

Le directeur général

Maisons-Alfort, le 12 février 2015

AVIS **de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation,** **de l'environnement et du travail**

relatif à « la valorisation des insectes dans l'alimentation et l'état des lieux des connaissances scientifiques sur les risques sanitaires en lien avec la consommation des insectes »

L'Anses met en œuvre une expertise scientifique indépendante et pluraliste.

L'Anses contribue principalement à assurer la sécurité sanitaire dans les domaines de l'environnement, du travail et de l'alimentation et à évaluer les risques sanitaires qu'ils peuvent comporter.

Elle contribue également à assurer d'une part la protection de la santé et du bien-être des animaux et de la santé des végétaux et d'autre part l'évaluation des propriétés nutritionnelles des aliments.

Elle fournit aux autorités compétentes toutes les informations sur ces risques ainsi que l'expertise et l'appui scientifique technique nécessaires à l'élaboration des dispositions législatives et réglementaires et à la mise en œuvre des mesures de gestion du risque (article L.1313-1 du code de la santé publique).

Ses avis sont rendus publics.

L'Anses s'est autosaisie le 23 juin 2014 pour la réalisation d'une expertise portant sur 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 (2014-SA-0153) ».

1. INTRODUCTION

L'Anses a pour mission de réaliser l'évaluation des risques sanitaires dans son périmètre d'intervention, de fournir aux autorités compétentes toutes les informations sur ces risques ainsi que l'expertise et l'appui scientifique et technique nécessaires à l'élaboration des dispositions législatives et réglementaires et à la mise en œuvre des mesures de gestion des risques.

Plusieurs organisations internationales se sont récemment prononcées sur la valorisation des insectes pour l'alimentation humaine et animale. Par ailleurs, des opérateurs, notamment français, y voient une opportunité et ont commencé à proposer des produits à base d'insectes. Dans la lignée d'autres agences européennes, notamment belge et néerlandaise qui ont récemment publié leurs rapports sur la sécurité sanitaire des insectes destinés à l'alimentation humaine, l'Agence nationale de sécurité sanitaire a souhaité réaliser un état des lieux des connaissances scientifiques et des bénéfices/risques liés à la consommation des insectes.

Un travail bibliographique mené par l'Université de Liège-Gembloux a permis de faire la revue des connaissances scientifiques existantes.

Le présent avis aborde les questions relatives aux dangers sanitaires (biologiques, physiques, chimiques, allergiques, etc.) chez les insectes et produits à base d'insectes destinés à l'alimentation humaine et animale. Les aspects nutritionnels et environnementaux sont abordés brièvement.

Les éléments suivants n'ont pas été intégrés à la présente expertise :

- La question de l'impact des insectes sur le plan de la sécurité alimentaire ;
- L'évaluation des risques sanitaires par espèce d'insectes ou par produits à base d'insectes ;
- La consommation sous la forme de préparations protéiques (extraits d'insectes) ;
- Les questions relatives au bien-être des insectes aux différents stades de l'élevage et la production ;
- Les problématiques liées à la biosécurité des élevages ;
- Les interactions insectes/plantes et la santé végétale ;
- Les entomopathogènes et la santé des insectes ;
- Les risques sanitaires liés à la collecte dans l'environnement (capture sauvage) des insectes comestibles.

2. CONTEXTE GENERAL

2.1. La FAO se prononce en faveur de la valorisation des insectes

D'ici 2030, plus de neuf milliards de personnes devront être nourries, tout comme les milliards d'animaux élevés chaque année pour l'alimentation, les loisirs ou comme animaux de compagnie (FAO 2009). L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) met ainsi en avant un problème de sécurité alimentaire globale qui risque de se poser, et qui vraisemblablement sera ressenti de manière plus aiguë dans les pays en développement (Belluco, Losasso *et al.* 2013).

Parmi les réponses possibles aux problèmes de suffisance alimentaire pour les hommes et les animaux, l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) recommande dans son rapport « *Edible Insects* » d'envisager l'élevage d'insectes à grande échelle (van Huis, van Itterbeeck *et al.* 2013). D'après la FAO, ce sont près de 2,5 milliards d'humains qui mangent régulièrement des insectes dans le monde. Dans de nombreuses parties du monde, avec le changement des habitudes alimentaires et l'urbanisation, ce nombre est en décroissance (Gracer 2010). En Europe, depuis la parution de ce rapport, l'idée de développer une production industrielle d'insectes comestibles fait son chemin (van Huis, van Itterbeeck *et al.* 2013).

Plusieurs publications décrivent les insectes comme ubiquitaires et se reproduisant rapidement (i.e. *Acheta domesticus* peut pondre jusqu'à 1500 œufs en un mois), tout au long de l'année dans des conditions contrôlées. Selon ces mêmes publications, les insectes présenteraient, en outre, des taux de croissance et de conversion alimentaire élevés par rapport aux élevages conventionnels d'animaux de rente (Nakagaki et Defoliart 1991). Néanmoins les méthodes de calcul ayant conduit à ces résultats nécessiteraient d'être évaluées. D'autres études mettent en avant un faible impact sur l'environnement pendant tout leur cycle de vie, principalement en raison

des plus faibles émissions de gaz à effet de serre (Oonincx, van Itterbeeck *et al.* 2010) et d'une demande réduite en espace d'élevage. Des publications concluent que certains insectes sont des aliments très nutritifs, particulièrement caloriques avec une teneur élevée en protéines, matières grasses et minérales. Si les insectes étaient élevés industriellement, des travaux envisagent l'utilisation des déchets organiques, par exemple les déchets alimentaires (utilisation aujourd'hui interdite par la réglementation), comme aliments pour les insectes. Par ailleurs, ces insectes peuvent être consommés entiers, réduits en poudre ou formulés en pâte et incorporés à diverses préparations alimentaires afin d'augmenter l'acceptabilité par les consommateurs (Yi, Lakemond *et al.* 2013).

2.2. Un point de vue soutenu par les industriels

Dans un contexte de raréfaction des ressources, de recul en surface des terres agricoles, et de forte dépendance de l'Europe en protéines pour l'alimentation animale, de nombreux industriels de l'alimentation animale ont montré un intérêt grandissant pour la valorisation des insectes comme source de protéines. Ils considèrent que l'utilisation de matières organiques - de déchets et/ou coproduits de l'agriculture et des industries alimentaires - pour élever des insectes pourrait s'avérer intéressante pour plusieurs raisons : (1) la valorisation de produits de faible valeur (le fumier, les déchets de cuisine ou d'industries agro-alimentaires) en une source de protéines de haute valeur, (2) la réduction d'importants volumes de déchets (tel le vermicompostage c'est-à-dire la transformation en engrais naturels de déchets biodégradables par des vers de compost). Ils envisagent l'élevage de plusieurs espèces de diptères pour contribuer à la réduction de déchets organiques variés et ce, sur de courtes durées (van Huis 2013).

Selon certains opérateurs, le recours aux insectes, en tant qu'aliment pour l'aquaculture et l'élevage de volailles, devrait se généraliser au cours des prochaines décennies. La production traditionnelle d'aliments pour animaux domestiques devrait encore s'intensifier. Ils considèrent que face à la raréfaction des ressources (terres, eau, etc.) et la nécessité d'une utilisation plus efficace de ces ressources, le temps est venu de se diversifier avec notamment l'utilisation de nouvelles sources de protéines (van Huis 2013).

2.3. Actualités : projets de recherche en cours sur la thématique

Dans ce contexte d'engouement de certaines institutions internationales et des industriels, des projets de recherche français et communautaire ont vu le jour pour améliorer les connaissances scientifiques sur cette thématique.

2.3.1. Projet ANR – DESIRABLE: Conception d'une bioraffinerie d'insectes pour contribuer à des systèmes agroalimentaires plus durables.

Le projet vise à développer une raffinerie de bioconversion par les insectes de coproduits sous-valorisés en protéines adaptées à l'alimentation animale. Il a été lancé en 2013 pour une durée de 48 mois. Plusieurs partenaires publics (cinq laboratoires INRA, CNRS, CEA, ITAP) et privés (Ynsect, IPV Foods) participent à ce projet. L'Anses, aux côtés d'autres institutions publiques, pôles de compétence, organisations de consommateurs et représentants des filières, est membre du comité consultatif de ce projet financé par l'ANR.

Deux espèces d'insectes, le ver de farine, *Tenebrio molitor* et la mouche soldat *Hermetia illucens*, ont été sélectionnées. Les thématiques de recherche portent sur les défis d'une alimentation durable, notamment les aspects sanitaires et nutritifs.

2.3.2. Projet PROteINSECT – FERA (Food and Environment Research Agency)¹ : “*Insects as a sustainable source of protein*” ou comment l’exploitation des insectes pourrait apporter une alternative durable à l’approvisionnement en protéines pour l’alimentation animale et la nutrition humaine.

Le projet de trois ans financé par la Commission européenne repose sur un consortium international avec des partenaires publics et privés en Europe, Afrique et Asie.

Deux espèces de mouches, la mouche soldat *Hermetia illucens* et la mouche domestique *Musca domestica*, sont étudiées et leurs larves utilisées en production pour valoriser les déchets organiques en matières fertilisantes. De la biomasse d’insectes pourront être extraits d’autres composés que les protéines destinées à l’alimentation animale, la chitine pour son action antimicrobienne et les lipides pour la production de biodiesels. Parmi les thématiques de l’étude sont abordées les questions relatives à :

- la production industrielle des insectes, la transformation et les essais d’alimentation animale ;
- l’évaluation des aspects qualité et sécurité sanitaire (contaminants environnementaux tels que métaux lourds, dioxines, PCB et PAH ; agents pathogènes et d’altération ; résidus chimiques tels les pesticides et les médicaments vétérinaires ; allergènes) ;
- l’analyse du cycle de vie (principalement les aspects environnementaux, parfois économiques et sociétaux).

L’étude est en cours et les résultats sont attendus pour le premier trimestre 2016.

2.4. Contexte réglementaire

L’exploitation des insectes relève de plusieurs textes réglementaires, notamment ceux sur les animaux d’élevage, les sous-produits animaux, les aliments pour animaux et les nouveaux aliments pour l’Homme. Les détails des différentes réglementations sont présentés en annexe 1 du présent avis et sont résumés dans cette partie.

Concernant l’élevage des insectes, il n’existe pas de réglementation spécifique propre à ce type d’élevage. Les insectes étant des espèces non domestiques, ils relèvent de la réglementation “faune sauvage captive”². Ainsi le fait d’exploiter un établissement d’élevage professionnel d’insectes nécessite l’octroi préalable d’un certificat de capacité d’élevage et une autorisation préfectorale d’ouverture. A noter qu’il n’existe aucune mesure nationale de protection animale spécifique aux insectes élevés en captivité.

Par ailleurs, les substrats sur lesquels ils sont élevés ne doivent pas être interdits (Règlement (UE) n°767/2009 2009; Règlement (UE) n°1069/2009 2009).

Les installations et usines susceptibles de générer des risques ou des dangers sont soumises à une législation et une réglementation particulières, relatives à ce que l’on appelle “les installations classées pour la protection de l’environnement”. Leurs activités sont énumérées dans une nomenclature qui les soumet à un régime d’autorisation³. Plus particulièrement, la rubrique 2150 de cette nomenclature, porte sur les verminières, élevages d’insectes ou de larves d’insectes dans

¹ <http://www.proteinsect.eu/>

² Code de l’environnement, [articles L. 413-1 à L. 413-5 \(PDF - 59 Ko\)](#) et [articles R. 413-1 à R. 413-50 \(PDF - 92 Ko\)](#) et ses textes d’application.

³ <http://www.installationsclassées.developpement-durable.gouv.fr/accueil.php>

le but de servir d'appâts pour les pêcheurs, ou de nourriture pour des oiseaux de compagnie, des reptiles, etc.

Concernant l'usage des invertébrés (donc des insectes) non pathogènes pour l'homme en alimentation animale, ils entrent dans la catégorie des matières de catégorie 3 définies à l'article 10.I du Règlement (UE) n°1069/2009 (2009) mais ne sont pas considérés comme des protéines animales transformées (PAT). Des restrictions d'utilisation sont ainsi règlementairement prévues par le Règlement (UE) n°999/2001 (2001) qui interdit l'utilisation des PAT dans l'alimentation des animaux d'élevage, à l'exception, depuis le 1^{er} juin 2013, des animaux d'aquaculture (Règlement (UE) n°56/2013 2013). Il faut noter que ce règlement ne s'applique pas au *petfood* ni à l'alimentation des animaux à fourrure. Si la législation venait à évoluer en incluant les insectes dans les PAT, leur utilisation serait permise pour les poissons, voire selon les évolutions règlementaires pour les non-ruminants (porcs, volailles).

Le statut réglementaire de l'insecte comme aliment pour l'homme soulève des interrogations. L'usage des insectes en alimentation humaine relève du Règlement (UE) n°258/97 (1997) de la Commission Européenne relatif aux nouveaux aliments et aux nouveaux ingrédients⁴ et doit donc faire l'objet des autorisations requises par ce texte. Le règlement actuel est imprécis puisqu'il ne vise que les parties d'animaux (et non les insectes entiers) et ambigu (difficulté d'interprétation du « degré significatif » de consommation antérieure à 1997, qui fonde cette réglementation). Une révision du règlement est prévue pour 2016. Les insectes entiers et parties d'insectes devraient y être mentionnés très clairement.

A ce jour, aucun dossier de demande d'autorisation n'a été validé au niveau européen. Par conséquent, aucun insecte, ni dérivé d'insecte, ne peut être mis sur le marché pour l'alimentation humaine en conformité stricte avec la réglementation actuellement en vigueur.

Cependant, face aux intérêts croissants suscités par l'exploitation des insectes, certains industriels en Europe ont fait valoir l'ambiguïté des textes actuels pour s'exonérer des procédures préalables à leur commercialisation. Ainsi, par exemple, l'Agence fédérale pour la sécurité de la chaîne alimentaire (AFSCA) belge a d'ores et déjà autorisé la mise sur le marché de dix espèces d'insectes et de leurs dérivés pour la consommation humaine sur le territoire belge. Sous couvert du respect des règles générales de la législation alimentaire en vigueur, les opérateurs belges bénéficient depuis décembre 2013 d'une "tolérance" en attendant une harmonisation européenne pour l'autorisation de commercialisation sur l'ensemble du marché communautaire.

3. ORGANISATION DE L'EXPERTISE

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – Prescriptions générales de compétence pour une expertise (Mai 2003) ».

Une convention de recherche et développement (CRD) a été signée entre l'Anses et l'Université de Liège-Gembloux pour la réalisation, par l'Unité d'entomologie fonctionnelle et évolutive de

⁴ Le statut de « nouvel aliment » est établi sur la base de l'absence d'historique de consommation en Europe avant 1997.

Gembloux Agro Biotech, d'une revue bibliographique des connaissances scientifiques et réglementaires relatives à la consommation d'insectes et de leurs dérivés.

Le produit intermédiaire rendu en janvier 2014 a été relu par un groupe d'experts issus des comités d'experts spécialisés (CES) sur les risques biologiques (BIORISK), chimiques (ERCA) et en alimentation animale (ALAN). Le produit final a été présenté en réunion plénière aux CES BIORISK le 20 mai 2014 et ALAN le 17 juin 2014. Le produit définitif prenant en compte les modifications demandées a été remis par Gembloux Agro Biotech le 7 juillet 2014.

Pour la réalisation du présent avis, l'expertise collective a été réalisée par les CES BIORISK et ALAN sur la base d'un rapport initial, préparé par le groupe d'experts relecteurs du produit de CRD, et présenté lors des sessions plénières de septembre à décembre 2014. Le rapport final a été validé le 10 décembre 2014.

L'Anses analyse les liens d'intérêts déclarés par les experts avant leur nomination et tout au long des travaux, afin d'éviter les risques de conflits d'intérêts au regard des points traités dans le cadre de l'expertise.

Les déclarations d'intérêts des experts sont rendues publiques *via* le site internet de l'Anses (www.anses.fr)

4. ANALYSE ET CONCLUSIONS DU CES

4.1. Généralités

4.1.1. Consommation humaine des insectes dans le monde

a. *Consommation intentionnelle*

Actuellement, 2086 espèces d'insectes sont consommées par environ 3071 groupes ethniques dans 130 pays du monde (Ramos-Elorduy 2009; Rumpold et Schlüter 2013). Dans les pays de régions tropicales, Afrique, Asie, Australie et Amérique du Sud, l'entomophagie⁵ était traditionnellement développée dans les populations rurales, qui trouvaient dans les insectes récoltés dans la nature une source de protéines abondante et très bon marché (Barre, Caze-Subra *et al.* 2014). Elle a ensuite gagné les villes fréquemment surpeuplées de ces différents pays, souvent à destination des populations urbaines les plus pauvres. Si la collecte des insectes comestibles perdure encore dans les zones rurales, elle a fait place à une industrie de production en masse d'insectes comestibles, essentiellement localisée dans les zones périurbaines. D'abord développée dans des fermes de taille modeste, cette activité de production et d'élevage d'insectes comestibles s'effectue maintenant dans des entreprises spécialisées, notamment en Thaïlande et dans d'autres pays d'Asie (Barre, Caze-Subra *et al.* 2014).

Les insectes les plus couramment consommés sont :

- les larves ou adultes d'orthoptères (grillons, criquets et sauterelles) et d'hyménoptères (abeilles, guêpes et fourmis),
- les larves de coléoptères (charançons et longicornes),
- les chenilles et chrysalides de lépidoptères (papillons),

⁵ Entomophagie : du grec ancien « entomos » : insecte et de « phagos » : manger ; désignée comme la consommation d'insectes par l'espèce humaine. Comby B (1990) 'Délicieux insectes. Les protéines du futur.' (Paris)

- mais également certains adultes d'isoptères (termites) ou d'hémiptères aquatiques (punaises d'eau) (Durst et Shono 2010; Mignon 2002; Raubenheimer et Rothman 2013).

Il n'existe pas de données précises sur la consommation d'insectes en France, qui est très probablement marginale. Si l'objectif des divers acteurs de la filière est d'intégrer dans le futur les insectes au régime alimentaire de base, aujourd'hui il s'agit encore d'un marché de niche pour quelques consommateurs surtout désireux de sensations nouvelles.

b. Consommation non intentionnelle

Les normes du codex alimentaire relatives aux céréales, légumes secs, légumineuses et matières protéiques végétales interdisent la présence d'insectes entiers vivants dans la farine ou dans les graines, mais autorise au maximum 0,1 % de fragments d'insecte par masse d'échantillon. Tenant compte également de cette réalité, la Food and Drug Administration (FDA) a défini des tolérances pour ce type de défauts naturels et inévitables dans certains aliments⁶.

Ainsi, l'entomologiste Marcel Dicke de l'université de Wageningen au Pays-Bas, estime entre 500g et un kilogramme notre consommation involontaire annuelle de fragments d'insectes, notamment dans les produits fabriqués à base de farine (pain, pâtes, biscuits, etc.), chocolat, fruits et jus de fruits et légumes.

4.1.2. Applications industrielles

Certains insectes considérés comme des ravageurs de culture sont néanmoins valorisés à travers le monde (Defoliart 1995). Par exemple, la sériciculture exploite le ver à soie, chenille d'un papillon, le bombyx du mûrier (*Bombyx mori*) qui se nourrit des feuilles de mûrier jusqu'au stade de production de la soie servant à filer son cocon. Le ver à soie a fait l'objet d'une intense domestication en raison de son potentiel technologique et alimentaire. Plusieurs pays dont la Chine se sont investis dans sa production pour l'obtention de la soie et la valorisation des chrysalides en alimentation humaine et animale (Defoliart 1995). Le ministère thaïlandais de la santé publique a autorisé, depuis 1987, l'incorporation des chrysalides de *Bombyx mori* dans la formulation d'aliments prescrits aux enfants souffrant de malnutrition (Defoliart 1995). En Inde, au Japon, au Sri-Lanka et en Chine, les chrysalides de *B. mori* ainsi que les résidus de leur production sont utilisés pour l'alimentation du poisson et de la volaille (Kiuchi et Tamaki 1990).

Un autre insecte dont la domestication fut une réussite est l'abeille domestique, *Apis mellifera*. Dans les pays industrialisés l'apiculture est pratiquée pour la production de miel mais aussi de cire d'abeille, de pollen, de propolis, de gelée royale et du venin d'abeille (utilisé pour traiter les allergies graves liées aux piqûres) (Schmidt et Buchmann 1992). Dans les pays tropicaux, les populations consomment en plus du miel, le couvain (larves et pupes) d'abeille.

En industries agroalimentaires et en cosmétique, on utilise le colorant E120 provenant de la cochenille *Dactylopius coccus*. Celle-ci produit de l'acide carminique qui la protège des insectes prédateurs. L'acide carminique est extrait du corps et des œufs de cet insecte pour en faire une teinture colorée rouge, le cramoisi, autorisé comme colorant par la réglementation européenne et utilisé dans diverses formulations alimentaires comme le yaourt, les bonbons ou les sodas (Cardon 2003; Verkerk, Tramper *et al.* 2007).

⁶ <http://www.fda.gov/Food/GuidanceRegulation/GuidanceDocumentsRegulatoryInformation/SanitationTransportation/ucm056174.htm>

Certains critères ont été retenus par les professionnels pour une production rentable d'insectes comestibles : le choix porterait sur une espèce intéressante du point de vue nutritif, tout en privilégiant le caractère le plus facilement acceptable par les consommateurs humains (Rumpold et Schlüter 2013b). Leur sélection pourrait aussi être faite sur la base de sa taille, de son comportement social (cannibalisme réduit), de son innocuité pour les manipulateurs, de sa sensibilité aux risques épidémiques, de son potentiel de reproduction et de survie, de ses bénéfices nutritionnels, de son potentiel de stockage et de sa qualité marchande (Schabel 2010). D'une manière générale, ils attendent de l'insecte ciblé qu'il produise beaucoup d'œufs avec des taux de viabilité importants, qu'il se développe rapidement avec une synchronisation maximale des nymphoses afin de faciliter les récoltes d'individus, qu'il possède un haut taux de conversion de la nourriture, que sa nourriture soit peu coûteuse, qu'il soit peu vulnérable aux maladies et capable de vivre dans des volumes réduits avec une forte densité d'individus et qu'il produise des protéines de qualité par rapport aux autres protéines animales ou végétales (Rumpold et Schlüter 2013b).

Les chenilles de lépidoptères sont souvent utilisées car elles sont dépourvues d'ailes à ce stade et ne sautent pas, mais convertissent efficacement la biomasse végétale en biomasse animale (Schabel 2010). Les orthoptères (criquets, sauterelles et grillons) sont également employés en raison de leur abondance et disponibilité géographique (Defoliart 1995). Par exemple, la production d'un kg de biomasse du criquet *Oxya fuscovittata* a été réalisée en 29 à 35 jours à partir de 84 individus (Haldar, Das *et al.* 1999).

4.1.3. Prise en compte des aspects nutritionnels

Les quelques publications sur le sujet mettent en avant les valeurs nutritionnelles des insectes comestibles, bien que ces travaux ne concernent qu'un nombre très limité d'espèces. Ces résultats sont donc à considérer avec la précaution nécessaire. Il semble que certaines espèces soient particulièrement caloriques, riches en protéines, lipides, minéraux, vitamines et avec des compositions en acides aminés généralement bien équilibrées pour les besoins humains (Raubenheimer et Rothman 2013; Rumpold et Schlüter 2013a). En revanche, les insectes sont décrits comme pauvres en glucides avec un maximum de 10% de la masse totale chez certaines espèces d'insectes (Chen, Feng *et al.* 2009). La composition nutritionnelle et le contenu énergétique des principales espèces d'insectes consommées dans divers pays sont présentées dans deux publications récentes (Makkar, Tran *et al.* 2014; Rumpold et Schlüter 2013a). Les valeurs fournies sont basées sur la matière sèche. Les insectes considérés sont analysés entiers et contiennent toujours leur exosquelette chitineux.

Une étude comparant 100g d'insectes avec 100g de viande (poids frais) signale un contenu énergétique similaire (à l'exception de certains morceaux de la viande de porc particulièrement riches en matières grasses) (Sirimungkararat, Saksirirat *et al.* 2008).

Le contenu protéique pourrait être équivalent voire supérieur au contenu protéique de certaines viandes (Bukkens 1997; Ramos-Elorduy 1997; Srivastava, Babu *et al.* 2009). Selon Rumpold et Schlüter (2013a), les protéines représentent la principale composante de la matière sèche des insectes, entre 45 et 75g/100g de poids sec, selon les espèces. Selon ces mêmes auteurs, la composition en protéines et le contenu en acides aminés des insectes sont très variables d'une espèce à l'autre. Il apparaît aussi que les insectes sont pauvres en méthionine, ce qui est rarement le cas des viandes. Des essais d'alimentation animale devraient permettre de préciser la qualité des protéines d'insectes, tant du point de vue de la digestibilité que de l'efficacité de conversion du contenu en acides aminés.

Une étude chinoise montre des variations très fortes du contenu lipidique des insectes, entre 7 et 77g/100g de poids sec, en fonction de l'espèce considérée et de leur régime alimentaire (Chen, Feng *et al.* 2009). Le taux lipidique serait plus important dans les larves et les nymphes que dans les insectes adultes (Chen, Feng *et al.* 2009). Les insectes les plus riches en lipides appartiennent généralement aux ordres des isoptères (termites) et des lépidoptères (papillons). Comparés à la volaille et au poisson, les insectes seraient plus riches en acides gras poly-insaturés (AGPI) (DeFoliart 1991). En comparaison, le bœuf et le porc contiennent très peu d'AGPI mais beaucoup plus d'acides gras mono- insaturés (AGMI) (DeFoliart 1991).

La composition en cholestérol varie également avec le régime alimentaire des insectes (Ritter 2010). En effet, ceux-ci sont incapables de produire leurs propres stérols ce qui leur impose d'en obtenir dans leur nourriture.

Les résultats issus de l'étude allemande (Rumpold et Schluter 2013a) montrent que, d'une manière générale, les besoins journaliers pour l'homme en calcium et potassium ne seraient pas satisfaits par la consommation de 100 g d'insectes comestibles. Quant aux faibles quantités de sodium, elles permettraient d'envisager l'utilisation de certains insectes dans des régimes à faibles teneurs en sel. Enfin, les besoins en cuivre, fer, magnésium, manganèse, sélénium, zinc et phosphore pourraient être assurés avec la consommation de 100 g par jour de certaines espèces d'insectes. La présence de fer et de zinc chez les insectes est particulièrement intéressante car ces deux minéraux sont souvent à l'origine d'insuffisances d'apports dans les pays en développement (Rumpold et Schlüter 2013b; van Huis, van Itterbeeck *et al.* 2013). La teneur en minéraux varie, elle-aussi, en fonction de l'espèce d'insectes, de son stade de développement et de son régime alimentaire (Rumpold et Schluter 2013a; Rumpold et Schlüter 2013b; van Huis, van Itterbeeck *et al.* 2013). Les données relatives aux compositions en vitamines sont peu nombreuses et semblent témoigner d'une très forte variabilité. Cependant certains insectes scrupuleusement sélectionnés semblent pouvoir apporter les vitamines nécessaires à l'homme. De plus, l'élevage de ces insectes sur des substrats riches en vitamines, permettrait d'augmenter la teneur de vitamines dans ces derniers (Pennino, Dierenfeld *et al.* 1991).

Comme indiqué précédemment, les compositions en nutriments des insectes comestibles sont sujettes d'une façon générale à d'importantes variations. Des facteurs externes comme le climat, la nourriture, l'habitat, la préparation (par exemple insectes grillés ou bouillis) ou encore la méthode d'analyse (Bukkens 1997; Chen, Feng *et al.* 2009; Verkerk, Tramper *et al.* 2007) sont aussi à prendre en compte. Afin de pallier ces variations, en cas d'intégration des insectes dans l'alimentation humaine (particulièrement dans celle de personnes atteintes de certains désordres métaboliques), des standards de quantification, des pratiques d'élevages ou encore des compositions de régimes alimentaires doivent être créés et mis à la disposition des éleveurs (Bednářová, Borkovcová *et al.* 2014).

4.1.4. Prise en compte des questions environnementales

Très peu d'études existent sur l'impact environnemental de l'élevage des insectes. Le développement d'une nouvelle filière d'insectes durable devra prendre en compte l'empreinte environnementale au même titre que les aspects économiques et sociétaux. C'est l'un des objectifs du programme ANR « Désirable » en cours qui étudie les deux espèces *Hermetia illucens* et *Tenebrio molitor*.

Les travaux de Oonincx et de Boer (2012) ont visé à quantifier l'empreinte écologique d'un élevage de *Tenebrio molitor* basé au Pays-Bas, par le biais d'une analyse cycle de vie (ACV). Les ACV ont pour objectif d'évaluer l'impact environnemental d'un système, en analysant tous les processus liés au cycle de production (fabrication et transport des aliments, engrais, énergie, etc.) et sont régies par les normes ISO 14040 et ISO 14044. Trois paramètres propres aux opérations au sein de l'exploitation ont été analysés et comparés avec les systèmes d'élevages conventionnels d'animaux de rente (de Vries et de Boer 2010) et de production du soja (Dalgaard, Schmidt *et al.* 2007) pour l'alimentation animale : le « potentiel de réchauffement planétaire » (PRP), l'« utilisation de l'énergie fossile » (UEF), et l'« utilisation au sol » (US). Selon les auteurs, pour deux des trois paramètres étudiés (PRP et US), la production de *Tenebrio molitor* apparaît moins respectueuse de l'environnement que le soja mais plus que les productions animales conventionnelles. Il est à noter que cette analyse ne prend pas en compte la nature qualitative de ces surfaces qui se trouvent valorisées par les animaux de type bovins et seraient peu utilisables pour d'autres types de production. L'UEF calculée serait quasi identique entre les bovins et *T. molitor* alors que le porc et les volailles nécessiteraient une plus faible UEF (le soja n'a pas été classé par manque de données). Cela pourrait s'expliquer par le fait que les insectes sont poïkilothermes (ils ne peuvent donc pas autoréguler leur température corporelle). Ainsi, leur développement dépend des conditions de l'élevage et de leur zone de confort thermique. Dans le cas de *T. molitor*, les conditions optimales tournent autour des 28°C et de 70 % d'humidité relative (Li, Zhao *et al.* 2013), ce qui implique une grande consommation énergétique pour un élevage en Europe occidentale par exemple. De plus, les insectes présentent un indice de conversion alimentaire (ICA) élevé par rapport aux animaux à sang chaud des élevages conventionnels (van Huis 2010). Par conséquent, l'efficacité de l'élevage, en termes de prise de poids au stade choisi, de durée de la croissance, de consommation en aliments et d'impact environnemental, va nécessiter un contrôle rigoureux de la température d'élevage. Cela pourrait conduire à une consommation énergétique supérieure à celle des élevages conventionnels.

L'impact environnemental en termes de production de gaz à effet de serre devrait aussi être pris en compte. Ce sont de l'ordre de neuf pourcents de CO₂, 35-40% de CH₄, 65% de N₂O et 64% de NH₃ des émissions totales produites par les activités d'origine humaine qui seraient issues des productions animales conventionnelles (Steinfeld 2006). Au niveau mondial, les productions bovines de viande et de lait seraient à l'origine de la majorité des émissions totales produites par les élevages, respectivement 41% et 20%. Alors que les émissions issues des productions porcines et avicoles (chair et œufs) atteindraient respectivement 9% et 8% des émissions totales produites par les élevages (Gerber, Steinfeld *et al.* 2013). A ce jour il existe une seule étude comparant la production de gaz à effet de serre et d'ammoniaque entre des élevages conventionnels bovins et porcins et cinq espèces différentes d'insectes (Oonincx, van Itterbeeck *et al.* 2010). Les résultats de l'étude indiquent que les élevages d'insectes produisent généralement moins de gaz à effet de serre. Parmi les insectes, il semble que seuls les blattes, termites et scarabées produisent du méthane (Hackstein et Stumm 1994). Les autres sont dépourvus de bactéries méthanogènes dans le tube digestif. Une sélection adéquate de l'espèce pourrait donc permettre de réduire ces émissions. Selon de Vries et de Boer (2010), les productions de CO₂ et N₂O sont principalement liées au processus de fabrication et de transport des aliments. Si l'on considère que les besoins alimentaires des insectes sont moindres, les gaz produits par ces derniers pourraient l'être en moindres quantités que ceux produits par les élevages porcins et bovins. Cette étude présente cependant deux limites majeures puisque les analyses ont été

réalisées sur trois jours et non une durée de vie entière et qu'elle n'inclut que certains stades larvaires et nymphals du développement des insectes.

L'eau est une autre ressource naturelle à prendre en considération dans la mesure de l'impact écologique d'une pratique d'élevage. Selon la FAO, l'agriculture consomme déjà jusqu'à 70% de l'eau extraite des nappes souterraines, des cours d'eau et des lacs (FAO 2011), et pour faire face à la demande alimentaire croissante, cette fraction devrait augmenter de 14% entre la période 2000-2030 (FAO 2004). Selon certains auteurs, la plupart des élevages d'insectes ne requièrent quasiment pas d'apport supplémentaire en eau, en plus de celle contenue dans les aliments (Siemianowska, Kosewska *et al.* 2013; Steinfeld 2006).

4.2. Elevage des insectes comestibles

4.2.1. Collecte

Dans de nombreux pays asiatiques, africains et sud-américains, la collecte des insectes sauvages (termites, fourmis, larves, chenilles, criquets) permet de satisfaire aux besoins locaux. C'est une collecte saisonnière qui est immédiatement suivie de la consommation des insectes récoltés. Elle permet à de nombreuses populations d'enrichir un régime alimentaire basé presque exclusivement sur des céréales de faible valeur nutritive (sorgho, millet ou fonio en Afrique) en protéines et lipides. La plupart du temps, ces insectes sont consommés crus ou rapidement grillés. Ce type d'entomophagie par collecte des insectes dans la nature, échappe naturellement à tout contrôle sanitaire.

4.2.2. Systèmes d'élevage des insectes comestibles

a. Introduction

Des élevages industriels d'insectes comestibles se sont essentiellement développés dans les pays asiatiques, la Thaïlande et la Chine en particulier. La FAO a mis à disposition des informations sur les techniques d'élevage de différentes espèces d'insectes⁷. Ces élevages industriels sont souvent des centres collecteurs qui récupèrent la production issue de petites fermes d'élevage pour la conditionner industriellement. La production d'insectes comestibles y constitue une activité industrielle reconnue, qui irrigue un marché intérieur fortement demandeur (consommation humaine essentiellement), et se tourne également de plus en plus vers l'exportation. Ces firmes commercialisent notamment des insectes en vrac ou conditionnés en sachets, et des produits dérivés (farines d'insectes, confiseries à base d'insectes, insectes sucrés, etc.). Ces différents produits sont disponibles auprès de grossistes répartiteurs, installés en Europe, notamment en France.

L'élevage des insectes comestibles s'implante progressivement en Europe, surtout au Pays-Bas où en raison des relations restées fortes que ce pays continue d'entretenir avec les pays asiatiques, plusieurs entreprises spécialisées dans l'élevage des insectes comestibles ont vu le jour. Plusieurs sites industriels destinés à la production d'insectes pour l'alimentation animale ou humaine se développent sur le territoire national. Une fédération française des producteurs, importateurs et distributeurs d'insectes (FFPIDI) a vu le jour en 2011 avec pour objectif de structurer la filière Insectes.

⁷ <http://www.fao.org/forestry/edibleinsects/fr/>

b. Caractéristiques de l'élevage d'insectes comestibles

Les systèmes d'élevage comprennent :

- *Un dispositif de confinement strict* : les insectes destinés à l'alimentation sont élevés dans des cuves ou des bacs, construits à partir de matériaux simples. Ils doivent être étanches au passage des insectes de toute taille, par exemple au moyen de toiles mousseline ou toiles à moustiquaires. A l'échelle domestique ou artisanale en Europe, des terrariums sont utilisés. De nombreuses espèces sont cannibales et dévorent leurs propres œufs et larves si la nourriture vient à manquer. De même, les vers peuvent dévorer les nymphes. Un élevage séparé des adultes et des larves, vers, nymphes est donc fortement conseillé, avec aménagement de zones de nurserie spécifiques pour la ponte et l'élevage des juvéniles. Par exemple, la durée d'élevage pour des grillons est de deux mois, et seuls les adultes sont collectés et consommés. Inversement les vers de farine sont collectés à l'état de larves «état final » (environ un mois après la ponte), les coléoptères adultes ne sont utilisés que pour la reproduction.
- *Le maintien des conditions strictes d'élevage* : une aération constante, un éclairage naturel ou artificiel est conseillé avec alternance jour/nuit (certaines espèces se nourrissant surtout la nuit). Les lampes d'éclairage permettent également le maintien d'une température suffisante. En effet la température doit être maintenue constante et plutôt élevée (déterminant majeur de la croissance chez ces animaux poïkilothermes) : 25 à 30°C par exemple pour les grillons, en atmosphère tempérée. L'hygrométrie doit être contrôlée afin de ne pas favoriser le développement d'acariens et de moisissures qui augmentent la mortalité.
- *Un substrat de culture sec et rigide pour les insectes* : sciure ou copeaux de bois non traités, et/ou dispositifs en pulpe de cellulose, dérivés de papier/carton, terre cuite, etc. Ces substrats doivent présenter des cavités formant des abris (dispositifs à partir de tuiles en terre cuite, empilées, à partir de substrat gaufré en pulpe de cellulose, type « plaques préformées pour le conditionnement des œufs » ou à partir de carton ondulé).
- *Une source d'eau pour l'abreuvement* : sous forme d'eau libre, mise à disposition dans des soucoupes, ou plus facile et indispensable pour certaines espèces, sous forme de buvards humidifiés, ou d'éponges imprégnées d'eau.
- *Un apport de nourriture adapté aux préférences alimentaires et aux capacités de transformation de l'espèce* : une alimentation d'origine végétale, le plus souvent il s'agit de différents végétaux (légumes), produits végétaux (farines) ou déchets de végétaux destinés à l'alimentation humaine (épluchures) sous forme sèche, complétés par une fraction de fruits ou légumes frais coupés très finement. Les céréales floconnées comme les flocons d'avoine par exemple, sont particulièrement faciles à utiliser et constituent un aliment de base adapté. Du pain sec broyé peut également être utilisé facilement. *A priori*, de très nombreux aliments pourraient servir de nourriture aux insectes, encore qu'il existe chez les insectes et leurs larves, des problèmes d'inappétence et d'acceptabilité de l'alimentation encore mal expliqués (en dehors des laboratoires d'entomologie qui élèvent des insectes et connaissent bien ces problèmes).

Les taux de conversion sont apparemment très favorables mais mériteraient d'être étudiés en fonction des espèces afin de choisir les espèces les plus favorables. Ce taux de conversion apparaît pour les entreprises comme un indicateur crucial pour envisager une production à grande échelle, économiquement rentable, de protéines d'insectes.

Il est à noter qu'une production en masse d'animaux vivants s'accompagne généralement d'exigences zootechniques diverses, notamment sanitaires. De plus, l'existence de micro-organismes entomopathogènes est avérée. De fait, l'existence de traitements vétérinaires destinés à l'amélioration générale de l'état de santé des animaux doit être envisagée. Si de tels traitements sont appliqués, il conviendrait d'évaluer le risque présenté par les résidus de médicaments vétérinaires à l'instar de ce qui est réalisé pour d'autres espèces animales.

4.2.3. Abattage des insectes comestibles

Dans les élevages contrôlés, un jeûne des individus de quelques heures à quelques jours peut parfois précéder l'abattage afin d'assurer la vidange du contenu digestif des insectes. Cependant les effets sur la microflore intestinale, selon les espèces, leurs environnements et leurs alimentations n'ont pas été évalués.

Les insectes comestibles collectés au stade de la récolte (larves, juvéniles ou adultes suivant les espèces) sont généralement tués au moyen de deux techniques :

- *par congélation au moins 24h à -18°C* : cette technique dénature peu les protéines et est plus respectueuse de la composition nutritionnelle, mais aucune décontamination microbiologique n'est assurée, et la décontamination parasitaire (notamment la présence de nématodes) n'est pas toujours complète.
- *par ébouillantage* : immersion dans l'eau bouillante de 1 à 5 minutes, ce qui cuit les insectes et assure dans le même temps une décontamination avec une pasteurisation très efficace, suffisante pour détruire les flores végétatives et les parasites, mais pas les spores bactériennes. Une partie des nutriments d'intérêt peut être dégradée. Les insectes ébouillantés sont ensuite égouttés puis séchés. Les insectes cuits ne se conservent pas à ce stade et doivent être transformés immédiatement après ébouillantage, ou refroidis immédiatement jusqu'à 4°C pour un stockage intermédiaire de courte durée. Aucune donnée n'a été trouvée sur la conservation réfrigérée des insectes cuits. Les insectes cuits peuvent toutefois être congelés en attente de transformation.

Il convient de souligner que le développement de telles filières de production d'insectes, depuis l'élevage jusqu'à l'abattage, pose également la question du bien-être animal. Celui-ci a été très peu exploré chez la plupart des invertébrés jusqu'à présent.

4.2.4. Transformation et techniques de conservation pour l'utilisation en alimentation humaine et animale

Il convient de s'assurer que le processus de transformation que vont subir les insectes permet d'assurer leur décontamination. La plupart des insectes comestibles proposés pour l'alimentation animale ou humaine sont déshydratés suite à l'abattage, pour permettre leur conservation. Plusieurs traitements peuvent être mis en œuvre :

- *La déshydratation en four sec ventilé, à basse température* : les températures mentionnées (Rumpold et Schluter 2013a) s'échelonnent de 60°C à 110°C. Une déshydratation à 90°C en air sec est souvent pratiquée, avec des durées de plus de cinq heures. À cette température, un traitement thermique de pasteurisation est appliqué, avec des valeurs pasteurisatrices très élevées. Une pasteurisation satisfaisante est obtenue, même à partir d'insectes crus décongelés. Dans ce dernier cas, le traitement de déshydratation assure en parallèle une cuisson aux insectes qui n'ont pas été cuits préalablement. Les insectes crus congelés sont préférentiellement décongelés à 4°C avant séchage, avec élimination des exsudats, afin de ne pas introduire de produit à très basse température dans les fours de déshydratation.
- *La friture* (plus rarement employée) : cette technique de traitement thermique à haute température (> 160°) dans l'huile bouillante, s'accompagne d'une décontamination microbiologique plus poussée des produits. La température élevée dénature également les venins de nature protéique. Elle est pratiquée à l'échelle artisanale en Asie, notamment pour la préparation des arachnides (araignées, scorpions), qui sont directement plongées dans la friture. Certains autres insectes comme les criquets sont préparés de cette façon, notamment dans certaines zones d'Afrique. Pendant une opération de friture, la diversité des réactions (thermodégradations de vitamines, pigments, réactions de Maillard, etc.) et transformations génèrent de nouvelles molécules à caractères plus ou moins toxiques, notamment des composés néoformés dont il conviendra d'évaluer le risque sanitaire.
- *Le toasting* : des températures plus élevées de séchage sont parfois pratiquées en fin de cycle (> 120°C) afin de réaliser un « toasting » des insectes, développer des arômes spécifiques ou améliorer la texture (produits volontairement très croustillants pour le « snacking »). Les traitements au-dessus de 100°C, mais en l'absence d'humidité, ne détruisent que très partiellement les spores bactériennes : les produits ainsi traités ne sont que pasteurisés, et une contamination sporulée viable peut demeurer présente.

A noter qu'un séchage insuffisant peut conduire à une conservation médiocre à moyen terme avec le développement de moisissures. Dans la pratique, le séchage mis en œuvre doit amener les insectes à une $a_w < 0,7$ pour une conservation correcte, sans développement de moisissures au cours du stockage et avec inhibition des bactéries présentes.

D'autres méthodes peuvent être envisagées, comme la lyophilisation ou l'acidification (Klunder, Wolkers-Rooijackers *et al.* 2012; van Huis, van Itterbeeck *et al.* 2013).

- *La lyophilisation* : l'opération permet d'éliminer par sublimation la majeure partie de l'eau contenue dans un produit congelé. Il s'agit donc d'une opération de déshydratation à basse température qui autorise une conservation à long terme des aliments (en lieu frais et sec). La lyophilisation, n'étant pas considérée comme une pratique assainissante, n'est pas adaptée pour des insectes tués par simple congélation, mais pourrait être envisagée pour les insectes préalablement ébouillantés.
- *L'acidification* : Klunder, Wolkers-Rooijackers *et al.* (2012) ont démontré que la fermentation lactique permettrait d'inactiver les *Enterobacteriaceae* et de stabiliser la population de bactéries

sporulantes dans un mélange de farines composites et d'eau contenant entre 10 et 20% de vers de farine (*Tenebrio molitor*) grillés moulus (mélange pour l'enrichissement en protéines de denrées alimentaires fermentés). Le vinaigre aurait aussi été employé avec succès pour conserver des aliments à base d'insectes.

Après déshydratation, les insectes comestibles se conservent à température ambiante comme tout produit sec. Ils doivent être conditionnés après conservation dans un emballage hermétique. Le principal facteur limitant leur conservation est la présence importante d'acides gras insaturés qui engendrent une susceptibilité accrue à la peroxydation due à l'oxygène (rancissement) sous l'effet de la chaleur et de la lumière. La structure et la présentation (solide divisé, petites particules plus ou moins poreuses) favorisent cette oxydation accélérant leur rancissement (saveurs désagréables, perte de qualité nutritionnelle). Un conditionnement sous atmosphère protectrice neutre (azote) ou sous vide est pratiqué pour la maîtrise des durées de vie des produits à base d'insectes. Certains produits déshydratés commercialisés dans l'Union européenne sont conditionnés sous vide puis congelés pour ralentir les réactions d'oxydation.

Les insectes séchés sont commercialisés en UE :

- 1) entiers, en l'état pour le « snacking » ou incorporés dans des préparations de type biscuits,
- 2) comme ingrédients, c'est-à-dire sous forme de farines, après broyage. Cette présentation permet :
 - de faire en sorte que l'insecte n'est plus reconnaissable par le consommateur.
 - de broyer et d'incorporer les parties dures chitineuses. Les poudres obtenues peuvent faire l'objet ou non de tamisages / fractionnements, avec des broyages successifs.

Il est à noter que le broyage sans fractionnement n'est généralement pas considéré au sens de la réglementation comme une opération de « transformation » visant à extraire un composant spécifique. Des aliments dits « non transformés » peuvent en effet être simplement broyés. Dans le cas des insectes comestibles, qui ont subi déshydratation et cuisson, ils sont dans tous les cas classés dans la catégorie des aliments transformés, et le broyage final ne change en rien cette classification. Toutefois on peut considérer qu'un tamisage après broyage, pour éliminer certaines fractions et donc concentrer la partie consommée en d'autres fractions, constitue une opération d'extraction de « produits à base d'insectes ». Ce point peut sembler anecdotique mais peut devenir important en ce qui concerne le statut réglementaire des produits alimentaires constitués de tout ou partie d'insectes comestibles, au regard des définitions établies dans la réglementation de la Commission Européenne sur les nouveaux aliments.

La sensibilité à l'oxydation est augmentée par le broyage et les farines obtenues doivent être conditionnées avec soin.

D'une manière générale, il convient de rappeler que, comme pour les autres aliments d'origine animale ou végétale, les insectes comestibles peuvent devenir, suite à une conservation non adaptée, impropres à la consommation humaine.

4.2.5. Applications alimentaires

En général, les insectes utilisés en alimentation humaine sont grillés, frits ou bouillis. Certains modes de consommation traditionnels en usage en Asie, Amérique du Sud ou en Afrique ne sont pas repris ici, car il est peu probable qu'ils soient proposés aux consommateurs européens⁸.

L'incorporation d'insectes et produits d'insectes dans les aliments destinés à l'alimentation animale pourrait être envisagée sans traitement thermique préalable. Ils doivent alors être consommés rapidement après récolte. S'ils sont transportés pour être commercialisés loin des lieux de production, les conditions doivent préserver leur qualité nutritionnelle et sanitaire.

4.3. Analyse des dangers liés à la consommation des insectes

Les dangers sanitaires associés aux insectes ou produits d'insectes peuvent être de deux grands types :

- spécifiques à l'espèce : présence de dangers microbiens ou d'origine microbienne, de corps étrangers, de substances toxiques (intrinsèques ou bioaccumulés), de substances anti-nutritionnelles ou d'allergènes ;
- liés aux pratiques d'élevage (alimentation, médicaments vétérinaires), de transformation ou encore aux conditions de conservation et de transport.

Les dangers présentés ici peuvent concerner à la fois l'alimentation humaine et animale, et décrivent surtout le manque de connaissance permettant une analyse des dangers exhaustive.

L'analyse des dangers a été faite à date, en fonction de la bibliographie existante et de ce que l'on imagine des modalités raisonnablement prévisibles, aujourd'hui, de la distribution/consommation d'insectes en France.

4.3.1. Les dangers chimiques

a. *Les substances toxiques*

Les dangers chimiques résultent essentiellement de substances fabriquées par l'insecte lui-même ou de substances accumulées par l'insecte *via* l'environnement ou l'alimentation. Toutes les espèces d'insectes ne sont donc pas comestibles en l'état, ou seulement à l'état de larves et pas à l'état adulte ou inversement, et peuvent demeurer non-comestibles même en conditions d'élevage et après transformation par cuisson et séchage.

Certaines catégories d'insectes synthétisent des substances toxiques de défense ou répulsives, d'origine endocrine (par exemple de l'acide formique sécrété par les fourmis ou des quinones émises sous forme de jet à 100 °C par les coléoptères bombardiers) ou non glandulaire (par exemple certains papillons appartenant à la superfamille des *Papilionoidea* sont capables de synthétiser *de novo* des composés cyanogéniques toxiques comme la linamarine ou la lotaustaline à partir, respectivement, de valine et d'isoleucine) (Eisner 1970; Zagrobelny, Bak *et al.* 2004). Certaines larves ont par ailleurs développé un système de défense autonome avec un processus de mélanisation, par lequel elles noircissent et deviennent impropres à la

⁸ Certaines espèces sont préparées dans ces zones géographiques avec des interventions manuelles complexes, comme notamment enlever l'intestin et/ou les rostrs, les élytres dures, ou d'autres parties : antennes, pattes, ailes et autres parties dures ou peu digestibles, de chaque animal, ce qui nécessite évidemment une main d'œuvre qualifiée. Ce type de produits et de préparations ne sont pas proposés en Europe pour le moment.

consommation du fait de l'apparition de produits toxiques (exemple de larves de *Galleria mellonella* infectées par une moisissure (Slepneva, Komarov *et al.* 2003)).

On distingue :

- les insectes dits phanérottoxiques, présentant des dispositifs venimeux externes comme les dards des hyménoptères (incluant les abeilles, les guêpes et les fourmis), les pièces buccales perceuses des hémiptères (comprenant les punaises, les cochenilles, etc.) ou les soies urticantes de certains lépidoptères. L'envenimation par les phanérottoxiques se produit par l'inoculation de venins (hyménoptères) ou par contact avec les produits urticants (la chenille processionnaire du pin) qui provoquent des réactions inflammatoires (Pouvreau 1999). Cependant, l'envenimation peut aussi concerner la voie alimentaire : c'est le cas des larves de *Trogoderma* spp, de l'ordre des coléoptères, capables de provoquer des traumatismes intestinaux par une envenimation attribuée aux soies présentes sur l'insecte. Un cas de colite ulcéreuse a été signalé chez un enfant de 4 mois nourri de céréales infestées de *Trogoderma* (Okumura 1967). Toutefois, pour limiter les risques toxiques d'ingestion de venin, la consommation de larves, dépourvues de dard, sera généralement préférable à celle d'insectes adultes.
- les insectes dits cryptotoxiques, ayant la particularité de stocker et/ou de synthétiser des éléments chimiques toxiques, et dont la toxicité n'apparaît que si l'insecte est consommé. Ils contiennent des substances toxiques qu'ils ont, soit eux-mêmes synthétisées, soit accumulées à partir des végétaux qu'ils consomment. Les insectes phytophages peuvent accumuler des toxines végétales et acquérir ainsi les mêmes propriétés toxiques que les plantes hôtes (Berenbaum 1993). Ils peuvent éventuellement développer en retour des stratégies adaptatives comme la détoxification, l'excrétion ou la bioaccumulation afin d'éviter toute intoxication. Ces phytotoxines sont des métabolites secondaires synthétisées par les plantes vasculaires comme mécanismes de défense active; elles appartiennent à des classes de composés très variées: alcaloïdes, cardénolides, glucosinolates, cucurbitacines ou encore composés phénoliques, ou cyanogéniques (Bennett et Wallsgrave 1994; Nishida 2002). Les insectes oligophages (se nourrissant d'un nombre limité d'espèces de végétaux) accumulent davantage de phytotoxines que les polyphages. Des variations de l'accumulation sont aussi observées avec le stade de développement de l'insecte et son état physiologique (Bennett et Wallsgrave 1994; Berenbaum 1993). Il convient donc d'alimenter les insectes d'élevage uniquement avec des plantes adaptées à leur métabolisme et en évitant toute production ou bioaccumulation de métabolites secondaires toxiques pour les vertébrés. Un criblage des composants des plantes et des insectes est nécessaire pour détecter la présence de molécules toxiques et leur concentration afin d'évaluer si la plante peut servir de nourriture à l'insecte et si l'insecte peut être considéré comme comestible ou non, que ce soit par l'homme ou par les animaux. Parmi les insectes qui peuvent être élevés, les lépidoptères sont connus pour bioaccumuler très facilement des substances toxiques (Zagrobelny, Bak *et al.* 2004).

Par ailleurs les insectes peuvent accumuler des substances indésirables présentes dans l'environnement ou l'alimentation, telles que des pesticides, des polluants organiques persistants ou des métaux lourds. Il existe peu de données quantitatives et qualitatives concernant l'accumulation de pesticides. Seule une étude de Saeed, Abu Dagga *et al.* (1993) démontre que les criquets sont des bio-accumulateurs "efficaces" d'insecticides. Dans les élevages il faut donc

contrôler strictement la teneur en pesticides de la nourriture proposée aux insectes car leur accumulation est susceptible de présenter des risques pour l'alimentation humaine et animale dans la mesure où ces molécules ne sont généralement pas éliminées par les traitements thermiques. Il en est de même pour les polluants organiques persistants. Par exemple, Gaylor, Harvey *et al.* (2012) ont démontré la capacité des grillons domestiques à bioaccumuler des polybromodiphényléthers présents dans des mousses de polyuréthane. Enfin plusieurs études ont mis en évidence la présence d'éléments-traces métalliques dans des insectes : cadmium dans les larves de *Tenebrio molitor* (Vijver, Jager *et al.* 2003), plomb dans des grillons grillés au Mexique (Handley, Hall *et al.* 2007), arsenic chez un lépidoptère consommé par les aborigènes en Australie (Green, Broome *et al.* 2001). Plus récemment, Zhuang, Zou *et al.* (2009) ont montré une légère bioaccumulation d'éléments traces métalliques (plomb, zinc, cuivre et cadmium) entre les différents niveaux trophiques de la chaîne alimentaire sol-plante-insecte-poulet, bien que ces éléments aient été relativement efficacement éliminés dans les excréments des insectes.

A l'instar des élevages conventionnels existants, l'usage de médicaments vétérinaires est à prévoir dans les élevages d'insectes pour réduire la mortalité associée notamment à des infections bactériennes ou parasitaires. La bibliographie fait très peu état de la présence de résidus de médicaments vétérinaires dans les tissus d'insectes. Une étude portant sur une maladie du ver à soie (*Bombyx mori*), fait référence à l'usage du chloramphénicol, antibiotique à large spectre, dont l'usage est interdit en production animale (Règlement (UE) n° 37/2010 2010). Cappelozza, Saviane *et al.* (2011) ont montré que cet antibiotique, administré par voie alimentaire, n'était pas inactivé dans l'appareil digestif du ver à soie.

Les méthodes, procédés et matériels utilisés dans la chaîne de production des aliments peuvent être à l'origine d'un transfert de contaminants à partir des matériaux au contact des denrées alimentaires (MCDA), de la production de substances néoformées à partir de molécules contenues dans la matière première incluant les additifs ou les auxiliaires technologiques suite à divers traitements. Le grignotage de supports plastiques doit être évité, en particulier chez les larves, et les pratiques d'élevage doivent être contrôlées par des bonnes pratiques d'hygiène et une analyse des dangers lors de la production primaire pour éviter les teneurs en actifs chimiques ou les contaminations exogènes au-delà des seuils réglementaires. Les conditions de conservation et de transport ainsi que les pratiques de consommation (crus, cuits, grillés etc.) peuvent aussi être à l'origine de risques sanitaires liés aux substances toxiques (produits de la réaction de Maillard, produits néoformés).

b. Les facteurs antinutritionnels

La présence de substances anti-nutritionnelles a également déjà été démontrée chez certaines espèces d'insectes. Ce problème revêt une importance toute particulière chez les personnes dont l'alimentation est carencée en vitamines ou tout autre nutriment important (Belluco, Losasso *et al.* 2013). Les principaux facteurs antinutritionnels identifiés chez les insectes sont :

- l'acide phytique qui diminue la biodisponibilité du phosphore en le complexant en phytate,
- les oxalates qui, absorbés en grande quantité, provoquent des irritations du tractus digestif, des troubles de la circulation sanguine et des dommages rénaux,
- l'acide cyanhydrique, hautement toxique car provoquant l'anoxie,
- les tannins, toxiques à forte dose en faisant précipiter les protéines,

- la thiaminase qui provoque une déficience en vitamine B1, et fut la cause, pendant plus de 40 ans, d'un important syndrome ataxique saisonnier au Nigéria (Nishimune, Watanabe et al. 2000).

La composition en mg/100g de poids sec des quatre premières substances pour quelques espèces d'insectes (ou ordres pour les espèces non déterminées) sont communiquée dans l'annexe 2.

Les animaux sont sensibles à ces facteurs antinutritionnels. Avant toute utilisation alimentaire d'insectes, il conviendra donc d'identifier si ces substances sont présentes ainsi que leur concentration. Il faudra éventuellement trouver des solutions pour éliminer ces substances, par chauffage ou extrusion par exemple, lorsqu'elles y sont sensibles.

De plus la chitine qui est un constituant de l'exosquelette des insectes et l'un de ses dérivés, le chitosan, peuvent être considérés comme des facteurs antinutritionnels. En effet outre le fait que la chitine est peu ou pas digérée par les animaux dont l'appareil digestif est souvent dépourvu de chitinase (ce qui provoque des phénomènes de constipation pouvant aller jusqu'à l'occlusion intestinale), cette molécule ainsi que le chitosan peuvent se lier à des lipides et former des gels qui emprisonnent certaines vitamines et minéraux, diminuant ainsi leur biodisponibilité. Ce fort pouvoir de liaison aux lipides (environ 15 fois le poids du chitosan), est aujourd'hui étudié dans les recherches portant sur l'obésité.

4.3.2. Les dangers physiques

Les insectes comestibles sont généralement consommés entiers, ou après préparation pour enlever certaines parties dures dont la consommation n'est pas souhaitée (élytres, rostrés, ailes, etc.). Les insectes comestibles ne sont pas particulièrement vecteurs de dangers physiques au sens classique (contaminants denses ou corps étrangers). Lors de leur transformation, ils sont sujets à des recontaminations par des corps étrangers venant des procédés, comme tous autres aliments transformés.

Les insectes déshydratés consommés entiers comportent des parties dures susceptibles de présenter un danger particulier. De même, les insectes présentant un dard ou un rostre pointu peuvent présenter un danger spécifique. Ces dangers liés à la présence de corps étrangers doivent être pris en compte. Les consommateurs devraient être informés de la présence de ces parties dures comme étant naturellement présentes dans le produit. Ainsi l'AFSCA indique dans son avis⁹ qu' « *il est donc fortement conseillé d'indiquer le cas échéant sur l'étiquette du produit que les pattes et les ailes de l'insecte doivent être retirées avant consommation* ». Les produits d'insectes présentés broyés et sous forme de farines ne sont pas vecteurs de corps étrangers spécifiques, autres que ceux apportés par les procédés.

4.3.3. Le danger allergène

Le risque d'allergies alimentaires est un des plus prévisibles en raison de l'existence d'allergènes communs (pan-allergènes) aux arthropodes, arachnides (acariens, araignées, scorpions), crustacés (homards, crevettes, crabes) et insectes. De même, les allergènes des mollusques et

9 Avis du Conseil supérieur de la santé et du Comité scientifique de l'Agence fédérale de sécurité de la chaîne alimentaire (AFSCA) pour répondre à la question « la consommation d'insectes présente-elle ou non des risques pour la santé ? » http://www.health.belgium.be/eportal/Aboutus/relatedinstitutions/SuperiorHealthCouncil/19099435_FR

des helminthes sont souvent très proches de ceux des insectes et peuvent donner lieu à des réactions et/ou des allergies croisées (Barre, Caze-Subra *et al.* 2014).

Les phénomènes d'allergies alimentaires sont peu documentés chez les animaux de rente mais la possibilité d'allergies croisées ne peut pas être exclue car les farines d'arthropodes sont des ingrédients potentiels des régimes alimentaires; elles servent par exemple de compléments protéiques et d'appétants dans les aliments pour les poissons d'élevage.

a. Réactions allergiques chez l'homme rapportées dans la littérature

Plusieurs cas d'allergie ont été rapportés chez les personnels de laboratoire affectés à l'entretien des élevages d'insectes. Il s'agit essentiellement de troubles respiratoires (toux, rhinites, dyspnée, bronchite, asthme) mais également de manifestations cutanées (démangeaisons, prurit). Ces réactions allergiques sont attribuées à des aéro-allergènes et à des allergènes de contact. D'autres allergies professionnelles ont été identifiées chez des fermiers, des agriculteurs et des boulangers dues, dans ce dernier cas, à des insectes contaminant la farine.

Plusieurs cas d'allergie alimentaire dus à l'ingestion d'insectes ont été rapportés dans la littérature. Les insectes incriminés étaient le ver de farine (*Tenebrio molitor*), le ver de farine géant (*Zophobas morio*), le ver à soie (*Bombyx mori*), le ver de palmier (*Rhynchophorus ferrugineus*), le ver mopane (*Gonimbrasia belina*). Le « pancake syndrome » correspond à une anaphylaxie alimentaire résultant de l'ingestion accidentelle d'acariens contaminant les farines de céréales (Sanchez-Borges, Suarez-Chacon *et al.* 2005).

Un cas de choc anaphylactique chez un touriste français dû à la consommation de pupes de ver à soie (*Bombyx mori*) a été rapporté par Ji, Zhan *et al.* (2008). Ces auteurs mentionnent différentes publications (en chinois), qui font référence à 13 réactions anaphylactiques suite à l'ingestion de pupes de ver à soie frites dans l'huile. Ils estiment qu'en Chine, chaque année, plus d'un millier de réactions anaphylactiques sont enregistrées après consommation de ces pupes rôties. Ces chiffres laissent présager que les réactions anaphylactiques aux insectes comestibles sont plus fréquentes que ne l'indiquent les très rares publications consacrées à ce sujet. Plusieurs cas de réaction croisée entre le champignon chenille utilisé en médecine traditionnelle chinoise (*Ophiocordyceps sinensis*), et les pupes de ver à soie (*Bombyx mori*), ont même été rapportés par Choi, Shin *et al.* (2010). L'allergène responsable n'a pas été identifié.

En 2012, un cas d'allergie alimentaire sévère (avec hospitalisation) au ver de palmier (larves de *Rhynchophorus ferrugineus*) a été signalé en Malaisie chez un touriste chinois ayant consommé une vingtaine de larves rôties (Yew et Kok 2012).

b. Les allergènes des insectes comestibles

Globalement, les allergènes des insectes restent mal connus, même si certains des quelques insectes responsables de réactions allergiques sévères ont été bien étudiés et caractérisés. C'est le cas des allergènes des cafards ou blattes et des allergènes des venins d'hyménoptères (abeilles, guêpes, frelons). Les allergènes des insectes comestibles n'ont fait l'objet que d'un nombre très limité de travaux (ver à soie, (Barre, Caze-Subra *et al.* 2014)). Quant aux antigènes contenus dans les venins d'insectes phanérotoxiques, le risque associé pour les animaux ou les

hommes pourrait être écarté en choisissant des espèces ou des stades de développement (larves dans le cas des hyménoptères) dépourvues de dards (Belluco, Losasso *et al.* 2013).

La plupart des allergènes d'insectes correspondent à des protéines ubiquitaires ou pan-allergènes, susceptibles de donner lieu à des réactions croisées. C'est le cas des protéines musculaires (actine, myosine, tropomyosine, troponine C), des protéines cellulaires (tubulines), de protéines circulantes (hémocyanines, défensines) et de nombreuses protéines à propriétés enzymatiques (α -amylase, arginine-kinase, glutathion S-transférase, triosephosphate isomérase, trypsine).

La chitine, constituant fondamental de l'exosquelette des arthropodes (cuticule des acariens et des insectes, carapace des crustacés), de différents organes des mollusques (radula des gastéropodes, bec des pieuvres), des parois cellulaires des moisissures et du tégument des helminthes, est également considérée comme un allergène mais ses effets sur le système immunitaire sont complexes. Chez les insectes, elle agit sur l'immunité innée mais ses effets sont différents en fonction de la taille des chaînes de *N*-acétylglucosamine (chitosanes) qui la constituent. Elle peut avoir des effets immuno-stimulants ou au contraire, diminuer la réponse allergique (Lee, Simpson *et al.* 2008; Muzzarelli 2010). Un avis de l'EFSA indique l'absence de risque pour l'homme, dans les conditions d'utilisation préconisées (entre 2 et 5g/jour), d'un complément alimentaire constitué de 90% de chitine-glucane (EFSA 2010). La richesse en chitine des insectes comestibles peut toutefois poser un problème de digestibilité car les chitinases identifiées dans les sécrétions gastriques ne paraissent pas suffisamment actives pour hydrolyser ce polymère.

Les particularités de la fucosylation des *N*-glycanes chez les insectes, créent de nouvelles spécificités immuno-chimiques ou glycotopes, pouvant être reconnues au même titre que les épitopes protéiques, par les sujets allergiques. C'est la raison pour laquelle, l'utilisation des protéines recombinantes thérapeutiques exprimées par des baculovirus, peut être déconseillée. Ce sont ces groupes Fuc α 1-3GlcNAc, qui créent de nouveaux glycotopes que les sujets allergiques peuvent reconnaître.

c. Les réactions et/ou allergies croisées

Les relations phylogénétiques plus ou moins étroites existant entre les différents phylums d'arthropodes, expliquent parfaitement ces homologies de séquences et de structure, elles-mêmes responsables de l'existence d'épitopes B communs dans certains allergènes (pan-allergènes), à l'origine d'une réactivité/allergie croisée éventuelle entre les insectes comestibles et d'autres arthropodes, acariens (arachnides), crustacés et insectes non comestibles (blattes).

Des exemples de pan-allergènes impliqués dans des réactions croisées entre les insectes et les crustacés ont été rapportés. Ces quelques exemples donnent corps à une possibilité de réactivité et/ou allergie croisée entre les insectes comestibles et d'autres arthropodes comme les acariens, les blattes, les crevettes, les mollusques et même les nématodes. La consommation d'insectes par des individus allergiques aux acariens ou aux crevettes, pourrait très bien déclencher des réactions allergiques imputables à cette réactivité croisée.

Dans une étude récente (Verhoeckx, van Broekhoven *et al.* 2013), l'existence d'une réactivité croisée entre les acariens (la tropomyosine « Der p 10 » de *Dermatophagoides pteronyssinus*) et

le ver de farine (*Tenebrio molitor*) a été démontrée. Elle repose sur des pan-allergènes, la tropomyosine mais aussi sur d'autres allergènes comme l'arginine kinase, la triose-phosphate isomérase et les tubulines. Les deux premières ont été identifiées comme les principales protéines responsables de la réaction croisée. La tropomyosine appartient à une famille de protéines fortement conservées, possédant de multiples isoformes (dues à des variations de quelques acides aminés) et retrouvées aussi bien dans des cellules musculaires que non-musculaires de toutes les espèces du règne animal (Leung, Wing Kuen *et al.* (1996); Reese, Ayuso *et al.* (1999) citées dans Belluco, Losasso *et al.* (2013)). La tropomyosine est un allergène thermostable, de 32 à 39 kDa, constitué de deux hélices alpha enroulées l'une autour de l'autre, donnant à la protéine une structure hélicoïdale (Metz-Favre, Rame *et al.* 2009). L'arginine kinase, quant à elle, est une enzyme souvent présente chez les invertébrés et une réaction allergique croisée est déjà connue entre différents crustacés, acariens, *Plodia interpunctella* (lépidoptères – Pyralidae), *Bombyx mori*, *Blatella germanica* (blattoptères – Blattidae) et *Periplaneta americana* (blattoptères – Blattidae) (Liu, Xia *et al.* 2009; Verhoeckx, van Broekhoven *et al.* 2013).

La possibilité de réactions croisées entre les insectes comestibles et les autres groupes d'arthropodes (acariens, crustacés), les mollusques et les nématodes, mériterait d'être étudiée à plus grande échelle.

L'existence d'une réactivité croisée n'implique pas automatiquement l'existence d'allergies croisées entre les insectes comestibles et les autres arthropodes, les mollusques et les helminthes. Beaucoup de réactions croisées n'ont aucune signification clinique mais elles doivent inciter à la prudence en matière d'entomophagie. Il est à prévoir que la consommation d'insectes par des sujets allergiques à d'autres arthropodes, des crustacés en particulier, puisse déclencher des réactions croisées (allergies croisées?) liées à des pan-allergènes. Dans cette éventualité, il est prudent de recommander à ces sujets de ne pas consommer d'insectes comestibles ou des produits en renfermant.

En France, sous réserve qu'il existe un risque allergique réel lié à des réactions et/ou allergies croisées, ce risque ne serait pas *a priori* négligeable, comme le suggère une simple estimation:

- on estime que l'allergie alimentaire touche 3,5% de la population française, soit un Français sur 30 (2.300.000/65.500.000), tous âges confondus.
- on estime que l'allergie aux crustacés et aux mollusques touche 2% des enfants et 3% des adultes souffrant d'allergies alimentaires, soit 5% de ces Français (115.000), tous âges confondus, soit un Français sur 20 souffrant d'allergies alimentaires (115.000/2.300.000) ou un Français sur 550 (0,1%) si on se réfère à la population totale (115.000/65.500.000).
- environ 100.000 personnes, soit la population d'une ville française moyenne, pourraient donc être potentiellement concernées par ces réactions et/ou allergies croisées.

En fait, ce chiffre est très approximatif et doit être nettement inférieur, car la plupart des réactions croisées observées dans l'allergie alimentaire ne se traduisent par aucun symptôme clinique. Mais le danger, à ce jour, ne peut être exclu, bien qu'il ne puisse être estimé en l'absence d'étude à grande échelle.

4.3.4. Les dangers microbiologiques

D'une manière générale, comparativement à d'autres denrées alimentaires d'origine animale, il existe un fort déficit d'informations sur les dangers microbiologiques.

a. *Les dangers parasitaires*

Les risques parasitaires liés aux insectes sont assez peu documentés et les quelques études publiées concernent principalement les risques chez l'homme.

Les insectes, notamment ceux envisagés pour la production de masse, peuvent être porteurs de parasites et ce danger doit être considéré sérieusement. Ainsi des parasites ont été mis en évidence dans des échantillons d'insectes dans le cadre d'une étude sur les parasitoses intestinales en Asie du Sud-Est (Chai, Shin *et al.* 2009). Les mammifères, oiseaux et poissons peuvent constituer des hôtes réservoirs. Plusieurs types de parasitoses en relation avec la consommation d'insectes ont été décrits:

- Les parasitoses à cercaires et métacercaires, via des insectes aquatiques ou vivants aux abords de l'eau, dont certaines espèces d'oiseaux et de poissons peuvent être des réservoirs hôtes (Chai, Shin *et al.* 2009).
- Des parasitoses dues à des nématodes, notamment *Gongylomena pulchrum*, un genre de nématode de la superfamille des *Spiruroidea*, dont des coléoptères et des blattoptères sont les hôtes intermédiaires. Des cas de zoonoses consécutifs à la consommation de tels insectes crus ont été rapportés (Wilson, Lorente *et al.* 2001) et ne peuvent pas être exclus chez les animaux de rente.
- La maladie de Chagas, une maladie parasitaire qui sévit dans les régions rurales d'Amérique du Sud et centrale, provoquée par *Trypanosoma cruzi* qui est transmis par des réduves (punaises hématophages de la sous-famille des *Triatominae*) par piqûres mais aussi via les déjections. Les oiseaux semblent être immunisés contre ce parasite mais de nombreux mammifères peuvent constituer des réservoirs hôtes (Pereira, Schmidt *et al.* 2010).
- Des myiases intestinales causées par des larves de Diptères dont notamment *Hermetia illucens*, la mouche soldat, qui fait l'objet d'élevage à destination de l'alimentation animale (Sehgal, Bhatti *et al.* 2002).
- Des toxoplasmoses dues à des blattes et certains diptères (Graczyk, Knight *et al.* 2005).

La consommation d'insectes crus semble avoir pu être mise en relation avec certaines maladies parasitaires chez les consommateurs. Une meilleure connaissance des relations parasites/insectes conduirait à l'identification de bonnes pratiques d'élevage, voire des traitements ciblés en cours de production. L'adoption de stratégies de vermifugation, ainsi que de bonnes pratiques de gestion des animaux et des bacs d'élevage sont nécessaires pour réduire le risque de contamination et de réinfection par les parasites. Certains modes de production comprennent une lyophilisation (sans traitement thermique). Il conviendrait d'évaluer l'efficacité de ce type de traitement sur les parasites, de même que l'efficacité de la congélation d'insectes. Ce risque est très probablement moins aigu pour les insectes traités thermiquement, même si, d'une manière générale, la réévaluation de certains barèmes, au regard de cette matrice, s'avérerait judicieuse.

b. *Les dangers viraux*

Il n'existe pas de documentation sur les risques viraux associés à la manipulation ou l'ingestion d'insectes.

c. *Les dangers bactériens et leurs toxines*

Les bactéries pathogènes d'insectes (entomopathogènes) sont considérées comme inoffensives pour les animaux et l'homme du fait de l'éloignement phylogénétique des hôtes (van Huis 2013). Les risques bactériens liés aux insectes seront de ce fait principalement dus au portage (naturel ou accidentel) de dangers bactériens (et leurs toxines) avérés pour l'homme et l'animal, aux conditions d'élevage (substrats et alimentation), de manipulation, de transformation et de conservation. Des exemples d'altérations microbiennes (défaut de conservation) d'insectes préparés montrent qu'ils peuvent constituer un milieu compatible avec la survie/croissance des bactéries. Peu d'informations sont disponibles sur la compatibilité de ce milieu avec la toxinogénèse. Seuls quelques cas de botulisme en Afrique ont été rapportés après la consommation d'insectes (Schabel 2010).

Les agents bactériens susceptibles d'être transmis par la consommation d'insectes semblent :

- soit être liés à la flore intrinsèque des insectes (tube digestif et autres compartiments anatomiques),
- soit avoir une origine extrinsèque liée à l'environnement et aux conditions d'élevage.

Des bacilles tels que ceux provoquant l'anthrax (*B. anthracis*) ou des intoxications alimentaires (*B. cereus*) peuvent être transmis par des insectes eux-mêmes contaminés à partir de sol servant de substrat d'élevage. Des spores de microorganismes peuvent se trouver sur la cuticule des insectes et être ainsi consommés par les animaux ou l'homme (van Huis 2013).

Quelques rares publications font mention de l'absence de résultats positifs suite à la recherche de quelques pathogènes « majeurs » (*Salmonella*, *L. monocytogenes*, *E. coli* et *C. perfringens*) pour différentes catégories d'insectes transformés (cuits le plus souvent) (Alabi, Fievez *et al.* *A soumettre*; Giaccone 2005). D'autres travaux ont permis l'isolement de bactéries pathogènes (*Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* et *B. cereus*) de *Oryctes monocerus*, qui est un coléoptère couramment consommé en Afrique de l'Ouest (Banjo, Lawal *et al.* 2006). Cependant, des analyses entreprises sur plusieurs insectes qui pourraient être élevés (le ver de farine géant *Zophobas morio*, le ver de farine *Tenebrio molitor*, la fausse teigne *Galleria melonella*, et le criquet domestique *Acheta domesticus*) n'ont pas révélé la présence de *Salmonella* ou de *L. monocytogenes* (Giaccone 2005; van Huis, van Itterbeeck *et al.* 2013).

Les flores bactériennes retrouvées dans les différents insectes comestibles analysés sont des contaminants alimentaires classiques et connus avec des risques différents sur la santé animale et humaine en fonction des espèces et sans doute du mode de production des insectes.

d. *Les dangers fongiques*

Des flores fongiques notamment des espèces produisant des mycotoxines ont été isolées d'échantillons d'insectes dans plusieurs études. Les isolats les plus fréquents sont *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Cladosporium*, et *Phycomycetes* (Simpanya, Allotey *et al.* 2000) et proviendraient d'une part d'une contamination initiale par les feuilles et le sol et d'autre part, d'une recontamination liée aux mauvaises conditions de séchage et de stockage. Des mycotoxines peuvent être produites par des souches d'*Aspergillus*, de *Penicillium*, et de *Fusarium*, même si peu de travaux en font état. En 1996, des chercheurs ont trouvé dans des échantillons de chenilles d'*Imbrasia belina* (largement consommées dans le sud de l'Afrique) des niveaux d'aflatoxines

variant de 0 à 50 µg par kg de produit (Mpuchane, Taligoola *et al.* 1996). Ceci peut poser problème lorsque la consommation de ces chenilles est régulière.

e. Les dangers liés aux agents transmissibles non conventionnels (ATNC)

La possibilité que des ectoparasites puissent servir de réservoir ou de vecteur aux prions a été suggérée dans plusieurs publications (Lupi 2006; Wisniewski, Sigurdarson *et al.* 1996). La transmission horizontale de la tremblante des petits ruminants au sein de troupeaux infectés est reconnue et les insectes pourraient jouer un rôle actif dans la contamination. Des bio-essais ont été réalisés en laboratoire à partir de pupes d'insectes (*Sarcophaga carnaria*), ayant ingéré des éléments de système nerveux central infectieux. Des hamsters nourris expérimentalement avec ces insectes ont par la suite développé la tremblante. Des mouches adultes auraient aussi la capacité d'exprimer des protéines prions (Lupi 2003; Post, Riesner *et al.* 1999). Le risque lié aux ATNC ne peut donc être exclu.

f. Efficacité des traitements physiques de transformation/préservation des insectes sur les agents microbiologiques

Plusieurs traitements physiques sont envisagés ou appliqués pour rendre comestible, transformer et/ou préserver les insectes en vue de leur consommation. Il s'agit souvent de traitements thermiques « classiques ». Il n'y a pas, pour l'instant, d'informations publiées sur l'effet assainissant de traitements physiques alternatifs (hautes pressions, lumière pulsée, etc.). Pour mémoire, l'utilisation des rayonnements ionisants à faible dose est autorisée pour la désinsectisation des fruits et graines dans le cadre de la lutte contre les insectes ravageurs¹⁰. L'influence de la matrice alimentaire sur la thermorésistance est bien connue et décrite pour un grand nombre de matrices alimentaires usuelles en Europe (effet protecteur de l'aliment, synergie pH acide-température, etc.). Cela a conduit souvent à développer des traitements thermiques de référence adaptés à la matrice. Il semble important que nos références soient réinterrogées au regard de la matrice inusuelle que constituent les insectes. La très grande diversité d'espèces d'insectes qui peuvent être consommés, ajoutée à la diversité des stades auxquels ils peuvent être consommés ainsi que les différents modes de préparation/consommation renforcent la nécessité de telles vérifications. Les rares études disponibles qui se sont attachées à évaluer l'effet de traitements thermiques chez les insectes sur la flore bactérienne totale, les levures et moisissures ou les flores spécifiques, vont également dans ce sens. Pour van Huis *et al.* (2013), un moyen d'éliminer les contaminants éventuels des insectes est de les cuire (les bouillir ou les rôtir) ou de les pasteuriser. Néanmoins, les comptages réalisés font encore apparaître des nombres relativement élevés d'ufc/g (10^6 - 10^7 /g en flore totale) pour des produits cuits (ébullantés). On imagine facilement que la flore totale initiale de ces insectes entiers devait être encore plus élevée. Ces résultats, qui méritent d'être consolidés, peuvent être néanmoins très utiles pour qualifier ou piloter un processus de transformation ou pour fixer une valeur pasteurisatrice (VP) de référence. Des études sur l'impact de plusieurs méthodes de production, de conservation et de transformation sur la diversité et l'abondance de micro-organismes présents en fonction des insectes candidats pour le marché européen seront également nécessaires.

¹⁰ Les rayonnements ionisants sont appliqués à des doses non suffisantes pour éliminer les bactéries, et ne visent qu'à assurer la stérilisation des insectes ravageurs.

4.4. Conclusions du CES

Les insectes vivants et transformés peuvent être considérés comme des réservoirs et/ou des vecteurs potentiels d'agents biologiques (et de leurs toxines), chimiques et physiques susceptibles d'affecter la santé de l'homme et de l'animal lors d'une consommation directe ou indirecte *via* l'alimentation des animaux de rente.

Les dangers peuvent intervenir soit par nature (insecte = réservoir primaire du danger biologique (tube digestif et autres pièces anatomiques)), soit à l'occasion d'une contamination lors des processus de production, transformation, préparation (élevage sur un support contaminé, alimentation contaminée, traitement assainissant insuffisant, défaut de conservation, transfert de contamination, etc.).

Les qualités sanitaires de l'insecte considéré en tant qu'aliment doivent être du même niveau que les autres aliments. À ce jour, les différentes phases (élevage, préparation, conditionnement, conservation) de la production d'insectes comestibles ont été étudiées sur un nombre restreint d'espèces et des études complémentaires ciblées sont nécessaires.

L'ensemble des procédés mis en œuvre pour assurer la sécurité sanitaire des aliments devra garantir l'atteinte des objectifs fixés par la réglementation sur l'hygiène des aliments. Un contrôle de ces conditions de production devrait également être proposé, comme pour les produits d'origine animale, portant sur la nature et l'origine des aliments donnés aux insectes, la maîtrise des risques et la garantie de la biosécurité des installations. Ce contrôle de l'élevage, de la préparation et du conditionnement des insectes comestibles s'appliquerait aux insectes entiers et aux produits dérivés, farines d'insectes en particulier, susceptibles de participer à l'élaboration de différents produits alimentaires.

Compte tenu du métabolisme très particulier des insectes, l'élevage, la préparation et la commercialisation d'insectes pour l'alimentation devraient être entourés de précautions spécifiques, et en particulier faire l'objet de recherches analytiques des éventuelles substances toxiques dans les produits finis, au cas par cas, comme le requiert l'autorisation préalable de mise sur le marché des nouveaux aliments (Règlement (UE) n°258/97 1997).

Le présent travail a permis de mettre en évidence le fort déficit d'informations scientifiques de nature à faciliter une bonne évaluation des risques.

Le comité souhaite faire part des réflexions suivantes :

- L'utilisation d'insectes sauvages collectés dans le milieu naturel devrait être écartée, au profit des insectes d'élevage présentant une garantie de traçabilité, et pouvant bénéficier d'une démarche HACCP complète.
- Seules certaines espèces peuvent faire l'objet de consommation. Il conviendrait d'établir préférentiellement (i) une liste positive d'espèces déjà correctement évaluées, pour en faciliter la consommation, liste qui ne doit pas être définitive et (ii) une liste « négative » d'espèces déjà évaluées, présentant des dangers identifiés, et interdites pour la consommation humaine, liste qui peut ne pas être définitive si des traitements d'assainissement appropriés peuvent être mis en œuvre. Les espèces identifiées comme susceptibles de contenir des venins ou des substances toxiques, au stade de leur récolte, devraient faire l'objet d'analyses spécifiques permettant de s'assurer de leur innocuité après transformation.
- Le développement de l'élevage des insectes devrait s'accompagner de l'élaboration de recommandations sur les bonnes pratiques (élevage, transport et abattage).

- Le jeûne des insectes avant abattage et ses effets sur la microflore digestive et son impact en termes de risques sanitaires doivent être évalués.
- Pour éviter la bioaccumulation de produits toxiques chez les insectes, l'alimentation devrait être strictement contrôlée ainsi que la qualité des substrats d'élevage (substrats organiques notamment). Une réglementation spécifique devrait notamment être envisagée vis-à-vis des substances indésirables et des limites maximales de résidus (LMR) pour les produits phytopharmaceutiques, les médicaments vétérinaires et les intrants de cultures, du fait des phénomènes spécifiques de métabolismes et de bioaccumulation de substances toxiques.
- L'analyse complète des dangers, pour les insectes utilisés en alimentation, devrait être menée, telle que préconisée dans le règlement sur les nouveaux aliments (Règlement (UE) n°258/97 1997). Des analyses microbiologiques plus détaillées, ciblées sur des pathogènes majeurs (et leurs toxines) et quelques indicateurs bien choisis, complétées éventuellement par des analyses génomiques pour identifier l'ensemble des microorganismes dominants présents chez les insectes, et les dangers biologiques associés, devraient être entreprises sur un nombre limité d'insectes candidats à une éventuelle production en masse.
- Les pathogènes majeurs potentiellement présents dans les produits finis devraient faire l'objet d'analyses. Notamment, il serait nécessaire de mieux connaître la relation matrice-insecte/toxinogénèse pour *S. aureus*, *B. cereus* et *C. botulinum*. Une meilleure connaissance des parasitoses associées à la consommation d'insectes serait nécessaire. Il en est de même pour les prions pour lesquels le risque ne peut être exclu. En outre, il faudrait étudier le danger viral qui n'a pas fait l'objet d'études à ce jour.
- Les risques chimiques principaux de la production d'insectes à des fins alimentaires résulteraient de substances fabriquées en quantité suffisante par certaines espèces, au-delà des seuils de réactivité et/ou de protection sanitaire pour l'homme, ou de substances accumulées lors du métabolisme de l'insecte à partir de son environnement dans le cadre d'une grande variabilité d'interactions dynamiques faisant intervenir de nombreux facteurs d'espèces et écoenvironnementaux. Une sélection des espèces non toxiques devrait être suivie d'études toxicologiques comme celles menées par une équipe chinoise sur des protéines de pupes de ver à soie (Zhou et Han 2006). Les procédés de transformation peuvent aussi être à l'origine de l'apparition de substances néoformées dont le risque lié à leur présence doit être évalué.
- Les parties physiques (ailes, pattes, rostrés, etc.) naturellement présentes dans les produits d'insectes doivent être prises en compte dans l'analyse des dangers.
- L'existence de nombreuses protéines communes aux insectes comestibles, aux autres arthropodes (acariens, crustacés), aux mollusques, aux moisissures et aux helminthes, pourrait conduire à des réactions croisées avec les IgE de sujets allergiques aux crustacés et aux acariens en particulier. Cela démontre l'utilité d'analyser expérimentalement le risque allergique potentiel afin de caractériser les allergènes majeurs spécifiques de quelques espèces d'insectes, de préciser la résistance à la dénaturation thermique et digestive de ces allergènes majeurs, d'étudier l'évolution de ces allergènes majeurs au cours d'une conservation prolongée des insectes comestibles, de vérifier l'existence de réactions croisées. Par ailleurs, bien que la question sorte du champ d'application du présent avis, le comité tient à souligner que l'exposition aux allergènes des différents acteurs de la filière doit faire l'objet de mesures de prévention du risque allergique en milieu professionnel.
- D'une manière générale, l'insecte, en tant que matrice alimentaire non usuelle, devrait être étudié afin de mieux qualifier et au besoin adapter les pratiques assainissantes associées à

des procédés de cuisson, de séchage, de réfrigération, de congélation, de traitement thermique, etc. Une qualité microbiologique satisfaisante des insectes préparés, requiert un traitement thermique équivalent au moins à une pasteurisation, obtenue par cuisson et/ou séchage.

- Les techniques de conservation devraient être adaptées pour assurer la maîtrise des durées de vie des insectes et produits à base d'insectes. Les insectes déshydratés devraient être amenés à une humidité résiduelle compatible avec leur conservation et conditionnés dans un emballage étanche, voire sous atmosphère modifiée, adapté pour la date de durabilité annoncée, en tenant compte de la richesse en acides gras insaturés qui rend ces produits très sensibles à l'oxydation.
- Pour la consommation humaine, en l'absence de garantie sur la sécurité microbiologique des aliments à base d'insectes, il est préférable de ne pas les consommer crus. La qualité microbiologique de ces aliments à base d'insectes est également à prendre en compte pour l'alimentation animale.
- Un étiquetage adéquat devrait avertir le consommateur de la présence, sous toutes ses formes, d'insectes dans les aliments. Plus particulièrement, les consommateurs devraient être informés de la possible présence de parties dures d'insectes (ailes, pattes, rostrés, etc.), naturellement présentes dans le produit.
- Une communication claire serait indispensable sur les utilisations détournées/ fautives raisonnablement prévisibles des insectes et produits à base d'insectes ; par exemple, la vente d'insectes ou produits d'insectes destinés à l'alimentation animale et réorientés en alimentation humaine.

5. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS DE L'AGENCE

L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail adopte les conclusions du CES « Biorisk ».

L'entomophagie est une pratique très répandue dans certaines parties du monde (Afrique, Asie, Amérique latine) où elle peut faire partie de la culture alimentaire traditionnelle. La FAO estime que « Les insectes complètent les régimes alimentaires d'environ deux milliards de personnes » dans le monde et s'est prononcée en faveur du développement de l'élevage d'insectes à grand échelle pour répondre aux inquiétudes croissantes sur la sécurité alimentaire et l'approvisionnement en protéines. En Europe, cette pratique semble bénéficier d'un engouement croissant et plusieurs projets industriels et programmes de recherche accompagnent ce secteur naissant, et ce malgré une réglementation en vigueur (actuellement en pleine évolution) qui soulève de nombreuses interrogations.

Un tel contexte a conduit l'Anses à mener un état des lieux des connaissances scientifiques sur le sujet, en insistant particulièrement sur la documentation des risques sanitaires éventuels liés à la consommation des insectes et produits d'insectes, à la fois en alimentation animale et humaine.

Ce travail a mis en évidence le manque de données scientifiques disponibles sur des sujets périphériques à cette étude comme l'impact environnemental de la production d'insectes comparé à d'autres sources de protéines (notamment sur les sujets de l'empreinte écologique et du coût énergétique) et l'intérêt nutritionnel des différentes espèces d'insectes et produits d'insectes. Ce constat est également valable en ce qui concerne les thématiques au cœur de ce travail comme les dangers spécifiques liés aux insectes et à la sécurité sanitaire dans les pays consommateurs, qui à ce jour semble plus attestée par un historique de consommation que par des études scientifiques d'évaluation des risques

La présente étude a ainsi mis en exergue le besoin de recherches dans le but de permettre une évaluation complète des risques sanitaires liés à la consommation des insectes. En effet, comme tous les aliments, les insectes peuvent véhiculer certains dangers qui doivent être maîtrisés par la fixation de normes spécifiques afin de réduire les risques potentiels liés à la consommation de ces produits.

Ces dangers sont principalement liés à :

- des substances endogènes et spécifiques à certaines catégories d'insectes possédant des venins ou des facteurs antinutritionnels.
- aux conditions d'élevage et de production pour lesquelles il conviendrait de définir un encadrement spécifique permettant de garantir la maîtrise des risques sanitaires ;
- des sensibilités spécifiques à certains consommateurs, compte tenu de la présence dans les insectes de pan-allergènes communs à l'ensemble des arthropodes (acariens, crustacés, mollusques, etc.).

L'Anses recommande ainsi :

- d'accentuer l'effort de recherche sur ces thématiques ;
- d'établir au niveau communautaire des listes positives et négatives, des différentes espèces et stades de développement d'insectes pouvant ou non être consommés ;

- d'explorer au plan scientifique la question du bien-être animal pour ces catégories d'invertébrés;
- de définir un encadrement spécifique des conditions d'élevage et de production des insectes et de leurs produits permettant de garantir la maîtrise des risques sanitaires ;
- de fixer des mesures de prévention du risque allergique à la fois pour les consommateurs et en milieu professionnel.

En attendant, la mise en place de ces normes spécifiques et d'un encadrement adapté, l'Anses appelle les consommateurs à la prudence notamment s'ils présentent un terrain favorable aux allergies alimentaires.

Au-delà des enjeux d'expertise spécifiquement associés aux questions d'évaluation des risques sanitaires et des bénéfices nutritionnels relatifs à la consommation des insectes, l'Anses souligne les forts enjeux de connaissances portant sur l'acceptabilité sociétale de ces nouvelles consommations ou encore sur les enjeux de développement et d'impact environnementaux qui y sont associés.

Marc Mortureux

MOTS-CLES

Insectes, entomophagie, alimentation, risques sanitaires, allergie.

BIBLIOGRAPHIE

- Adeduntan (2005) Nutritional and antinutritional characteristics of some insects foraging in Akure forest reserve Ondo State, Nigeria. *Journal of Food Technology* **3(4)**, p. 563-567.
- Adesina AJ (2012) Proximate and anti-nutritional composition of two common edible insects: yam beetle (*Heteroligus meles*) and palm weevil (*Rhynchophorus phoenicis*). *Elixir Food Science* **48**.
- Alabi T, Fievez T, Jonas M, Blecker C, Danthine S, Caparros R, Haubruge E, Francis F (A *soumettre*) Effect of sanitation treatment on the microbiological quality and nutritional value of edible insects.
- Banjo AD, Lawal OA, Adeyemi AI (2006) The Microbial Fauna Associated with the Larvae of *Oryctes monocerus* *Journal of Applied Sciences Research* **2(11)**, 837-843.
- Barre A, Caze-Subra S, Gironde C, Bienvenu F, Bienvenu J, Rougé P (2014) Entomophagie et risque allergique. *Revue Française d'Allergologie* **In press**.
- Bednářová M, Borkovcová M, Komprda T (2014) Purine derivate content and amino acid profile in larval stages of three edible insects. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **94(1)**, 71-76.
- 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* **12(3)**, 296-313.
- Bennett RN, Wallsgrave RM (1994) Transley Review No.72. Secondary metabolites in plant defence mechanisms. *New Phytologist* **127(4)**, 617-633.
- Berenbaum MR (1993) Sequestered Plant Toxins and Insect Palatability. *The Food Insect Newsletter* **6(3)**, 1-12.
- Bukkens SGF (1997) The nutritional value of edible insects. *Ecology of Food Nutrition* **36(2-4)**, 287-319.
- Cappellozza S, Saviane A, Tettamanti G, Squadrin M, Vendramin E, Paolucci P, Franzetti E, Squartini A (2011) Identification of *Enterococcus mundtii* as a pathogenic agent involved in the "flacherie" disease in *Bombyx mori* L. larvae reared on artificial diet. *J Invertebr Pathol* **106(3)**, 386-93. [In eng]
- Cardon D (2003) 'Le Monde des teintures naturelles.' (Belin: Paris) 586
- Chai JY, Shin EH, Lee SH, Rim HJ (2009) Foodborne intestinal flukes in Southeast Asia. *Korean Journal of Parasitology* **47(SUPPL.)**, S69-S102.
- Chen X, Feng Y, Chen Z (2009) Common edible insects and their utilization in China: INVITED REVIEW. *Entomological Research* **39(5)**, 299-303.

- Choi GS, Shin YS, Kim JE, Ye YM, Park HS (2010) Five cases of food allergy to vegetable worm (*Cordyceps sinensis*) showing cross-reactivity with silkworm pupae. *Allergy: European Journal of Allergy and Clinical Immunology* **65**(9), 1196-1197.
- COM (2007) 872 (2007) Proposition de règlement COM(2007) 872 final du Parlement Européen et du Conseil, 2007. Les nouveaux aliments. *Journal officiel des Communautés européennes*.
- Comby B (1990) 'Délicieux insectes. Les protéines du futur.' (Paris)
- Dalgaard R, Schmidt J, Halberg N, Christensen P, Thrane M, Pengue WA (2007) LCA of soybean meal. *The International Journal of Life Cycle Assessment* **13**(3), 240-254.
- de Vries M, de Boer IJM (2010) Comparing environmental impacts for livestock products: A review of life cycle assessments. *Livestock Science* **128**(1-3), 1-11.
- DeFoliart GR (1991) Insect fatty acids: similar to those of poultry and fish in their degree of unsaturation, but higher in the polyunsaturates. *The Food Insect Newsletter* **4**(1), 1-8.
- Defoliart GR (1995) Edible insects as minilivestock. *Biodiversity and Conservation* **4**(3), 306-321.
- Directive 2002/32/CE (2002) Directive 2002/32/CE du Parlement européen et du Conseil, du 7 mai 2002, sur les substances indésirables dans les aliments pour animaux.
- Durst P, Shono K (2010) Edible forest insects: exploring new horizons and traditional practice. In 'Edible Forest Insect: Human Bite Back. Proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and their potential for development.' (Eds Durst PB, Johnson DV, Leslie RN and S K): Bangkok, Thailand)
- EFSA (2010) EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific Opinion on the safety of 'Chitin-glucan' as a Novel Food ingredient. EFSA Journal 2010; Available online: www.efsa.europa.eu/efsajournal. 17 pp.
- Eisner T (1970) Chemical Defense against Predation in Arthropods. In 'Chemical Ecology.' (Eds E Sondheimer and JB Simeone). (Academic Press Inc.: New York)
- Ekop EA, Udoh AI, Akpan PE (2010) Proximate and anti-nutrient composition of four edible insects in Akwa Ibom State, Nigeria. *World Journal of Applied Science and Technology* **2**, p. 224-231.
- FAO (2004) L'eau, l'agriculture et l'alimentation. *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome*.
- FAO (2009) How to feed the world in 2050 (http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf).

FAO (2011) 'Rapport de synthèse: l'état des ressources en terres et en eau pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde.' (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.)

Gaylor MO, Harvey E, Hale RC (2012) House crickets can accumulate polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) directly from polyurethane foam common in consumer products. *Chemosphere* **86**(5), 500-505.

Gerber PJ, Steinfeld H, Henderson B, Mottet A, Opio C, Dijkman J, Faluccci A, Tempio G (2013) Tackling climate change through livestock - A global assessment of emissions and mitigation opportunities. *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.*

Giaccone V (2005) Hygiene and health features of "minilivestock". In 'Ecological implications of minilivestock. Potential of rodents, frogs, snails, and insects.' Ed. MG Paoletti) pp. 579–598. (Science Publishers: New Hampshire)

Gracer D (2010) Filling the plates: serving insects to the public in the United States. Eds: Durst, P. B.; Johnson, D. V.; Leslie, R. N.; Shono, K.: Forest insects as food: humans bite back. Proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and their potential for development, Chiang Mai, Thailand, 19-21 February, 2008, 2010, pp 217-220, 1 ref. .

Graczyk TK, Knight R, Tamang L (2005) Mechanical transmission of human protozoan parasites by insects. *Clinical Microbiology Reviews* **18**(1), 128-132.

Green K, Broome L, Heinze D, Johnston S (2001) Long Distance Transport of Arsenic by Migrating Bogong Moths from Agricultural Lowlands to Mountain Ecosystems. *The Victorian Naturalist* **118**(4), 112-116.

Hackstein JH, Stumm CK (1994) Methane production in terrestrial arthropods. *Proc Natl Acad Sci U S A* **91**(12), 5441-5. [In eng]

Haldar P, Das A, Gupta RK (1999) A laboratory based study on farming of an Indian grasshopper *Oxya fuscovittata* Marschall Orthoptera: Acrididae. *Journal of Orthoptera Research* **8**, 93-97.

Handley MA, Hall C, Sanford E, Diaz E, Gonzalez-Mendez E, Drace K, Wilson R, Villalobos M, Croughan M (2007) Globalization, binational communities, and imported food risks: results of an outbreak investigation of lead poisoning in Monterey County, California. *Am J Public Health* **97**(5), 900-6. [In eng]

Ji KM, Zhan ZK, Chen JJ, Liu ZG (2008) Anaphylactic shock caused by silkworm pupa consumption in China. *Allergy* **63**(10), 1407-1408.

Kiuchi M, Tamaki Y (1990) Future of edible insects. *Farming Japan* **24**, 37-41.

Klunder HC, Wolkers-Rooijackers J, Korpela JM, Nout MJR (2012) Microbiological aspects of processing and storage of edible insects. *Food Control* **26**(2), 628-631.

- Lee KP, Simpson SJ, Wilson K (2008) Dietary protein-quality influences melanization and immune function in an insect. *Functional Ecology* **22**(6), 1052-1061.
- Leung PSC, Wing Kuen C, Duffey S, Hoi Shan K, Gershwin ME, Ka Hou C (1996) IgE reactivity against a cross-reactivity allergen in crustacea and mollusca: Evidence for tropomyosin as the common allergen. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* **98**(5), 954-961.
- Li L, Zhao Z, Liu H (2013) Feasibility of feeding yellow mealworm (*Tenebrio molitor* L.) in bioregenerative life support systems as a source of animal protein for humans. *Acta Astronautica* **92**(1), 103-109.
- Liu Z, Xia L, Wu Y, Xia Q, Chen J, Roux KH (2009) Identification and characterization of an arginine kinase as a major allergen from silkworm (*Bombyx mori*) larvae. *Int Arch Allergy Immunol* **150**(1), 8-14. [In eng]
- Lupi O (2003) Could ectoparasites act as vectors for prion diseases? *Int J Dermatol* **42**(6), 425-9. [In eng]
- Lupi O (2006) Myiasis as a risk factor for prion diseases in humans. *J Eur Acad Dermatol Venereol* **20**(9), 1037-45. [In eng]
- Makkar HPS, Tran G, Heuzé V, Ankers P (2014) State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology* **197**(0), 1-33.
- Metz-Favre C, Rame JM, Pauli G, de Blay F (2009) Tropomyosin: Pan-allergen. *La tropomyosine : un pan-allergène* **49**(5), 420-426.
- Mignon J (2002) L'entomophagie : une question de culture ? *Tropicultura* **20**(3), 15-155.
- Mpuchane S, Taligoola H, Gashe B (1996) Fungi associated with *Imbrasia belina*, an edible caterpillar. *Botswana Notes and Records* **28**, 193-197.
- Muzzarelli R (2010) Chitins and Chitosans as Immunoadjuvants and Non-Allergenic Drug Carriers. *Marine Drugs* **8**(2), 292-312.
- Nakagaki BJ, Defoliart GR (1991) Comparison of Diets for Mass-Rearing *Acheta domesticus* (Orthoptera: Gryllidae) as a Novelty Food, and Comparison of Food Conversion Efficiency with Values Reported for Livestock. *Journal of Economic Entomology* **84**(3), 891-896.
- Nishida R (2002) Sequestration of defensive substances from plants by Lepidoptera. In. Vol. 47'. pp. 57-92)
- Nishimune T, Watanabe Y, Okazaki H, Akai H (2000) Thiamin is decomposed due to *Anaphe* spp. entomophagy in seasonal ataxia patients in Nigeria. *Journal of Nutrition* **130**(6), 1625-1628.

- Okumura GT (1967) A report of canthariasis and allergy caused by *Trogoderma*. *Californian Vector Views* **14**(3), 19-22.
- Omotoso OT (2006) Nutritional quality, functional properties and anti-nutrient compositions of the larva of *Cirina forda* (Westwood) (Lepidoptera: Saturniidae). *Journal of Zhejiang University Science* **7**(1), p. 51-55.
- Oonincx, van Itterbeeck, Heetkamp, van den Brand, van Loon, van Huis (2010) An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption. *PLoS ONE* **5**(12).
- Oonincx DGAB, de Boer IJM (2012) Environmental Impact of the Production of Mealworms as a Protein Source for Humans – A Life Cycle Assessment. *PLoS ONE* **7**(12), e51145.
- Pennino M, Dierenfeld ES, Behler JL (1991) Retinol, α -tocopherol and proximate nutrient composition of invertebrates used as feed. *International Zoo Yearbook* **30**(1), 143-149.
- Pereira KS, Schmidt FL, Barbosa RL, Guaraldo AM, Franco RM, Dias VL, Passos LA (2010) Transmission of chagas disease (American trypanosomiasis) by food. *Adv Food Nutr Res* **59**, 63-85. [In eng]
- Post K, Riesner D, Walldorf V, Mehlhorn H (1999) Fly larvae and pupae as vectors for scrapie. *Lancet* **354**(9194), 1969-70. [In eng]
- Pouvreau A (1999) Les insectes venimeux urticants. *INSECTES* **114**(5), 9-12.
- Ramos-Elorduy J (1997) Insects: A sustainable source of food? *Ecology of Food Nutrition* **36**(2-4), 247-276.
- Ramos-Elorduy J (2009) Anthro-entomophagy: Cultures, evolution and sustainability. *Entomological Research* **39**(5), 271-288.
- Raubenheimer D, Rothman JM (2013) Nutritional ecology of entomophagy in humans and other primates. In. Vol. 58'. pp. 141-160
- Reese G, Ayuso R, Lehrer SB (1999) Tropomyosin: An invertebrate pan-allergen. *International Archives of Allergy and Immunology* **119**(4), 247-258.
- Règlement (UE) n°56/2013 (2013) Règlement (UE) n° 56/2013 fixant les règles pour la prévention, le contrôle et l'éradication de certaines encéphalopathies spongiformes transmissibles.
- Règlement (UE) n°68/2013 (2013) Règlement (UE) n° 68/2013 de la Commission du 16 janvier 2013 relatif au catalogue des matières premières pour aliments des animaux (1).
- Règlement (UE) n°183/2005 (2005) Règlement (UE) n° 183/2005 du Parlement Européen et du Conseil du 12 janvier 2005 établissant des exigences en matière d'hygiène des aliments pour animaux. *Journal officiel des Communautés européennes* **31**.

Règlement (UE) n°258/97 (1997) Règlement (UE) n° 258/97 du Parlement européen et du Conseil du 27 janvier 1997 relatif aux nouveaux aliments et aux nouveaux ingrédients alimentaires.

Règlement (UE) n°767/2009 (2009) Règlement (UE) n° 767/2009 du Parlement européen et du Conseil du 13 juillet 2009 concernant la mise sur le marché et l'utilisation des aliments pour animaux, modifiant le règlement (CE) n° 1831/2003 du Parlement européen et du Conseil et abrogeant la directive 79/373/CEE du Conseil, la directive 80/511/CEE de la Commission, les directives 82/471/CEE, 83/228/CEE, 93/74/CEE, 93/113/CE et 96/25/CE du Conseil, ainsi que la décision 2004/217/CE de la Commission.

Règlement (UE) n°852/2004 (2004) Règlement (UE) n° 852/2004 du Parlement européen et du Conseil du 29 avril 2004 relatif à l'hygiène des denrées alimentaires

Règlement (UE) n°854/2004 (2004) Règlement (UE) n° 854/2004 du Parlement européen et du Conseil du 29 avril 2004 fixant les règles spécifiques d'organisation des contrôles officiels concernant les produits d'origine animale destinés à la consommation humaine.

Règlement (UE) n°999/2001 (2001) Règlement (UE) n°999/2001 du Parlement européen et du Conseil du 22 mai 2001 fixant les règles pour la prévention, le contrôle et l'éradication de certaines encéphalopathies spongiformes transmissibles.

Règlement (UE) n°1069/2009 (2009) Règlement (UE) n° 1069/2009 du Parlement Européen et du Conseil du 21 octobre 2009 établissant des règles sanitaires applicables aux sous-produits animaux et produits dérivés non destinés à la consommation humaine et abrogeant le règlement (CE) no 1774/2002 *Journal officiel des Communautés européennes* **31**.

Règlement (UE) n° 37/2010 (2010) Règlement (UE) n° 37/2010 du 22 décembre 2009 relatif aux substances pharmacologiquement actives et à leur classification en ce qui concerne les limites maximales de résidus dans les aliments d'origine animale.

Ritter (2010) Insect and Cholesterol. *Food insects Newsl.* **3**(1), 1-6.

Rumpold BA, Schlüter OK (2013a) Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Mol Nutr Food Res* **57**(5), 802-23. [In eng]

Rumpold BA, Schlüter OK (2013) Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition and Food Research* **57**(5), 802-823.

Rumpold BA, Schlüter OK (2013b) Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* **17**, 1-11.

Saeed T, Abu Dagga F, Saraf M (1993) Analysis of residual pesticides present in edible locusts captured in Kuwait. *Arab Gulf Journal of Scientific Research* **11**(1), 1-5.

- Sanchez-Borges M, Suarez-Chacon R, Capriles-Hulett A, Caballero-Fonseca F (2005) An update on oral anaphylaxis from mite ingestion. *Ann Allergy Asthma Immunol* **94**(2), 216-20; quiz 220-2, 306. [In eng]
- Schabel HG (2010) Forest insects as food: a global review. In 'Edible Forest Insect: Human Bite Back. Proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and their potential for development.' (Eds Durst PB, Johnson DV, Leslie RN and S K): Bangkok, Thailand)
- Schmidt JO, Buchmann SL (1992) 'Other products of the hive. In The hive and the honey bee.' (Dadant and Sons: Hamilton, Illinois)
- Sehgal R, Bhatti HP, Bhasin DK, Sood AK, Nada R, Malla N, Singh K (2002) Intestinal myiasis due to *Musca domestica*: a report of two cases. *Jpn J Infect Dis* **55**(6), 191-3. [In eng]
- Siemianowska E, Kosewska A, Aljewicz M, Skibniewska KA, Polak-Juszczak L, Jarocki A, Jędras M (2013) Larvae of mealworm (*Tenebrio molitor* L.) as European novel food. *Agricultural Sciences* **04**(06), 287-291.
- Simpanya MF, Allotey J, Mpuchane SF (2000) A mycological investigation of phane, an edible caterpillar of an emperor moth, *Imbrasia belina*. *J Food Prot* **63**(1), 137-40. [In eng]
- Sirimungkararat S, Saksirirat W, Nopparat T, Natongkham A (2008) Edible products from eri silkworm (*Samia ricini* D.) and mulberry silkworm (*Bombyx mori* L.) in Thailand. *Proceedings of a Workshop on Asia-Pacific Resources and Their Potential for Development. RAP Publication 2010/02* **19-21**, 189-200.
- Slepneva IA, Komarov DA, Glupov VV, Serebrov VV, Khramtsov VV (2003) Influence of fungal infection on the DOPA-semiquinone and DOPA-quinone production in haemolymph of *Galleriamellonella* larvae. *Biochem Biophys Res Commun* **300**(1), 188-91. [In eng]
- Srivastava SK, Babu N, Pandey H (2009) Traditional insect bioprospecting - As human food and medicine. *Indian Journal of Traditional Knowledge* **8**(4), 485-494.
- Steinfeld H (2006) 'Livestock's long shadow: environmental issues and options.' (FAO: Rome)
- van Huis A (2010) Opinion: Bugs can solve food crisis. *The scientist - Magazine of the Life Sciences (Vol.)*.
- van Huis A (2013) Potential of insects as food and feed in assuring food security. **58**, 563-583.
- van Huis A, van Itterbeeck J, Klunder HC, Mertens E, Halloran A, Muir G, Vantomme P (2013) Edible insects: future prospects for food and feed security. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*.
- Verhoeckx K, van Broekhoven S, Gaspari M, de Hartog-Jager S, de Jong G, Wichers H, van Hoffen E, Houben G, Knulst A (2013) House dust mite (*Derp 10*) and crustacean

allergic patients may be at risk when consuming food containing mealworms proteins. *Clinical and Translational Allergy* **3 (Suppl. 3)**, 48.

Verkerk MC, Tramper J, van Trijp JCM, Martens DE (2007) Insect cells for human food. *Biotechnology Advances* **25(2)**, 198-202.

Vijver M, Jager T, Posthuma L, Peijnenburg W (2003) Metal uptake from soils and soil-sediment mixtures by larvae of *Tenebrio molitor* (L.) (Coleoptera). *Ecotoxicol Environ Saf* **54(3)**, 277-89. [In eng]

Wilson ME, Lorente CA, Allen JE, Eberhard ML (2001) *Gongylonema* infection of the mouth in a resident of Cambridge, Massachusetts. *Clin Infect Dis* **32(9)**, 1378-80. [In eng]

Wisniewski HM, Sigurdarson S, Rubenstein R, Kascsak RJ, Carp RI (1996) Mites as vectors for scrapie. *Lancet* **347(9008)**, 1114. [In eng]

Yew KL, Kok VS (2012) Exotic food anaphylaxis and the broken heart: sago worm and takotsubo cardiomyopathy. *Med J Malaysia* **67(5)**, 540-1. [In eng]

Yi L, Lakemond CMM, Sagis LMC, Eisner-Schadler V, van Huis A, Boekel MAJSV (2013) Extraction and characterisation of protein fractions from five insect species. *Food Chemistry* **141(4)**, 3341-3348.

Zagrobelny M, Bak S, Rasmussen AV, Jørgensen B, Naumann CM, Møller BL (2004) Cyanogenic glucosides and plant-insect interactions. *Phytochemistry* **65(3)**, 293-306.

Zhou J, Han D (2006) Safety evaluation of protein of silkworm (*Antheraea pernyi*) pupae. *Food and Chemical Toxicology* **44(7)**, 1123-1130.

Zhuang P, Zou H, Shu W (2009) Biotransfer of heavy metals along a soil-plant-insect-chicken food chain: field study. *J Environ Sci (China)* **21(6)**, 849-53. [In eng]

ANNEXES

Annexe 1 : Textes réglementaires en relation avec les insectes

▪ Concernant l'élevage des insectes :

En France, il n'existe actuellement aucune législation s'appliquant à l'élevage et la commercialisation d'insectes comestibles. Néanmoins, il en existe une concernant l'élevage des espèces non domestiques ou sauvages¹¹. D'après le Code de l'environnement, 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. Les insectes étant des espèces non domestiques, ils relèvent de la réglementation "faune sauvage captive" : ainsi le fait d'exploiter un établissement d'élevage professionnel d'insectes nécessite 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. Pour accéder à ce double régime d'autorisation, 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. A noter qu'il n'existe aucune mesure nationale de protection animale spécifique aux insectes élevés en captivité.

Concernant les règles d'hygiène s'appliquant à la production d'animaux pour la consommation humaine, il s'agit des règles générales établies par le paquet hygiène, et plus précisément par le règlement (CE) n°178/2002 visant l'innocuité pour l'homme. Le paquet hygiène s'applique à toutes les étapes de la production, de la transformation et de la distribution des denrées alimentaires¹² et des aliments pour animaux¹³, incluant implicitement aussi les insectes.

Les producteurs et distributeurs d'insectes et/ou de produits à base d'insectes relèvent du règlement européen sur l'hygiène des denrées alimentaires (Règlement (UE) n°852/2004 2004), plus précisément celles d'origine animale (Règlement (UE) n°854/2004 2004) et des aliments pour animaux (Règlement (UE) n°183/2005 2005). Les principes HACCP (Analyse des dangers - points critiques pour leur maîtrise) doivent être appliqués.

Quant à l'alimentation des animaux d'élevage destinés à la production d'aliments, la législation dit qu'ils ne peuvent être élevés que sur des substrats autorisés. En effet, conformément à l'article 3.6 du règlement (CE) 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 2009). En particulier, ces animaux ne peuvent pas être alimentés avec des matières premières interdites en alimentation animale telles que :

- le lisier ou fumier (annexe III du règlement (CE) n°767/2009),
- le bois traité (annexe III du règlement (CE) n°767/2009),
- les déchets de cuisine et de table (article 11.1 b) du règlement (CE) n°1069/2009).

¹¹ <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Les-etablissements-d-elevage-et.html>

Arrêté du 10 août 2004 fixant les règles générales de fonctionnement des installations d'élevage d'agrément d'animaux d'espèces non domestiques.

¹² Denrée alimentaire : toute substance ou produit, transformé, partiellement transformé ou non transformé, destiné à être ingéré ou raisonnablement susceptible d'être ingéré par l'être humain.

¹³ Aliment pour animaux : toute substance ou produit, y compris les additifs, transformé, partiellement transformé ou non transformé, destiné à l'alimentation des animaux par voie orale.

En revanche, les déchets provenant de la production de bioéthanol, tels que les protéines de blé et les résidus d'orge, sont répertoriés dans le catalogue des matières premières (Règlement (UE) n°68/2013 2013) et pourraient donc être utilisés comme substrats pour élever des insectes.

▪ Concernant les insectes pour l'alimentation des animaux :

Le Règlement (UE) n°68/2013 (2013), cité ci-dessus, prévoit également que les insectes puissent constituer des matières premières pour l'alimentation des animaux. Il cite « les invertébrés terrestres entiers ou non autres que les espèces pathogènes pour l'être humain ou les animaux ». La réglementation sur les substances indésirables dans les aliments pour animaux (Directive 2002/32/CE 2002) n'exclut pas les insectes qui, en tant que matière première, sont donc soumis à ses exigences.

La réglementation des produits formulés à base d'animaux (Règlement (UE) n°1069/2009 2009) est aussi d'application y compris pour les produits importés en Europe. Selon ce dernier texte, les invertébrés, donc les insectes, non pathogènes pour l'homme sont considérés comme des matières de catégorie 3 et peuvent :

- être utilisés pour l'alimentation des animaux de rente s'ils ont été transformés en protéines hydrolysées via un processus validé d'hydrolyses chimiques ;
- être utilisés en aliments pour animaux de compagnie (*petfood*) sous certaines conditions de transformation.

Ils peuvent être utilisés tels quels pour les animaux à fourrure, animaux de zoo, animaux de cirque et autres animaux sauvages détenus (avec obtention préalable d'une dérogation nationale et après autorisation spécifique des utilisateurs finaux, le producteur devant être déclaré aussi).

Le Règlement (UE) n°999/2001 (2001) interdit l'utilisation des protéines animales transformées (PAT) pour les animaux de rente (les protéines animales transformées sont issues exclusivement de sous-produits provenant d'animaux propres à la consommation humaine (catégorie 3)). Depuis le 1^{er} juin 2013, les PAT provenant de non-ruminants ont été réintroduites dans l'alimentation des espèces aquacoles (Règlement (UE) n°56/2013 2013). Les PAT sont produites à partir de sous-produits collectées dans des abattoirs et transformés dans des usines de sous-produits, ce qui exclut les insectes. Si la législation venait à évoluer, l'utilisation des protéines animales transformées à base d'insectes se limiterait aux non-ruminants (porcs, volailles, poissons) et l'interdiction pour les ruminants demeurerait en place.

▪ Concernant les insectes pour l'alimentation humaine :

Le Règlement (UE) n°258/97 (1997) « relatif aux nouveaux aliments et aux nouveaux ingrédients alimentaires » stipule que les aliments qui n'ont pas été consommés à un degré significatif dans l'Union européenne avant le 15 mai 1997 doivent subir une évaluation des risques avant leur commercialisation. Actuellement, ce règlement est ambigu quant à l'interprétation du « degré significatif » de la consommation. De plus, il est imprécis dans sa rédaction actuelle car il ne vise dans son champ d'application que les parties d'animaux (« ingrédients alimentaires isolés à partir d'animaux »), et non les insectes entiers.

À l'heure actuelle, ce sont les organismes des États membres chargés d'évaluer une demande d'autorisation préalable à la mise sur le marché, qui interviennent en premier lieu. Il s'agit de la DGCCRF pour la France. Lorsque 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 réserves 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'Autorité européenne de sécurité des aliments (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'U.E. Un nouvel aliment autorisé peut être proposé dans tous les États Membres.

A ce jour, aucun dossier recevable de demande d'autorisation de mise sur le marché n'a été déposé en Europe pour des insectes ou produits à base d'insectes destinés à l'alimentation humaine. Par conséquent, aucun insecte, ni dérivé d'insecte, ne peut être mis sur le marché pour l'alimentation humaine.

Le projet de nouveau règlement relatif aux nouveaux aliments (COM (2007) 872 2007) a pour objet de rationaliser la procédure d'autorisation ainsi que d'améliorer son efficacité et sa transparence. Il introduit une méthode d'évaluation de la sécurité à la fois plus rapide et mieux adaptée aux aliments traditionnels qui proviennent de pays tiers et dont l'innocuité d'utilisation passée est attestée. En vertu de ce règlement, il est probable que les insectes appartiendront à cette catégorie qui englobe la nourriture qui a été une composante du régime alimentaire normal pendant au moins une génération d'une grande proportion de la population de pays tiers. Si le pétitionnaire est apte à fournir les données documentées afin de démontrer que le nouvel aliment a un antécédent d'utilisation en toute sécurité sanitaire dans un pays tiers, il pourra être autorisé à être mis sur le marché. Le cas échéant, le pétitionnaire devra recourir à une appréciation des risques.

Annexe 2 : Facteurs anti-nutritifs présents dans plusieurs espèces d'insectes (mg/100g de poids sec) (Belluco, Losasso *et al.* 2013)

Espèce d'insecte (ou ordre)	Facteurs anti-nutritifs			
	Acide phytique	Oxalate totaux	Acide cyanhydrique	Tannin
<i>Gymnogryllus lucens</i> (Orthoptères – <i>Gryllidae</i>)	0,28	13,20	2,19	0,33
<i>Heteroligus meles</i> (Coléoptères – <i>Dynastidae</i>)	0,28	29,00	2,73	0,38
<i>Rhynchophorus phoenicis</i> (Coléoptères – <i>Curculionidae</i>)	0,29	19,32	2,53	0,48
<i>Zonocerus variegatus</i> (Orthoptères – <i>Pyrgomorphidae</i>)	0,28	26,40	3,20	0,43
<i>Cirina forda</i> (Lépidoptères – <i>Saturniidae</i>)	1,02	4,11	Non déterminé	Non détecté
<i>Anaphe venata</i> (Lépidoptères – <i>Notodontidae</i>)	0,19	Non déterminé	Non déterminé	0,07
Fourmi	0,20	Non déterminé	Non déterminé	0,04
Termite	0,25	Non déterminé	Non déterminé	0,09
Termite ailé	0,11	Non déterminé	Non déterminé	0,02
Sauterelle	0,11	Non déterminé	Non déterminé	0,10
Grillon	0,32	Non déterminé	Non déterminé	0,90
Cochenille	0,23	Non déterminé	Non déterminé	0,11
Membracide	Non déterminé	Non déterminé	Non déterminé	0,10

Sources : (Adeduntan 2005; Adesina 2012; Ekop, Udoh *et al.* 2010; Omotoso 2006)