et des bénéfiques

À la suite des scandales sanitaires qui ont agité la société au cours des années 1990 et plus récemment, les institutions européennes ont été conduites à réglementer rigoureusement les autorisations de mise sur le marché des nouveaux aliments à « un niveau acceptable pour le consommateur » (UE, 1997). Celui-ci intervient donc de manière majeure dans les décisions hormis toute autre considération.

La radicalisation du débat a conduit au rejet de principe des aliments génétiquement modifiés. L'éclatement de la législation *Novel Food* par l'exclusion des OGM puis par le traitement spécifique des aliments issus du clonage, révèle la difficulté à intégrer au plan juridique les risques d'une autre nature que ceux relatifs à la santé et à l'environnement.

### 4.2.3.2. La présomption du caractère indésirable ou nocif de l'aliment considéré

La néophobie alimentaire est la traduction la plus courante de rejet, qui peut être temporaire, ou plus encore de refus persistant de consommation d'un aliment nouveau. Fréquente chez l'enfant, elle peut être la traduction d'une défiance chez l'adulte vis à vis d'un nouvel aliment présumé inacceptable d'aspect ou de goût, ou pire encore « mauvais pour la santé ». Sur ce plan, les allégations des industriels sur les « bénéfiques » des OGM ne permettent pas de compenser les risques réels et perçus par les consommateurs de différents pays (Magnusson et Koivisto Hursti, 2002 ; Merdji et Debucquet, 2006). En fait, depuis l'enfance, le phénomène de l'alimentation résulte d'un apprentissage complexe qui met en jeu divers facteurs, d'ordre sensoriel, émotionnel et psychologique (Chiva, 1996).

De manière plus large, à l'échelle populationnelle, l'incorporation d'un aliment participe également de la construction de l'identité d'un individu. Il faut en effet tenir compte du rôle social et culturel de l'alimentation, qui recouvre « un système complexe de normes et de règles implicites structurant les représentations et les comportements » (Noiville, 2003 ; Fischler, 1990), y compris ceux relatifs aux risques alimentaires (Debucquet, 2011). Ces normes et ces règles constituent la base sur laquelle vient s'insérer l'aliment nouveau. Contrairement à d'autres techniques pourtant très controversées comme l'ionisation (Hausser *et al.*, 1996, cités par Debucquet et Friant-Perrot, 2016), le rejet emblématique du clonage et des OGM ne se nourrit donc pas seulement de l'incertitude qui pèse sur les dangers pour la santé ou l'environnement, mais aussi de la crainte de perdre une certaine « identité alimentaire ».

À côté des dimensions culturelle et culturelle (interdiction de certains aliments dans certaines religions) que revêt l'alimentation et a fortiori l'aliment nouveau, la présomption de nocivité qui fonde le mécanisme d'autorisation de mise sur le marché dans le règlement *Novel Food* repose sur une évaluation scientifique des risques opérée par l'EFSA, elle-même fondée sur un calcul probabiliste mettant en jeu la gravité du danger et sa possibilité d'occurrence. Pour le profane cela a été mis en exergue ces dernières

années dans le cadre de la crise de la vache folle (Raude, 2007) à la faveur de la notion de risque subjectif (Slovic, 1987) qui intègre d'autres facteurs comme le caractère volontaire ou involontaire de l'exposition aux dangers, le caractère connu ou inconnu du risque et enfin le nombre de personnes exposées, l'ensemble constituant la « criticité ». C'est ainsi qu'il a pu être montré que le caractère inconnu, non volontaire et potentiellement vaste du risque lié au génie génétique, au clonage et à l'ionisation contribue très fortement à accroître l'anxiété du public (Fife-Schaw et Rowe, 2000). Ces considérations ouvrent sur l'entrée dans un régime de précaution : le danger est plausible mais reste mal défini, le risque (probabilité de constitution du danger) est donc difficile à évaluer, sinon à chiffrer, les moyens d'évitement ne sont pas (encore) disponibles, et *in fine* la décision politique d'autorisation de mise sur le marché du nouvel aliment ne peut être que conditionnelle et surtout révisable, selon l'avancée de connaissances.

Les manipulations technologiques du vivant constituent pour certaines de ces innovations technologiques des nouveautés radicales, c'est-à-dire ne trouvant pas leur place dans l'ordre naturel et *a fortiori* l'ordre alimentaire (Douglas, 1966). Ainsi, la thématique du désordre est très présente dans les discours des réfractaires aux OGM (Debucquet, 2011) : « À force de tout mélanger on ne saura plus qui est le père ou la mère » et, en vertu du célèbre principe d'incorporation « Je suis ce que je mange » (Rozin et al., 1986), ni même « d'où on vient ».

## 5. Conclusion

### 5.1. Actions de prévention et de précaution

**Face aux besoins alimentaires qui se profilent pour les décennies à venir, et à l'impact de leur production sur l'environnement, quels sont les considérants qui orienteraient vers une « massification » de la production d'insectes et de microalgues comme « nouveaux aliments » parallèlement ou en remplacement de mesures d'adaptation de l'alimentation traditionnelle ?**

L'accent est mis de manière de plus en plus insistante sur l'impact que causent les productions d'aliments carnés et végétaux sur notre environnement. Sont en particulier mises en avant *l'empreinte carbone, la production de gaz à effet de serre et la consommation d'eau*. Pour nourrir 9 milliards d'individus sur Terre à l'horizon 2037 (sachant que l'on observe un certain ralentissement de la croissance démographique mondiale), il est donc nécessaire d'adapter dès à présent notre alimentation pour préserver notre environnement des ravages causés par les catastrophes climatiques et les désertifications liées au réchauffement de la planète. Ces recommandations sont notamment exprimées dans le rapport de France Stratégie commandé par Richard FERRAND pour l'Assemblée Nationale en 2021 (comme l'a prévu également le législateur dans la loi dite « Climat et résilience » du 24 août 2021) : « les différents plans structurant la politique de l'alimentation doivent être coordonnés dans une stratégie de transition alimentaire de long terme, prenant en compte les éléments de prospective en matière agricole, économique, environnementale, sanitaire, sociale et sociétale et proposant un cap clair de transition de notre système alimentaire vers la durabilité. La convergence des objectifs de santé (prévention de l'obésité et des autres maladies liées au régime alimentaire) et de transition écologique (réduction des émissions de gaz à effet de serre, et des intrants chimiques) contribuera à la transformation du modèle de production agricole et agro-alimentaire. »

*Ainsi, rappelons que pour produire 1 kg de bœuf, il faut environ 15 kg de céréales et environ 600 L d'eau, alors que pour produire 1 kg d'insectes, il*

*suffit de 2 kg de céréales, quasiment pas d'eau, avec zéro émission de gaz à effet de serre.*

Dès lors, si l'on opte pour une transition progressive de nos sources d'aliments fournissant une alimentation traditionnelle ancestrale, vers la production de « nouveaux aliments » tels que définis par l'Union européenne, il sera nécessaire d'en exposer les raisons par une démarche pédagogique puissante et adaptée, à l'adresse d'une part de la population, d'autre part des agriculteurs. Pour la première, il s'agira notamment d'une question d'acceptabilité, et pour les seconds d'un véritable sujet existentiel, dans les deux cas associés à une décision politique. Pour tous en effet devra être comprise et favorablement accueillie la priorité accordée sinon au sauvetage, au moins à la préservation de notre planète participant à terme à la survie de l'humanité.

**Quelles sont les situations nécessitant la mise en œuvre d'un régime de prévention ou de précaution dans la « massification » de l'utilisation des insectes et des microalgues en tant que « nouveaux aliments » ?**

Considérant 1) les dangers et les risques authentifiés dans la production, la distribution et la consommation des insectes et des microalgues, 2) les textes législatifs et réglementaires qui sont censés en prévenir la survenue, il demeure des secteurs où l'entrée dans un régime de prévention ou de précaution est nécessaire à l'échelle populationnelle, du fait :

- pour la prévention, d'insuffisance ou d'absence de politique volontariste, ou encore de lenteurs administratives de mise en œuvre,

pour la précaution, a) de dangers plausibles mais non encore strictement identifiés, b) de risques par voie de conséquence non ou mal estimés/mesurés, c) de moyens d'évitement ou d'atténuation non (encore) disponibles.

La démarche de précaution devrait notamment concerner :

- d'une part le contrôle des systèmes de production des insectes et microalgues face aux dangers de contamination par des microorganismes pathogènes pour l'Homme, face également aux risques d'échappement, en particulier par des organismes qui auraient spontanément muté et pourraient induire

des déséquilibres dommageables de la biodiversité ;

- d'autre part la tolérance physiologique des consommateurs, en termes notamment de digestibilité et de risques allergiques, retentissant in fine sur la qualité de la nutrition.

## 5.2. Recommandations *in fine* du CPP

### Quelques constats et orientations semblent faire consensus

Il faut tout d'abord rappeler que les rapports et décisions de politique publique mentionnées dans la Partie 1 sont le fruit de travaux conduits depuis des décennies par de nombreux experts et équipes scientifiques. Chacun des documents renvoie à des sources dûment référencées. A ce titre, ils sont l'aboutissement de consensus pour lesquels les connaissances scientifiques connues ont été prises en considération. Les convergences entre ces diverses approches apparaissent comme des supports solidement étayés.

Comme exprimé par la consultation d'experts organisée par la FAO et l'OMS, chaque contexte est unique et pose des défis spécifiques pour assurer la disponibilité, l'accessibilité et la consommation des régimes alimentaires, et nécessite donc une solution personnalisée pour favoriser une santé et une durabilité optimales. Les travaux menés aux diverses échelles, y compris pour la France, nous permettent de retenir des propositions concernant le système alimentaire français.

### Le système alimentaire doit devenir durable

Depuis des décennies, les incidences négatives sur l'environnement de certaines pratiques agricoles ont conduit à des efforts sur le terrain et des réglementations souvent édictées à Bruxelles pour protéger les masses d'eau, éviter les écoulements de nitrates et phosphates, réduire l'érosion des sols, limiter les contaminations par les produits phytosanitaires (autrement dénommés biocides), tenter d'entraver la déplétion des biodiversités. Mais ces efforts et règles ne suffisent pas à enrayer les dégradations. L'agriculture, et plus

largement la gestion des sols, compte pour une source importante d'émissions de gaz à effet de serre (GES), et le système alimentaire dans son ensemble pour environ 30 %. Le système alimentaire européen et français, via ses importations, diffuse hors de ses frontières certaines incidences délétères pour l'environnement local et mondial, y compris de la déforestation, tandis qu'il diminue son autonomie, accroît ses dépendances et risque d'altérer sa capacité de résilience. Le réchauffement planétaire fait peser une menace accrue sur les rendements agricoles. Enfin, le système alimentaire génère près du tiers des transports de marchandise intra-européen.

### Tout d'abord plusieurs points ressortent de ces constats concernant toute forme d'alimentation :

- La lutte contre les pertes et gaspillages alimentaires est seulement engagée, elle doit s'amplifier.
- La part des consommations de produits animaux qui excède les besoins nutritionnels et qui capte actuellement 60 à 70 % des ressources mobilisées pour l'agriculture, dont les surfaces agricoles utiles, doit diminuer.
- La part des protéagineux et légumineuses dans les rotations des grandes cultures doit croître à la fois pour réduire les importations, diminuer les besoins d'engrais azotés, et participer à l'enrichissement des sols.
- Le recyclage des nutriments (azote, phosphore, potassium, micro-nutriments) impose une moindre spécialisation géographique des productions agricoles. La lutte contre l'érosion des sols reste un impératif. Leur amélioration nécessite des pratiques qui les enrichissent en humus et donc en carbone, contribuant à la capture et séquestration du CO<sup>2</sup>.
- Le rapprochement productions — consommations plaide pour une inscription plus territoriale des systèmes alimentaires.
- Une forte intégration de l'ensemble des connaissances agronomiques, l'élaboration et la diffusion de conseils techniques adaptés à chaque situation sont indispensables pour un développement rapide et massif des diverses pratiques regroupées sous l'appellation d'agroécologie.

## La santé publique pourrait bénéficier de l'acheminement vers d'autres pratiques alimentaires.

A titre de comparaison liminaire, les interrogations ont longtemps persisté, puis les polémiques ont été volontairement entretenues, notamment par les lobbies des domaines concernés, concernant le tabagisme et l'alcoolisme, mais il n'y a plus de doute à présent sur les conséquences néfastes de ces pratiques vis à vis de la santé et de la vie en société.

Les chiffres de la malnutrition sont inquiétants. Conséquence directe d'une mauvaise alimentation, la malnutrition a de graves répercussions sur la santé. Selon l'OMS, la malnutrition se définit par les carences, les excès ou les déséquilibres dans l'apport énergétique et/ou nutritionnel d'une personne. C'est un état nutritionnel qui est la conséquence d'une alimentation mal équilibrée en quantité et/ou en qualité. La malnutrition couvre donc la sous-alimentation et la suralimentation.

Aujourd'hui dans le monde, une personne sur onze (Rapport SOFI 2023) souffre de la faim et une sur trois est en surpoids ou obèse (OMS). Ainsi, à l'échelle mondiale, 735 millions de personnes souffrent de sous-alimentation. Parmi ces personnes, 148 millions d'enfants de moins de 5 ans souffrent d'un retard de croissance d'après le rapport SOFI de 2023<sup>10</sup>. La situation en matière de malnutrition est préoccupante : 2,4 milliards de personnes ne bénéficient pas d'un accès constant à des aliments et 3,1 milliards de personnes n'ont pas les moyens d'avoir une alimentation saine (Rapport SOFI 2023).

La lutte contre la sous-alimentation doit donc faire partie des priorités politiques. C'est l'un des défis les plus importants auxquels notre société doit et devra faire face. La malnutrition est désormais présente dans tous les pays du monde et les Nations Unies estiment qu'elle touchera 2 milliards de personnes supplémentaires d'ici à 2050.

Si les inégalités sociales et la pauvreté ont un impact face à notre rapport à la nourriture, ce ne sont pas les seules causes de la malnutrition. Ainsi, la richesse relative de nos pays européens, et de la France en particulier, ne l'exonère pas de constats similaires. Notre pays suit les grandes tendances mondiales, avec une alimentation de plus en plus grasse, sucrée et salée, et une part croissante de consommation d'aliments transformés. À ces tendances se conjugue une consommation d'alcool toujours trop élevée. Le système alimentaire français doit donc encore relever de grands défis en matière de santé publique en lien avec la qualité nutritionnelle mais aussi l'alcool. C'est pourquoi, une approche élargie de la notion de politique de l'alimentation, centrée sur la promotion de régimes alimentaires sains et durables, permet d'aborder de manière systémique les enjeux alimentaires.

**Le rapport de France Stratégie « Pour une alimentation saine et durable »** commandé par et pour l'Assemblée nationale, en 2021, révèle que :

- Les principaux instruments permettant d'accompagner les consommateurs vers une alimentation plus saine et plus durable pour tous sont déjà bien identifiés :
- l'éducation à l'alimentation tout au long de la vie au plus près du terrain, assortie d'outils de partage et d'évaluation des pratiques,
- des dispositifs d'information nutritionnelle et environnementale comme le Nutri-Score ou l'affichage environnemental,
- l'encadrement de la publicité,
- des actions auprès de l'industrie pour améliorer la qualité nutritionnelle des aliments,
- le renforcement des dispositifs d'aide alimentaire,
- la mobilisation de la fiscalité nutritionnelle
- Parallèlement :
- il est possible de : i) faire évoluer la production agricole nationale pour contribuer à l'alimentation saine et durable des Français, ii) d'accélérer l'évolution de la politique agricole

<sup>10</sup> Le rapport SOFI est le rapport sur «L'état de l'alimentation et de la nutrition dans le monde 2023» (SOFI) lancé par des agences dont l'Organisation pour l'alimentation et l'agriculture, et le Programme Alimentaire Mondial (PAM).

commune pour qu'elle devienne plus favorable à l'environnement, iii) de renforcer les mesures de soutien à la transition agroécologique, ainsi que les initiatives des projets alimentaires territoriaux ;

- une meilleure répartition de la valeur ajoutée entre les acteurs doit continuer à être recherchée
- La convergence des objectifs de santé (prévention de l'obésité et des autres maladies liées au régime alimentaire) et de transition écologique (réduction des émissions de gaz à effet de serre et des intrants chimiques) contribuera à la transformation du modèle de production agricole et agroalimentaire.

### **Les savoir-faire et traditions locales gardent toute leur place**

Les recommandations pour améliorer nos pratiques alimentaires restent très générales. Elles laissent grandes ouvertes les adaptations aux diverses situations particulières et traditions culinaires. Il est même recommandé de rapprocher les consommations des productions, de favoriser les circuits courts, de privilégier les consommations des produits de saison.

Il y a encore un siècle, la plupart des régimes alimentaires réservaient une part accrue aux produits d'origine végétale. Ils n'en étaient pas moins extrêmement divers selon les régions et les traditions culinaires. Les évolutions vers des régimes plus sains et plus durables nous incitent à renouer ces savoir - manger. Pour autant, elles n'imposent aucun retour passéiste. L'ouverture de notre monde aux diverses civilisations nous donne accès à une grande variété de goûts, de saveurs, et d'accommodements des denrées disponibles.

**On le voit, nulle nécessité a priori d'imposer de « nouveaux aliments »** pour répondre aux principes directeurs réunis par la FAO et l'OMS. Mais à l'inverse ceux-ci peuvent probablement ouvrir la voie à **des pratiques plus indépendantes des habitudes, éventuellement plus équilibrées ou raisonnées. La question est de savoir si les nouveaux aliments tels qu'insectes comestibles et microalgues pourraient répondre à cette demande.** Encore faudra-t-il alors entourer leur introduction et leur éventuelle généralisation de

pédagogie et, le cas échéant, d'actions de prévention ou de précaution.

**La démarche de précaution** adoptée en 1997 trouve son prolongement lors de la consécration du principe de précaution à l'occasion de l'adoption du *Règlement dit « Food law »* en 2002 (UE, 2002). L'innovation alimentaire serait alors jugée plus utile que nuisible dès lors que le rapport bénéfices/risques serait positif, notamment sur le plan sanitaire. Cependant, si l'on considère la démarche de précaution consacrée par le *Règlement Novel Food*, elle suggère que « la présomption de nocivité » ne relève pas, chez le consommateur, des seules considérations sanitaires individuelles avérées mais également du *danger potentiel* dès lors que l'aliment « nouveau » menace symboliquement les représentations alimentaires, et à travers elles celles de la nature et du vivant dans son ensemble. Comment le consommateur peut-il alors comprendre et adhérer au principe d'équivalence substantielle au nom duquel une nouveauté alimentaire peut bénéficier d'une procédure allégée de simple notification dans la réglementation *Novel Food* ?

**Dans tous les cas, rien ne pourra se faire sans la consultation, l'adhésion et la collaboration des milieux agricoles.**

# Références bibliographiques

- Abdulqader G, Barsanti L, Tredici MM. Harvest of *Arthrospira platensis* from Lake Kossorom (Chad) and its household usage among the Kanembu. *Journal of Applied Phycology*. 2000 ;12:493-8.
- Abert Vian M. (2021) Spiruline. Culture, production et applications. Techniques de l'Ingénieur, réf. F6295.
- Ademolu KO, Idowu AB, Olatunde GO *et al.* Nutritional value assessment of variegated grasshopper, *Zonocerus variegatus* (L.) (Acridoidea: Pygomorphidae), during post-embryonic development. *Afr Entomol*, 2010;18(2):360-4.
- AFSCA (2014), Avis commun SciCom 14-2014 et CSS 9160
- Anses (2015) Avis de l'Anses 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 2014-SA-0153, 42 pages.
- Anses (2017) Avis de l'Anses relatif aux « risques liés à la consommation de compléments alimentaires contenant de la spiruline », Saisine 2014-SA-0096, 39 pages.
- Bachelard G. (1938) *La psychanalyse du feu* Gallimard (Ed.), Paris. ISBN 2-07-032325-0
- Belluco S, Losasso C, Maggioletti M, Alonzi CC, Paoletti MG, Ricci A. (2013) Edible insects in a food safety and nutritional perspective: A critical review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 2013;12(3):296-313.
- Benzertiha A *et al.* (2019) *Tenebrio molitor* and *Zophobas morio* Full-Fat Meals in Broiler Chicken Diets: Effects on Nutrients Digestibility, Digestive Enzyme Activities, and Cecal Microbiome. *Anim Open Access J MDPI*,2019;9:1128.
- Bessa LW *et al.* (2020) Insects as human food; from farm to fork. *J Sci Food Agric*, 2020;100: 5017-22.
- Bessette E, Williams B. (2022) Protists in the Insect Rearing Industry: Benign Passengers or Potential Risk? *Insects*, 2022;13:482.
- Bianco M *et al.* (2022) A new paradigm to search for allergenic proteins in novel foods by integrating proteomics analysis and in silico sequence homology prediction: Focus on spirulina and chlorella microalgae. *Talanta*, 240, 123188.
- BID (1987) BID n° 11\_1987 - Présentation du rapport sur les algues en alimentation humaine du CSHPF accompagnée de recommandations pour son utilisation.
- Birlouez E. (2022) *Histoire de l'alimentation des Français*. Ouest-France (Ed.), 283 pages.
- Bonnefond H, Combe C, Cadoret J-P, Sciandra A, Bernard O. (2020) In : *Potentiel des microalgues, Chimie verte et industries agroalimentaires - Vers une bioéconomie durable*, Lavoisier, hal-02421830.
- Bouvard V *et al.* (2015) Carcinogenicity of consumption of red and processed meat. *Lancet Oncol*. 16, 1599-1600. doi: 10.1016/S1470-2045(15)00444-1
- Bukkens SGF. (1997) The nutritional value of edible insects. *Ecol Food Nutr*, 1997;36:287-319.
- CE (2020) De la ferme à la table. Commission européenne. Mai 2020
- CE (2021) Conseil européen. Déc 2021. Politique agricole commune 2023-2027
- CE (2022) Commission européenne. Plan Stratégique National de la France pour la prochaine PAC 2023-2027. Approuvé le 31/8/2022
- CEVA (2024) Macro algues et microalgues alimentaires, statut réglementaire en France et en Europe. <https://www.ceva-algues.com/document/synthèse-reglementaire-algues-alimentaires/>
- Chia SY *et al.* (2020) Nutritional composition of black soldier fly larvae feeding on agro-industrial by-products. *Entomol Exp Appl*,

- Chiva M. (1996). Le mangeur et le mangé : la subtile complexité d'une relation fondamentale (*The eater and the eaten: the subtle complexity of a fundamental link*). In : Identités des Mangeurs, Images des Aliments (*Identity of Eaters, Image of Food*), Giachetti, I. (Ed.), pp. 11–30. Paris: Polytechnica.
- Chizzolini R et al. (1999) Calorific value and cholesterol content of normal and low-fat meat and meat products.
- Cho KH et al. (2020) Effects of mealworm (*Tenebrio molitor*) larvae hydrolysate on nutrient ileal digestibility in growing pigs compared to those of defatted mealworm larvae meal, fermented poultry by-product, and hydrolyzed fish soluble. *Asian-Australas J Anim Sci*, 2020;33:490–500.
- Choi I-H et al. (2018) Changes in Growth Performance of Broilers Fed Different Levels of *Hermetia illucens* Powder. *J Environ Sci Int*, 2018;27 :1299–303.
- CSHPF (1990) Avis du CSHPF - Demande d'autorisation d'algues en alimentation humaine (01/1990) (non paru au Journal Officiel).
- Corson MS, Doreau M. (2013) Evaluation de l'utilisation de l'eau en élevage. *INRAE Productions animales* 2013;26(3):239-48.
- De Smet J et al. (2021) Dynamics of *Salmonella* inoculated during rearing of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*). *Food Res Int Ott Ont*, 149, 110692.
- Debbabi F, Doinie M, Joubrel-Viravau P. (2023) Allergie professionnelle en élevage d'insectes : importance de la pluridisciplinarité dans la mise en œuvre de la prévention. *Références santé au travail, INRS, TF 313*, n°176, pp. 33-41.
- Debucquet G, Friant-Perrot M. (2016) Regards croisés sur la notion de *Novel Food* : quel droit pour quelle nouveauté ? *Cahiers Droit, Sciences & Technologies*. 2016;6:81-102. <http://journals.openedition.org/cdst/489>; DOI : 10.4000/
- Debucquet G. (2011) Considérer les normes sociales et culturelles pour une meilleure acceptation des innovations technologiques en alimentation : les leçons du rejet des aliments génétiquement modifiés (OGM). *Management International*, 2011;15(4):49-68.
- Desjeux D, Moati Ph. (2022) *La consommation sous contrainte : les leçons de la crise Covid-19*. EMS Edition (Ed.), 124 pages.
- Diaz CJ, Douglas KJ, Kang K, Kolarik AL, Malinowski R, Torres-Tiji Y, Molino JV, Badary A, Mayfield SP (2023) Developing algae as a sustainable food source. *Front Nutr* 9:1029841. doi: 10.3389/fnut.2022.1029841
- DiGiacomo K, Leury BJ. (2019) Review: Insect meal: a future source of protein feed for pigs? *Anim Int J Anim Biosci*, 2019;13:3022–30.
- Douglas M. (1966) *Purity and danger: an analysis of concepts of pollution and taboo*. Routledge (Ed.). (version française : De la souillure (1971). *Essai sur les notions de pollution et de taboo*. Maspero (Ed.), Paris. 193 pages).
- Durif-Bruckert Ch. (2007) *La nourriture et nous. Corps imaginaire et normes sociales*. Armand Colin (Ed.), Paris, 280 pages.
- EFSA (2021) Safety of frozen and dried formulations from whole yellow mealworm (*Tenebrio molitor* larva) as a novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283. *EFSA Journal*. 2015/2283. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6778>
- FAO (2021) Seaweeds and microalgae: an overview for unlocking their potential in global aquaculture development, *FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1229* (ISSN 2070-6065)
- Fernandez-Cassi X et al. The house cricket (*Acheta domestica*) as a novel food: a risk profile. *J Insects Food Feed*, 2019;5:137–57.
- Fife-Schaw C, Rowe G. Extending the application of the psychometric approach for assessing public perceptions of food risk: some methodological considerations. *Journal of Risk Research*, 2000;3(2):16779.
- Fischler C. (1990) *L'Homnivore*. Sur les fondamentaux de la biologie et de la philosophie. Odile Jacob (Ed.), Paris, 448 pages.

- Foer JS (2011) *Faut-il manger les animaux ?* L'Olivier (Ed.), Paris, 368 pages. EAN : 9782879297095
- France Stratégie (2021) Pour une alimentation saine et durable. Rapport pour l'Assemblée Nationale. 22/9/2021
- GIEC (2019) Changement climatique et terres émergées, Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Ce rapport spécial du GIEC porte sur le changement climatique, la désertification, la dégradation des sols, la gestion durable des terres, la sécurité alimentaire et les flux de GES dans les écosystèmes terrestres. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/06/SRCCL\\_SPM\\_fr.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/06/SRCCL_SPM_fr.pdf)
- Gouda M, Tadda MA, Zhao Y, Farmanullah F, Chu B, Li X, He Y (2022) Microalgae Bioactive Carbohydrates as a Novel Sustainable and Eco-Friendly Source of Prebiotics: Emerging Health Functionality and Recent Technologies for Extraction and Detection. *Front Nutr* 9: 806692. doi: 10.3389/fnut.2022.806692
- Hanboonsong A, Durst P. (2020). Guidance on sustainable cricket farming – A practical manual. Bangkok, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb2446en>
- Hausser F, Desmonts MH, Bruyere MT, Bauer F, Woehl B. (1996). *Ionisation et consommation*, Rapport de recherche, Programme Aliment 2002 *Convention R93/12*, Strasbourg.
- IDDDRI (2017) Ten years for agroecology in Europe. TYFA project. <https://www.idddri.org/en/project/ten-years-agroecology-europe>
- IndexPresse (2022) Activité et potentiel de développement du marché des algues en France, 2022 <https://etudes.indexpresse.fr/produit/etude-marche-algues-france/#extrait-nolo> (consulté en juillet 2024)
- Jang W-W et al. Growth Performance and Economic Evaluation of Insect Feed Powder-Fed Ducks. *J Environ Sci Int*, 2019;28 :709–12.
- Kazbar A, Gifuni I, Lombard C, Degrenne B, Pruvost J, Lépine O. (2021). Valorisation industrielle des microalgues photosynthétiques. Techniques de l'Ingénieur, réf. CHV4032.
- Kępińska-Pacelik J, Biel W. Insects in pet food industry—hope or threat ? *Anim Open Access J MDPI*, 2022;12:1515.
- Kralovec JA, Metera KL, Kumar JR, Watson LV, [https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/?term=Girouard+GS&cauthor\\_id=17190645](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/?term=Girouard+GS&cauthor_id=17190645) Girouard GS, Guan Y, Carr RI, Barrow CJ, Ewart HS. Immunostimulatory principles from *Chlorella pyrenoidosa*—part 1: isolation and biological assessment in vitro. *Phytomedicine*, 2007;14:57-64.
- Lee J-H et al. How to develop strategies to use insects as animal feed: digestibility, functionality, safety, and regulation. *J Anim Sci Technol*, 2022;64 :409–31.
- Levy J. (2023) La chlorella : intérêt thérapeutique, risque sanitaire et conseil à l'officine. Thèse d'exercice, Faculté de pharmacie de Montpellier, 143 pages.
- Li W, Bischel HN. (2022) Are resource recovery insects safe for feed and food? A screening approach for bioaccumulative trace organic contaminants. *Sci Total Environ*, 837, 155850.
- Lim HR et al. (2021) Perspective of *Spirulina* culture with wastewater into a sustainable circular bioeconomy. *Environ Pollut*, 284, 117492.
- Magnusson MK, Koivisto Hursti U-K. (2002) Consumer attitudes toward genetically modified food, *Appetite*, 39: 9-24. <https://doi.org/10.1006/appe.2002.0486>
- Mancini S et al. (2021) Effect of cooking techniques on the in vitro protein digestibility, fatty acid profile, and oxidative status of mealworms (*Tenebrio molitor*). *Front Vet Sci*, 8.
- Merdji M, Debucquet G. (2006) L'attachement des Français à la cuisine comme obstacle à la réception d'une innovation. Le cas des aliments génétiquement modifiés. *Les cahiers de l'OCHA*, 11 : 46-55).
- Meticulous Research (2023) Microalgae Market by Type, Production Technique, Distribution Channel, Application, and Geography

- Global Forecast to 2030, février 2023, <https://www.meticulousresearch.com/product/microalgae-market-5197> (consulté en juillet 2024)
- Meyer-Rochow VB (1975) Can insects help to ease the problem of world food shortage? *Search*, 1975;6:261–2.
- Meyer AM et al. (2021) Chemical food safety hazards of insects reared for food and feed. *Front Vet Sci*, 2021;7:823–31.
- Milanović V et al. (2016) Getting insight into the prevalence of antibiotic resistance genes in specimens of marketed edible insects. *Int J Food Microbiol*, 2016;227:22–8.
- Molinier P. (2020) *Le travail du care*. La Dispute (Ed.), Paris, 242 pages.
- Moore E, Liu X, Drewery ML. (2024) Pelagic fish spared from ocean catch by integrating black soldier fly larvae in U.S. aquaculture production, *Sec Aquatic Foods 8 – 2024*. (<https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1297414>)
- Naska A et al. (2022) Novel foods as red meat replacers – an insight using Risk Benefit Assessment methods (the NovRBA project). EFSA Support. Publ., 19, 7316E.
- Neumann U et al. (2018) Bioavailability and safety of nutrients from the microalgae *Chlorella vulgaris*, *Nannochloropsis oceanica* and *Phaeodactylum tricornutum* in C57BL/6 Mice. *Nutrients*, 2018;10:965.
- Noiville, C. (2003) *Du bon gouvernement des risques. Le droit et la question du « risque acceptable »*. PUF (Ed.), 256 pages.
- Nova P et al. (2020) Foods with microalgae and seaweeds fostering consumers health: a review on scientific and market innovations. *J Appl Phycol*, 2020;32:1789–802.
- Nowakowski AC et al. (2022) Potential health benefits of edible insects. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2022;62:3499–508.
- ONU (2020) Régimes alimentaires sains et durables, principes directeurs. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et Organisation mondiale de la Santé (OMS), Rome. <https://www.fao.org/3/ca6640fr/CA6640FR.pdf>
- Oonincx DGAB, Dierenfeld ES. (2012) An investigation into the chemical composition of alternative invertebrate prey. *Zoo Biol.*, 31, 40–54. <https://doi.org/10.1002/zoo.20382>
- Oonincx DGAB, van der Poel (2011) AFB Effects of diet on the chemical composition of migratory locusts (*Locusta migratoria*). *Zoo Biol.*, 2011;30:9–16.
- Ötles S, Pire R. (2001) Fatty acid composition of *Chlorella* and *Spirulina* microalgae species. *J AOAC Int.* 2001;84:1708-14.
- Pelluchon C. (2017) Manger : un acte éthique et politique. *Revue française d'éthique appliquée*, 2017;2:76-90.
- PepsWork (2020) Agroalimentaire : les microalgues, un marché en croissance. Par Florence Cultier, 13 août 2020. <https://pepswork.com/2020/08/13/agroalimentaire-micro-algues-marche-croissance/> (consulté en juin 2024)
- Petrus M et al. (2010) First case report of anaphylaxis to spirulin: identification of phycocyanin as responsible allergen. *Allergy*, 2010;65 :924–5.
- PNA (2020) Programme national pour l'alimentation 2019-2023 : territoires en action. Mars 2020. Ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire, France.
- Porcher J. (2014) *Vivre avec les animaux. Une utopie pour le XXI<sup>e</sup> siècle*. Paris. La Découverte. 180 pages. ISBN : 9782707182326
- Porcher J. (2019) *Cause animale. Cause du Capital*. Le Bord de l'Eau (Ed.), Bordeaux, 120 pages. ISBN 9782356876553.
- Puyfoulhoux G, Rouanet JM, Besançon P, Baroux B, Baccou JC, Caporiccio B. (2021) Iron availability from iron-fortified spirulina by an in vitro digestion/Caco-2 cell culture model. *J Agric Food Chem*, 2001;49(3):1625-9. doi: 10.1021/jf001193c. PMID: 11312906
- Quintero CD et al. (2021) Eco-design of spirulina solar cultivation: Key aspects to reduce environmental impacts using Life Cycle Assessment. *Cleaner Product*, 299, 126741. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126741>
- Raude J. (2007) La perception du risque : théories et données empiriques. *Revue des Sciences*

- Sociales*, 2007;38 :20-29.
- Rozin P, Millman L, Nemeroff CJ (1986) Operation of the laws of sympathetic Magic in disgust and other domains. *Journal of personality and social psychology*, 50(4): 703-712. <http://dx.doi.org/10.1037/0022-3514.50.4.703>
- Rumpold BA, Schlüter OK Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Mol Nutr Food Res*, 2013;57:802–23.
- Sánchez-Borges M et al. (2005) An update on oral anaphylaxis from mite ingestion. *Ann Allergy Asthma Immunol*. 94, 216–220; quiz 220–2, 306. doi: 10.1016/S1081-1206(10)61298-7
- Sénat (2020) Rapport sur la transition vers une alimentation durable. 28 mai 2020
- Sénat (2020) Vers une alimentation durable : Un enjeu sanitaire, social, territorial et environnemental majeur pour la France, Carton F. & Fichet J.-L., Rapport d'information n° 476 2019-2020.
- Shift Project (2017) Manifeste pour décarboner l'Europe. <https://theshiftproject.org/>
- Shift Project (2022) Plan de transformation de l'économie française. Janvier 2022 <https://theshiftproject.org/>
- Slovic P. Perception of risk, *Science*, 1987;236:280-5.
- Smetana S. Circularity and environmental impact of edible insects. *J Insects Food Feed*, 2023;9:1111-4.
- Solagro (2016) Afterres 2050 Biodiversité. Un scénario fondé sur et pour la nature.
- Spolaore P, Joannis-Cassan C, Duran E, Isambert A. Commercial applications of microalgae. *J Bioscience Bioeng*, 2006;101:87-96.
- Stengel K. (2022) La qualité alimentaire : du pragmatisme au paradigme, *Manuel Concours commun IEP 2023*, Ellipses, 9782340072022. hal-03833874.
- Stull V, Weir TL. Chitin and omega-3 fatty acids in edible insects have underexplored benefits for the gut microbiome and human health. *Nature Food*, 2023;4(4):283-7. DOI:10.1038/s43016-023-00728-7
- Thackray AM et al. (2012) Prion-induced toxicity in PrP transgenic *Drosophila*. *Exp Mol Pathol*, 2012;92:194–201.
- Tiberg E et al. Allergy to green algae (*Chlorella*) among children. *J Allergy Clin Immunol*, 1995;96:257–9.
- Tokuşoglu Ö, Unal MK. Biomass nutrient profiles of three microalgae: *Spirulina platensis*, *Chlorella vulgaris*, and *Isochrysis galbana*. *J Food Sci*, 2003;68:1144–8.
- TRAME (2018) Spiruline : une filière paysanne française en développement. 20 sept. 2018, <https://www.terre-net.fr/economie-agricole/article/141333/spiruline-une-filiere-paysanne-francaise-en-developpement> (consulté en juin 2024).
- Udomsil, N. et al. Nutritional Values and Functional Properties of House Cricket (*Acheta domesticus*) and Field Cricket (*Gryllus bimaculatus*). *Food Sci Technol Res*, 2019;25:597–605.
- UE (1997) Règlement Novel Food, JOUE L 43 du 14.2.1997, p. 1-6.
- UE (1999a) Directive 1999/2/CE du Parlement européen et du Conseil du 22 février 1999 relative au rapprochement des législations des États membres sur les denrées et ingrédients alimentaires traités par ionisation, JOUE L 66, 13.3.1999, p. 16–23
- UE (1999b) Directive 1999/3/CE du Parlement européen et du Conseil du 22 février 1999 établissant une liste communautaire de denrées et ingrédients alimentaires traités par ionisation, JOUE L 66, 13.3.1999, p. 24–5
- UE (2002) Règlement dit « Food law », JOUE L 31 du 1.2.2002, p. 1-24
- van den Oever SP, Mayer HK (2022) Biologically active or just “pseudo”-vitamin B12 as predominant form in algae-based nutritional supplements? *J Food Composition Anal*, 109, 104464. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104464>
- van der Fels-Kler HJ et al. (2018) Food Safety Issues Related to Uses of Insects for Feeds and Foods. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, 2018;17:1172–83.
- van Huis A, Van Itterbeeck J, Klunder H, Mertens E, Halloran A, Muir G, & Vantomme P. (2013)

Edible insects-future prospects for food and feed security. FAO Forestry Paper No 171

- van Huis A. (2013) Potential of Insects as Food and Feed in Assuring Food Security. *Annu Rev Entomol*, 2013;58:563–83.
- Varunjikar MS et al. (2022) Shotgun proteomics approaches for authentication, biological analyses, and allergen detection in feed and food-grade insect species. *Food Control*, 137, 108888.
- Vincent A, Stanley A, Ring J. (2020) Hidden champion of the ocean: Seaweed as a growth engine for a sustainable European future, *Seaweed for Europe*
- Vinci G, Prencipe SA, Masiello L, Zaki MG (2022) The application of life cycle assessment to evaluate the environmental impacts of edible insects as a protein source. *Earth*, 3, 925–938. <https://doi.org/10.3390/earth3030054>
- Ye C et al. (2018), Life cycle assessment of industrial scale production of *spirulina* tablets. *Algal Research*, 34, 154-163. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2018.07.013>
- Yi L et al. (2013) Extraction and characterisation of protein fractions from five insect species. *Food Chem*, 2013;141:3341–8.
- Yoo JS et al. (2019) Nutrient ileal digestibility evaluation of dried mealworm (*Tenebrio molitor*) larvae compared to three animal protein by-products in growing pigs. *Asian-Australas J Anim Sci*, 2019;32:387–94.
- Zhou Y et al. (2022) Nutritional Composition, Health Benefits, and Application Value of Edible Insects: A Review. *Foods Basel Switz*, 2022;1:3961.
- Żuk-Gołaszewska K et al. (2022) Edible Insect Farming in the Context of the EU Regulations and Marketing—An Overview. *Insects*, 2022;13:446.

# ANNEXES

## Annexe 1. L'approche HACCP

### (analyse des risques et points de contrôle critiques)

A chaque étape d'un procédé de fabrication, la méthode HACCP s'appuie sur 7 principes d'identification, d'évaluation et d'action permettant :

- d'identifier les risques biologiques (virus, bactéries, parasites, etc.), chimiques (allergènes, etc.) ou physiques (morceaux d'os, éclat de bois, verre, etc.);
- de déterminer les valeurs-seuils ou limites critiques à ne pas dépasser;
- de définir les mesures préventives à mettre en action pour maîtriser tout risque;
- de mener des actions correctives en cas de perte de la maîtrise du CCP.

**Depuis le 1<sup>er</sup> octobre 2012, tout établissement du secteur agro-alimentaire doit posséder au sein de son équipe, au moins une personne formée à l'analyse des dangers – points critiques pour leur maîtrise.** Des procédures de traçabilité et de rappel des aliments doivent être mises en place comme outil de gestion des risques pour identifier les problèmes non détectés et ceux de sécurité alimentaire après que le produit ait intégré la chaîne de distribution alimentaire.

## Annexe 2. Sentience des insectes

La sentience peut se définir comme la capacité à ressentir (Gibbons et al., 2022). Elle se distingue de la simple conscience dite « phénoménale » – la capacité à avoir des états mentaux subjectifs comme par exemple le ressenti perceptif associé à la vision des couleurs. Dans l'ensemble, les études disponibles ont tendance à converger en faveur de l'idée qu'au moins certains insectes sont probablement bien sentients. La sensibilité à la douleur est l'aspect de leur sentience le plus étudié (Sneddon et al. 2014), les études sur leurs niveaux de conscience, leur sensibilité au plaisir et leurs capacités émotionnelles étant plus préliminaires. La sentience des insectes adultes semble davantage établie que celles des insectes jeunes. Du fait de

l'extrême diversité du groupe des insectes, il n'est pas impossible que certaines espèces puissent être sentientes et que d'autres ne le soient pas. Beaucoup de zones d'ombre subsistent.

Ces travaux sur la sentience des insectes ont d'importantes implications éthiques. Leurs résultats seront nécessairement cités dans les débats relatifs à leur éventuelle protection juridique, à l'effondrement de leurs populations sauvages, et à leur utilisation à des fins scientifiques. En effet, les céphalopodes sont actuellement les seuls invertébrés protégés par le droit européen de l'expérimentation animale (à confirmer). Les chercheurs indépendants de l'ONG *Wild Animal Initiative* réfléchissent déjà à la question de la réduction des douleurs infligées aux insectes dans le cadre de l'usage des insecticides. Ils proposent de privilégier les molécules les moins génératrices de douleurs lorsque cela est possible.

Le rapide développement actuel de l'élevage d'insectes – essentiellement dans le but de les utiliser pour alimenter les animaux d'élevage, et à terme les humains – est sûrement un enjeu parmi les plus délicats. Lars Chittka, co-auteur d'une récente revue sur la douleur, déclare : « *Un moyen simple et évident de minimiser les risques éthiques en matière de bien-être animal serait de ne pas élever d'animaux du tout. Mais l'élevage d'insectes connaît actuellement une croissance exponentielle. Nous devons nous assurer que des mesures soient prises pour éviter que les mêmes erreurs que celles commises dans l'élevage en batterie des volailles, par exemple, ne se répètent encore et encore* ».

Preuve de la montée des préoccupations pour les invertébrés, le lancement d'une organisation spécifiquement dédiée à l'amélioration des conditions d'élevage des insectes, *l'Insect Institute*, a été annoncé récemment aux États-Unis.

### Références bibliographiques (Annexe 2)

- Gibbons M, Crump A, Barrett M, Sarlak S, Birch J, Chittka L. (2022) *Can insects feel pain?* A review of the neural and behavioural evidence. *Advances in Insect Physiology*, Volume 63 ISSN 0065-2806. <https://doi.org/10.1016/bs.aip.2022.10.001>
- Sneddon LU, Elwood RW, Adamo SA, Leach MC. (2014) Defining and assessing animal pain. *Animal behaviour*, 2014;97:201-12

## Annexe 3. Aspects industriels de la production et de la transformation des insectes

En l'absence de commerce d'insectes ou de produits à base d'insectes, l'industrie de cette filière a été longtemps limitée à des initiatives individuelles conduisant à la manipulation de faibles quantités. Ceci s'explique par un marché marginal, l'absence de législation spécifique et des barrières réglementaires dérivées qui rebutaient les industriels. Mais les évolutions de la législation et une demande croissante en protéines, où la transformation des insectes apparaît comme une solution, marquent l'accélération du développement de la filière.

Depuis 2011 on assiste, en France, à la création et au développement d'importantes sociétés industrielles toutes construites sur un schéma identique :

- massification des quantités d'insectes traités, pouvant atteindre 100 000 tonnes/an, et augmentation du nombre de sites industriels ;
- respect des conditions d'une économie circulaire et durable par :
  - l'utilisation des co-produits de l'agriculture ou de l'agroalimentaire, pour l'alimentation des insectes, imposant des localisations proches des ressources,
  - la transformation des insectes en produits de consommation courante, farines protéinées, huiles,
  - l'utilisation des déjections des insectes comme engrais organiques.
- ouverture vers l'international, se traduisant en particulier par des implantations de succursales hors du territoire national, ou des accords de coopération,
- politique sociale d'avant-garde accompagnée de nombreuses créations d'emploi et de recrutements.

Rapidement, les industries françaises de la protéine d'insectes sont devenues les leaders mondiaux du secteur. Parmi celles-ci nous proposons les plus anciennes mais aussi celles qui semblent répondre dès maintenant aux promesses de la filière.

## Ÿnsect

Ÿnsect a été fondée en 2011 à Paris, dans le but de transformer les insectes en ingrédients de haute valeur pour l'alimentation animale, les plantes, l'aquaculture, et les êtres humains. Pour cela l'entreprise a choisi les larves des vers Buffalo et des vers Molitor. Depuis 2016 Ÿnsect détient 3 sites en France et un site au Pays Bas :

- **Ÿnstitute**, le siège social et le centre de recherche et développement, est situé au Génopole, à Evry en région parisienne ;
- **Ÿnsite**, un site de production et de transformation d'insectes à grande échelle est au Pôle Innovia à Damjain, près de Dole, en Bourgogne-Franche-Comté où se trouve sa première Fermilière , ferme verticale d'insectes ;
- **Ÿnfarm 1**, la première et la plus importante unité industrielle, entièrement automatisée, à Poulainville près d'Amiens. Il s'agit de «la plus grande ferme verticale d'insectes au monde » où seront produites, à partir du ver de farine, plus de 100 000 tonnes de matières dont les deux tiers seront valorisés en engrais et un tiers en alimentation animale.
- **Protifarm**, acquis en 2021, Situé à Emerlo aux Pays-Bas, est le troisième site de production d'Ÿnsect dédié à l'élevage du scarabée Buffalo. Protifarm est la deuxième filiale d'Ÿnsect à l'international après avoir installé ses bureaux à Miami (Etats-Unis).

Aux Etats Unis, un premier partenariat en novembre 2021 avec à la start-up Pure Simple True LLC de Seattle Washington, a été suivi, en mars 2022, de l'acquisition de Jord Producer, l'un des plus grands producteurs américains de vers de farine, et l'ouverture de la première ferme de vers de farine d'Ÿnsect à Omaha dans le Nebraska. La construction du premier projet de ferme à grande échelle Ÿnsect aux États-Unis devrait commencer en 2023.

A la mi-mai 2022, Ÿnsect et Corporativo Kosmos, la principale entreprise de restauration du Mexique, ont annoncé leur association. Ce choix est justifié car c'est l'un des pays où la consommation d'insectes et de protéines d'insectes est la plus importante.

## Les produits

L'entreprise Ÿnsect est le leader mondial de la production de protéines et d'engrais naturels d'insectes. Ceci se traduit par la mise sur le marché de 3 produits (2 ingrédients et un engrais) :

- La farine d'insectes Ÿnmeal, est un ingrédient formulé à base de larves de *Tenebrion molitor*, utilisé pour nourrir les poissons et crustacés d'élevage. Depuis le 13/01/2021 les vers de farine sont autorisés en alimentation humaine et, le 3 mai 2021, l'autorisation définitive de mise sur le marché européen a été prononcée. Ceci ouvre de nouvelles perspectives pour Ÿnmeal qui est adapté à l'alimentation humaine.
- L'huile d'insectes Ÿnoil, riche en acides gras polyinsaturés, extraite par un procédé mécanique des larves de *Tenebrion molitor* et destinée à l'alimentation des poissons et crustacés d'élevage.
- L'engrais ŸnFrass, dont l'autorisation de mise sur le marché a été obtenue en 2020 par l'Anses. Il provient des déjections de *Tenebrion molitor*.

## Une politique sociale et de formation

L'entreprise, qui emploie actuellement 360 personnes, a levé environ 450 millions de dollars auprès de grands fonds d'investissement, de banques et d'entités publiques et exporte ses produits dans le monde entier. Reconduite dans le Next40 (les 40 start-up française les plus prometteuses) ses responsables prévoient la création de 500 emplois, directs et indirects, à l'horizon 2023.

En l'absence de formations dans ce domaine, Ÿnsect a ouvert en 2021 « *la première école aux métiers de l'insecte et de son industrie du monde*, offrant accès « à plus de 30 métiers ».

## InnovaFeed

InnovaFeed SAS est une entreprise française fondée en 2016 qui commercialise des ingrédients dérivés d'insectes, à l'origine à destination de la nutrition animale et en particulier de l'aquaculture. Le choix de l'insecte s'est porté sur la Mouche soldat noire *Hermetia illucens* approuvée par la Commission Européenne pour l'élevage à destination de l'alimentation animale (1 kg d'œufs de mouche soldat noire produit 6 tonnes de larves en 10 jours, soit 350 fois leur poids).

## Industrialisation

Après s'être installée en juin 2016 au *Génopole d'Evry*, dans le Cambésis, ce qui lui a permis de mener plusieurs projets de recherche et développement afin de mettre au point sa technologie, l'entreprise dispose maintenant de deux usines de production dans le Nord de la France et une aux Etats Unis, toutes situées à proximité des gisements de co-produits agricoles et agroalimentaires :

- depuis octobre 2017 à Gouzeaucourt, dans les Hauts de France, unité pilote lui permettant de valider leur modèle et de déployer une capacité de production pour démarrer la commercialisation de leurs produit ;
- depuis septembre 2020 à Nesle, dans la Somme, *le plus grand élevage d'insectes au monde* ; Il permet de produire 15 000 tonnes de protéine d'insectes, mais aussi d'économiser 57 000 tonnes de CO<sub>2</sub> ;
- fin novembre 2020, l'entreprise a annoncé avoir choisi un nouveau site de production à Decatur aux Etats-Unis, avec pour ambition la construction de la plus grande usine de production de protéines d'insectes au monde.
- Pour poursuivre sa phase *d'industrialisation*, Innovafeed va compléter la construction des deux usines, en France et aux Etats-Unis :
- l'usine de Nesle doit être étendue afin d'atteindre l'objectif du doublement des capacités de production de l'entreprise soit de produire quelque 100 000 tonnes par an de farine destinée à l'aquaculture, d'huiles pour les porcs et les volailles, et d'engrais ;
- l'usine de Decatur (Illinois), où siège la multinationale américaine de l'agro-industrie Archer-Daniels-Midland Company (ADM), et plus gros site de transformation du maïs au monde. Innovafeed espère sortir, à partir de 2025, 400 000 tonnes de produits par an dont 60 000 tonnes de protéines d'insectes.

Trois sites en opération en 2020, dix de plus prévus d'ici 2030 :

- Innovafeed assure avoir déjà identifié plus de 150 sites dans le monde sur lesquels elle pourrait récupérer des coproduits agricoles et des pertes énergétiques ; cela devrait lui permettre de déployer sa technologie à l'échelle mondiale, notamment en Asie, et

de proposer des ingrédients de précision à destination de l'alimentation animale, végétale et, demain humaine.

- InnoVaFeed fabrique et commercialise 3 produits dérivés de la larve d'*Hermetia illucens* :
  - la farine protéinée InnoVaFeed, alternative aux farines de poissons destinée aux poissons d'élevage,
  - l'huile d'insectes riche en acide laurique et destinée à l'alimentation des animaux d'élevage (porc, volaille),
  - l'engrais InnoVaFeed, co-produit de sa ferme d'insectes est un engrais organique naturel ; composé entièrement de déjections de larves nourries avec un substrat 100 % végétal, il peut être utilisé dans l'agriculture biologique ; ses performances ont été démontrées en laboratoire et en terrain commercial.

### Commercialisation

Dans le cadre d'une démarche « de la ferme à l'assiette », l'entreprise a lancé 3 filières appelées « vive l'insecte » : la truite en décembre 2018, la volaille en juin 2020 et le porc en février 2021.

En France, InnoVaFeed a déjà mis en place, avec Auchan, une filière durable d'élevage de poissons, et elle a déjà conclu des partenariats commerciaux avec les acteurs internationaux de l'alimentation, par exemple Cargill, Italtopolina ou Barentz, pour l'alimentation des porcs et des volailles.

### Micronutris et Agronutris

**Micronutris** a été la première ferme d'élevage française d'insectes comestibles destinés à l'alimentation humaine. Fondée en 2011 elle commercialise deux espèces d'insectes à manger : le ver de farine (larve de ténébrion) et le grillon. Sous la marque *Microdélices*, l'entreprise propose ces deux petits insectes entiers, naturels ou aromatisés, à déguster tels quels, en salade, ou incorporés dans des préparations culinaires. Micronutris développe une gamme de produits de grignotage, de biscuits salés enrichis aux protéines d'insectes, et de chocolat aux vers de farine. Des barres énergétiques aux insectes sont également proposées sous la première marque de nutrition sportive : *My impact*.

L'entreprise fait du zéro déchet, nourrit ses insectes avec de la nourriture biologique locale

et n'importe aucune de ses espèces. Forte de son succès, Micronutris s'est développée et cherche à aller plus loin. Avec son émanation Agronutris, elle vise désormais un nouveau secteur, l'aquaculture et même l'alimentation humaine.

Agronutris et Micronutris sont devenues 2 sociétés distinctes sans lien de dépendance.

**Agronutris** a une activité dédiée à l'élevage et la transformation d'insectes comme ingrédients pour les industriels de la nutrition animale, humaine et végétale. C'est la seule entreprise de la filière à avoir élevé jusqu'à 9 espèces d'insectes, dont 3 de manière systémique : le grillon *Gryllodes sigillatus*, le ver de farine *T. molitor* et la mouche soldat noire *Hermetia illucen*. Enfin c'est la première entreprise française autorisée à commercialiser des insectes en alimentation humaine.

La première usine est à Rethel mais le siège et le centre de recherche restent dans la banlieue de Toulouse (Saint Orens, 31).

- En 2021-2022 :
  - Lauréat du plan France Relance, le projet French Feed a reçu 8,3 millions d'euros dans le cadre du plan de relance du gouvernement ;
  - Usine de production : lancement des travaux sur le site de Rethel (Ardennes)
  - Obtention du 1<sup>er</sup> avis positif de l'EFSA : 1<sup>ère</sup> entreprise européenne à avoir l'autorisation de la Commission Européenne pour commercialiser des insectes à destination de l'alimentation humaine.

En 2022, ouverture du site de Rethel dans la région Grand Est, et lancement de la production à échelle industrielle après sécurisation des approvisionnements.

Agronutris élabore trois produits destinés aux marchés de l'aquaculture, des animaux de compagnie (*petfood*) et de l'agriculture biologique :

- La farine d'insectes « ULTRA'IN », principal produit développé par Agronutris, c'est une farine riche en protéines idéal pour l'aquaculture et l'alimentation des animaux de compagnie.
- L'huile d'insectes LIBOOST : c'est une huile obtenue à partir du procédé de délipidation des protéines d'insectes dont l'utilisation

représente une alternative durable aux huiles végétales.

- L'engrais FAIRTIL : A l'issue de la phase de transformation des insectes, les résidus organiques et les déjections produites sont transformées en engrais organique pouvant être utilisé en agriculture biologique.

En 2023 : L'usine de Rethel dans les Ardennes première unité sur les 9 sites prévus à l'horizon 2029 a été pleinement opérationnelle dès le 4e trimestre 2023 et accueille en 2024 60 collaborateurs et collaboratrices.

- Le choix de la localisation est motivée par la présence de nombreux gisements d'intrants, co-produits de l'industrie agroalimentaire, qui servent à nourrir les insectes. Agronutris a déjà sécurisé pour ce site 100 % de l'approvisionnement d'intrants grâce à des contrats de partenariat à long terme (10 ans) avec des industriels locaux. Ainsi ce devraient être 70 000 tonnes d'intrants qui seront bioconvertis par les larves de la mouche soldats noire, paran. Les nombreuses années de R&D ont permis à Agronutris de sélectionner la mouche soldat noire comme matrice pour passer du pilote à la production à l'échelle industrielle. Enfin, la région dispose d'une main d'œuvre qualifiée pouvant répondre à l'ambition d'Agronutris de créer, d'ici 2024, 200 emplois dont 140 dans le Grand-Est.

### **NextAlim et la Compagnie des Insectes**

Cette entreprise mérite d'être citée car elle se démarque des 3 précédentes par sa mission : fournir aux acteurs de la filière des protéines d'insectes, des jeunes animaux sains et performants, prêts à l'élevage, des œufs, des nouveau-nés ou des larves de 7 jours - et par sa volonté de travailler directement avec les agriculteurs ou leurs coopératives.

Fondée en 2014 et anciennement connue sous le nom de NextAlim, La Compagnie des Insectes industrie, créée le 02-03-2022, a actuellement domicilié son Siège social à Bailly-Romainvilliers, 77700.

Le site industriel est situé à Poitiers, où sont développées, testées et mises en œuvre les solutions technologiques d'élevage de la mouche *Hermetia illucens* (BSF, Mouche soldat noir). Cette mouche noire est l'une des espèces autorisées à l'élevage en Europe pour l'aquaculture,

les animaux de compagnie, et la chimie verte. Aujourd'hui, La Compagnie des Insectes est spécialiste de la génétique BSF et de l'élevage BSF, spécialisée aussi dans la multiplication des nouveau-nés à l'échelle industrielle.

Sur ce site, sont produits des œufs, des nouveau-nés et des jeunes larves de haute qualité.

De 2022 à 2025, l'entreprise va procéder au déploiement de la technologie NextAlim et à la construction de 3 unités de production supplémentaires en Europe et hors Europe.

En 2023, la capacité de production est passée à 6 tonnes d'œufs, ce qui génère environ 23 000 tonnes de larves et 6 000 tonnes de protéines pures d'insectes chez les clients. Ce démonstrateur industriel génère aussi plusieurs tonnes de protéines d'insectes par mois.

Un autre projet d'usine de fabrication de farine d'insectes est à l'étude dans la Beauce, en partenariat avec les collectivités locales. L'unité sera installée à côté d'un incinérateur UVE (Unité de Valorisation Énergétique) dont la chaleur latente sera récupérée.

Dès 2023, des filières locales de production de mouches soldats noires ont été construites dans cinq régions, notamment en Bretagne. A cet effet, en parfait accord avec les éleveurs, les bâtiments d'élevage de poulets inutilisés seront destinés à la croissance larvaire, où les insectes seront nourris avec des coproduits agricoles locaux. Exemple parfait d'économie circulaire, le produit final sera des larves séchées et fraîches pouvant nourrir directement volailles et porcs : ces insectes riches en protéines permettront aux éleveurs de diversifier leurs sources de revenus et de réduire leur consommation de soja.

## **Annexe 4. Aspects industriels de la production et de la transformation des microalgues**

*Les données quantitatives sur la production de microalgues sont fragmentaires (JRC 2018).*

L'industrie mondiale des microalgues se concentre principalement aux Etats-Unis, en Europe, en Chine et au Japon.

La commercialisation à large échelle de microalgues a commencé dans les années 1960 au Japon, avec la culture de Chlorelles (Tsukada O.

et al. 1977). Un autre exemple fut la mise en place de cultures à ciel ouvert de Spirulina le long du lac Texcoco par la Sosa Texcoco S.A. en 1977. Au début des années 1980, 46 sites de grande taille produisaient en Asie plus d'une tonne de microalgues par mois (principalement du genre *Chlorella*) (Borowitzka, M.A. 1999).

La production de  $\beta$ -carotène par *Dunaliella salina* devint la troisième production commerciale mondiale dès 1986 avec la mise en place d'installations privées australiennes, bientôt suivies par des initiatives israéliennes et américaines.

En une période de 30 ans, l'algoculture s'est sensiblement développée pour atteindre des productions annuelles de l'ordre de quelques milliers de tonnes au début du siècle (Spolaore P. 2006).

En 2019, la production aurait sensiblement progressé pour atteindre 56 456 tonnes, principalement de la spiruline (FAO, 2021), mais a été ensuite très affectée par l'épidémie de COVID-19 (Meticulous Research, 2023).

En Europe et pour la consommation humaine, l'importation d'algues reste majoritaire. En 2019 tandis que les plus grands producteurs européens de microalgues étaient l'Allemagne, l'Espagne et l'Italie, la France était le 2ème importateur d'algues et microalgues alimentaires en Europe. C'est le cas notamment de la spiruline dont 70 % de la production provient de la Chine, de l'Inde et de Taïwan : **en 2018 pour 500 tonnes consommées, seulement 50 tonnes provenaient de la production française. Le secteur des micro-algues est considéré comme encore en émergence (CGAER 2019).**

Le secteur émergent de la bioéconomie bleue, une économie basée sur l'exploitation durable des ressources aquatiques, est en expansion, avec le soutien de la puissance publique, des investisseurs et des centres de recherche, pour le développer les innovations et mettre en place des unités de production. L'interface entre les milieux académiques et économiques traitant des microalgues est riche. On peut citer :

- la plateforme Algosolis implantée à Saint-Nazaire, qui associe le laboratoire GEPEA (université de Nantes, IMT Atlantique, Ecole nationale vétérinaire de Nantes Atlantique, CNRS), le CNRS et l'université de Nantes,

université où l'Ifremer a conservé également une activité ;

- la plateforme « Microalgues et procédés » du CEA-Tech de Cadarache dédiée à l'étude des procédés de production de microalgues, implantée sur le site de la Cité des Energies de Cadarache, en Provence, dans un écosystème qui représente un des plus grands pôles de recherche en énergies décarbonées d'Europe ;
- ainsi que l'ADEME, le laboratoire d'océanographie de Villefranche sur Mer en association avec l'unité INRIA de Sophia Antipolis.

*Les travaux de recherche concernent les secteurs d'applications des microalgues, comme la nutrition humaine, les actifs cosmétiques, l'alimentation animale ou encore les biostimulants pour l'agriculture.*

La filière des microalgues comporte quatre segments principaux : l'élevage et la culture, la transformation primaire (production d'ingrédients, surtout farines et huiles), la transformation secondaire (production de produits alimentaires), enfin la distribution. Les acteurs du marché opèrent sur l'une ou plusieurs de ces étapes.

Les start-ups jouent un rôle prépondérant, avec comme enjeu majeur la sélection des souches et leur gestion (soucheotèques).

Si de grands industriels se sont lancés dans la valorisation des microalgues, à l'instar du groupe Roquettes Frères qui produit des chlorelles, l'essentiel des projets sont portés par des start-ups du secteur des biotechnologies. Ces start-ups développent des procédés innovants mais souvent limités à une étape de la production. Quelques unités de productions plus importantes, souvent filiales de groupes de biotechnologie étrangers ont néanmoins émergé (Greensea, Fermentalg, Algosource, Polaris, Bio-réa filiale du groupe Agrial, ...).

Initialement localisés dans le sud-est du pays, les producteurs de spirulines, même s'ils sont plus nombreux dans les régions méridionales, aux conditions climatiques plus propices à cette production, se rencontrent désormais sur tout le territoire national. La région des Pays de la Loire est l'une des principales régions françaises de production de spiruline, après les régions Occitanie et PACA, où l'on constate un développe-

ment des installations ces dix dernières années.

Dans l'Hérault, Greensea (groupe Greentech) et Microphyt cultivent les microalgues pour extraire des ingrédients actifs qui se substituent aux ingrédients synthétiques et aux protéines animales utilisés dans l'agroalimentaire.

La société Microphyt cultive des microalgues dont elle extrait des ingrédients actifs, L'entreprise a engrangé des moyens importants grâce à une levée de fonds de 28,5 millions d'euros mi-2019. Le consortium Scale qu'elle pilote a obtenu en 2021 un financement européen de 15 millions d'euros sur quatre ans.

**De nombreux opérateurs interviennent**, produisant eux-mêmes leurs microalgues ou s'approvisionnant auprès de partenaires, pour développer de nouvelles solutions. Certains investissent les marchés de l'alimentaire et de la cosmétique alors que d'autres se positionnent dans **une variété de segments émergents**.

**Pour ce qui concerne la spiruline**, l'enquête du service de la statistique et de la prospective du ministère chargé de l'agriculture recense en 2020 177 producteurs, qui cultivent la spiruline dans des petites fermes paysannes (Agreste 2022). Ce sont des structures de petite taille : toutes à titre principal, emploient 290 ETP, soit en moyenne 1,6 ETP par unité de production. La production est évaluée à 222,5 tonnes de poids vif (56 tonnes en poids sec).

#### *Fédération des Spiruliniers de France (FSF)*

La culture des spirulines en France relève en partie d'une organisation particulière, la Fédération des Spiruliniers de France (FSF) se présentant comme promotrice d'une « spiruline paysanne ».

La FSF, née en 2009 à l'initiative de quelques producteurs, est un réseau de producteurs solidaires entre eux. Elle a pour objectif de professionnaliser le métier et de maintenir le lien entre ses adhérents. La FSF choisit ses orientations stratégiques collectivement. Ses adhérents producteurs sont répartis dans toutes les régions de France et sont réunis autour d'une charte éthique qui les engage à produire de la spiruline selon un esprit paysan, dans le respect des Hommes et de la Nature.

*L'association pour le développement de l'aquaculture, de la spiruline et des micro Algues en Europe (ADASMAE) regroupe d'autres producteurs.*

## Description de quelques unités de productions importantes en France

### Algae

LLDC Algae est un site agro-industriel de culture de microalgues, créé en 2012 et pouvant s'étendre sur une surface de 30 hectares, situé en centre Bretagne, qui développe une activité agricole visant à répondre aux enjeux économiques et écologiques :

- l'ensemble des ressources utilisées est renouvelable,
- le méthaniseur pourrait produire environ 4 fois plus d'électricité que celle consommée sur site.
- tout le CO<sub>2</sub> produit sur site sera capté et consommé par les microalgues

Les principaux produits de Algae sont :

**Greencrops**, matières fertilisantes à usage bios-timulant, engrais foliaire constitué de *Chlorella vulgaris* et d'oligo-élément

**Greenbloom**, boissons fraîches à base de *Chlorella vulgaris*,

**Greenfeed**, gamme de produits destinés à la nutrition animale, pour tout type d'animaux d'élevages. L'ensemble des produits est constitué de *Chlorella vulgaris*, autorisée en alimentation animale en tant que matière première.

### AlgoSource (ex Alpha Biotech)

En 1993, Alpha Biotech a créé la première ferme de microalgues en bassins ouverts de France.

En 2012 Alpha Biotech fusionne avec AlgoSource Technologies, bureau d'études et de conseils proposant des services dans le but de développer des procédés de valorisation de différentes microalgues, notamment la spiruline, sous forme de complément alimentaire.

En 2016, l'entreprise ouvre à Guérande une unité de production spécialisée dans l'extraction et la valorisation des principes actifs de biomasses fraîches de microalgues par un procédé breveté d'extraction à froid et à l'eau, sans solvant ni produits chimiques. Formulées et conditionnées sur-mesure, ces molécules sont proposées à la clientèle comme ingrédients bioactifs ou comme produits finis.

En 2020, la société se concentre sur l'extraction

des molécules bioactives issues de la biomasse de micro-algues pour produire des extraits bioactifs et des compléments alimentaires naturels.

Algosource, qui emploie plus de 20 salariés, a prévu de rapatrier l'ensemble de ses activités (production, transformation, conditionnement, expédition) sur le site de Gavy2026.

AlgoSource cultive la Spiruline essentiellement en bassins ouverts sous serres (ou raceways) en respectant le cycle naturel de reproduction et de croissance des souches. Très sensible à l'impact environnemental de ses productions, AlgoSource s'est par ailleurs engagée dans le développement d'un photobioréacteur de culture nouvelle génération permettant de produire, à haute intensité, des microalgues dans un espace restreint, dans un temps optimisé et avec une consommation d'intrants et de fluides minimisée.

Le produit emblématique d'AlgoSource, obtenu grâce à un procédé unique est Spirulysat. Ce procédé exclusif permet d'isoler les principes actifs les plus puissants de la spiruline, parmi ceux-ci les phycocyanines, et d'en conserver toutes les fonctionnalités originelles offrant ainsi des applications en santé de pointe.

AlgoSource a mis au point un extrait liquide de Chlorelle (*Chlorella vulgaris*) disponible pour la nutraceutique

En 2022 a débuté un essai clinique autour de la spiruline, en milieu hospitalier sous la direction du CHU de Nantes et avec six autres centres hospitaliers en France. L'objectif de cet essai est d'évaluer l'efficacité d'un extrait de spiruline pour réduire les effets indésirables de la chimiothérapie, en particulier les neuropathies périphériques qui sont très douloureuses et handicapantes.

L'entreprise a bénéficié en 2021 du plan de relance gouvernemental post-COVID, pour soutenir le développement de produits à base de porphyridium, une micro-algue rouge, pour les secteurs de la santé, du bien-être et de la cosmétique.

### Greensea

Filiale du groupe Greentech, Greensea, implanté depuis 1988 au bord de l'étang de Thau dans le parc scientifique et environnemental de Mèze, fournit depuis 35 ans le marché mon-

dial en algues, microalgues et molécules actives issues de plantes aquatiques. La société, premier producteur européen de microalgues, poursuit des recherches et développements pour la cosmétique, l'alimentation, l'aquaculture et le médical.

A l'origine de Greensea, se trouve la société d'économie mixte Aquamer créée en 1985, dont l'activité principale était la valorisation de microalgues pour l'élevage de poissons. En 2005, le groupe clermontois Greentech a racheté l'entreprise, renommée Greensea. Aujourd'hui, Greensea dispose de 250 souches de microalgues marines ou d'eau douce, et les transforme en ingrédients actifs destinés au secteur cosmétique, agronomique, agroalimentaire, etc. Depuis le rachat en 2020 de la société portugaise Allmicroalgae, Greensea présente une capacité de production de 120 tonnes de microalgues par an.

De la spiruline, Greensea extrait et produit de la phycocyanine notamment sous forme de concentré actif à destination des sportifs. D'autres souches synthétisent des pigments fluorescents, offrant une alternative non polluante aux dosages radio-immunologiques pour le secteur industriel du diagnostic médical. érivés de macro-algues (polysaccharides).

### **Fermentalg**

Basée à Libourne, Fermentalg est une société de biotechnologie industrielle, spécialisée dans la production d'huiles riche en acides gras (oméga-3), de protéines et de pigments naturels (phycocyanine) par fermentation de microalgues. Fermentalg propose des produits pour les marchés mondiaux tel que l'alimentation humaine et animale et l'environnement.

A partir des microalgues sont extraites des molécules comme les Omega-3 utilisées dans l'industrie agro-alimentaire ou la DHA en cosmétique. En 2022, la société a communiqué sur la forte croissance des ventes de son produit DHA.

Depuis sa création en 2009 à Libourne, l'entreprise, soutenue par le plan d'investissement public France 2030, a développé une vingtaine de brevets, et emploie aujourd'hui près de 70 personnes, avec l'un.

### **CarbonWorks**

La société Fermentalg et le groupe Suez ont créé en 2021 CarbonWorks, une jeune pousse spéciali-

sée dans la capture et la valorisation du CO<sub>2</sub> par culture de microalgues. L'entreprise a développé un photo bioréacteur industriel capable de capter plusieurs milliers de tonnes de CO<sub>2</sub> directement à la source des émissions d'usines.

Les microalgues seront ensuite transformées en matière première destinée aux marchés de l'agroalimentaire tandis que l'oxygène du CO<sub>2</sub> est relâché dans l'atmosphère. L'étape suivante consiste à extraire de la biomasse des molécules d'intérêt pour les industriels, par exemple des fongicides naturels, des lipides et des Oméga 3, des colorants alimentaires ou encore des ingrédients pour l'alimentation des animaux. La production d'une tonne de biomasse valorise ainsi 2 tonnes de CO<sub>2</sub>. L'objectif avec les photo-bioréacteurs industriels est de recycler 10 000 tonnes de CO<sub>2</sub> par hectare et par an. CarbonWorks compte proposer une solution industrielle en 2026, avec une étape marquée par la mise en service en 2023 d'un photo bioréacteur de taille semi-industrielle, avec le soutien de Bpifrance. Ce projet fait suite à la première installation d'un réacteur de démonstration installé sur un site de méthanisation à Cestas, en Gironde.

### **Algama**

La start up Algama, située à Malakoff, a été créée en 2013 avec l'objectif d'utiliser les microalgues pour remplacer les produits carnés, laitiers et de la mer : ses laboratoires de recherche et d'application accompagnent les entreprises et industriels de l'agroalimentaire souhaitant végétaliser leurs recettes.

Cette startup a consacré ses activités au développement de nouvelles applications alimentaires et à leur adaptation à l'échelle industrielle. Il en a résulté plusieurs gammes de produits, dont une gamme de boissons et une gamme de sauces de type mayonnaise végétale sans œuf. La société, qui affiche une quarantaine d'employés sur LinkedIn, est notamment connue pour son produit Tamalga, dont destiné à remplacer les œufs dans de nombreuses applications en boulangerie-pâtisserie et viennoiserie (brioches, biscuits, entremets, madeleines, gaufres). Elle a annoncé que le prix de ses ingrédients est égal, voire inférieur, aux produits auxquels ils se substituent

Plusieurs fois récompensée (prix au Salon International de l'Alimentation en 2014 pour une boisson naturellement bleue à base d'extraits de spiruline,

lauréat en 2022 du concours d'innovation « I-Nov » de France 2030, dans le volet « Protéines et ferments du futur », Algama est soutenue par des levées de fonds significatives.

Algama a été retenue parmi les vingt sociétés lauréates "Green 20" de la French Tech et participe actuellement au développement d'une autre start-up, Seafood Reboot, visant à développer des produits dérivés des algues en substitution aux produits de la mer d'origine animale. Titulaire de 25 brevets dans 31 pays, Algama prévoit d'implanter sa première usine de 10 000 m<sup>2</sup> à Liège en Belgique et se positionne comme un acteur clé de la transition alimentaire vers l'utilisation de nouvelles protéines. Algama ne produit pas elle-même d'algues. Elle se fournit auprès de cultivateurs majoritairement français et européens. Ses laboratoires étudient différentes espèces de microalgues, repèrent les composants dont les caractéristiques sont susceptibles de remplacer un ingrédient donné dans une recette, puis les extraient.

L'entreprise se dit capable de développer plusieurs centaines de produits pouvant se substituer aux protéines animales et végétales ou à certains émulsifiants, grâce notamment à deux espèces de microalgues la spiruline et la chlorelle.

### **Exemples d'unités de productions importantes en Europe**

#### **Phytobloom Necton S.A**

Implantée depuis 1997 au Portugal (Algarve), Necton S.A. a développé un savoir-faire étendu dans la culture de diverses microalgues grâce à des techniques de culture spécialisées. C'est une des plus anciennes entreprises d'Europe dédiée à la production et à la commercialisation de microalgues. En 2016, Necton a augmenté significativement sa capacité de production industrielle de microalgues grâce aux acquis d'un projet européen (INTE-SUSAL).

Actuellement, cinq photo bioréacteurs tubulaires d'un volume total d'environ 100 m<sup>3</sup> assurent une production d'une grande variété d'espèces de microalgues de haute qualité biochimique et biologique.

L'unité Microalgues de Necton fournit depuis 1997 des produits pour l'aquaculture, les cosmétiques, les aquariums, l'alimentation humaine et animale sous la marque PHYTOBLOOM®. Ces activités commerciales sont associées à un volet de recherche et

développement continu, pour l'amélioration des processus et développement de produits. L'entreprise dispose d'une équipe de biologistes marins, de microbiologistes et d'ingénieurs possédant l'expérience de la mise en œuvre de projets d'innovation nationaux et internationaux.

### **Eparella GmbH**

Eparella GmbH, une filiale d'Ecoduna AG, a déployé en 2018 sa technologie de photobioréacteur (PBR) pour la production de microalgues à l'échelle industrielle. L'usine de production de microalgues ouverte à Bruck/Leitha (Autriche) fait de l'entreprise autrichienne un leader mondial de la technologie des PBR..

En 11 mois de construction, après dix années de recherche et de développement, l'une des plus grandes installations de croissance de systèmes fermés de microalgues du monde a ainsi été installée sur une surface de plus de 10 000 m<sup>2</sup>. Dans son état initial de développement, l'installation fournit une production annuelle pouvant atteindre 100 tonnes de biomasse sèche d'algues. À sa capacité maximale, le volume de production pourra atteindre 300 tonnes de biomasse.

### **Références bibliographiques (Annexe 4)**

- Agreste (2022) Culture d'algues et de cyanobactéries 2020, *Agreste n°7*, Service de la statistique et de la prospective du ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire
- Borowitzka Michael A. Commercial production of microalgae: ponds, tanks, tubes and fermenters. *Journal of Biotechnology*, 1999;70:313-21
- CGAAER (2019) Le développement de la « Bioéconomie bleue », *rapport N°18126 du Conseil général de l'alimentation, de l'agriculture et des espaces ruraux*, Ministère de l'agriculture et de l'alimentation.
- JRC (2018) Biomass production, supply, uses and flows in the European Union, *JRC Science for policy report*, ISBN 978-92-79-77237-5
- Tsukada O, Kawahara T, Miyachi Sh. (1977) Mass culture of *Chlorella* in Asian countries in *Biological Solar Energy Conversion*, Mitsui A. et al. eds, Academic Press 1977, 363-5



**MINISTÈRE  
DE LA TRANSITION  
ÉCOLOGIQUE,  
DE L'ÉNERGIE, DU CLIMAT  
ET DE LA PRÉVENTION  
DES RISQUES**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

CGDD/SRI/SDR

Commissariat Général au Développement Durable  
Tour Séquoia - 1 place Carpeaux  
92055 LA DÉFENSE CEDEX

[www.ecologie.gouv.fr](http://www.ecologie.gouv.fr)

---