



HAL
open science

Caractéristiques des produits issus de l'élevage d'insectes, débouchés et usages de ces produits, précautions et mises en garde

Charles Vandermeersch

► To cite this version:

Charles Vandermeersch. Caractéristiques des produits issus de l'élevage d'insectes, débouchés et usages de ces produits, précautions et mises en garde . Sciences pharmaceutiques. 2018. dumas-01711123

HAL Id: dumas-01711123

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01711123>

Submitted on 16 Feb 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Université de Bordeaux

U.F.R. DES SCIENCES PHARMACEUTIQUES

Année 2018

N°17

Thèse pour l'obtention du

DIPLOME d'ETAT de DOCTEUR EN PHARMACIE

Présentée et soutenue publiquement

Par VANDERMEERSCH Charles le 26 Janvier 2018

Né le 04 juin 1990, à Clamart

Caractéristiques des produits issus de l'élevage d'insectes, débouchés et usages de ces produits, précautions et mises en garde.

Jury

Mme le Professeur Catherine CHEZE.....Président

Docteur Loïc RIVIERE.....Directeur de thèse

Docteur Claire BAERT.....Juge

Remerciements

A Madame le Professeur Catherine Chèze, Maître de Conférence Universitaire à la faculté de Bordeaux.

Vous m'avez fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury. Je vous remercie de l'attention que vous avez bien voulu porter à mon travail.

Veillez trouver ici le témoignage de mon respect et de ma reconnaissance.

A Monsieur le Docteur Loïc Rivière, Maître de Conférence à la faculté de Bordeaux.

Merci d'avoir dirigé ce travail de thèse. Merci pour votre disponibilité, vos conseils précieux et votre gentillesse.

Soyez assurée de mon estime et de ma profonde reconnaissance.

A Madame le Docteur Claire Baert, Docteur en Pharmacie.

Merci d'avoir accepté de faire partie de mon jury. Vous vous êtes rendue disponible face à ma demande, je vous en suis reconnaissant.

A Marion, qui me porte et me supporte depuis cinq ans maintenant. Pour ta joie de vivre, ta bonne humeur et tes lampes en bois flottés.

A mes parents, sans qui tous ça n'aurait pas vu le jour. Merci de nous avoir emmené partout, Xavier, Alice et moi et de nous avoir ouvert les yeux sur le monde (sauf peut-être à l'école de musique de Montfort où je ne les ouvrais pas beaucoup...).

A Xavier et Alice pour ces journées passées à la piscine, à la plage, à la montagne et tous les souvenirs qui vont avec et tous ceux à venir.

A Mamimo pour les vacances passées à Montfort et à Seignosse, pour ta bonne humeur de tous les jours et ta patience légendaire. Merci de nous avoir laissé regarder la télé si tard à Seignosse et d'avoir aspiré tout le sable sans jamais nous gronder.

A Pépé qui fabriquait des billets de 100 Francs juste en brûlant une feuille de papier toilette, merci pour toutes ces farces et histoires (surtout celle du chaperon rouge et du lampadaire de Seignosse). Tu as égayé mon enfance

A Papi et Mamie, pour les clafoutis devant vidéo gag le dimanche, après la balade à Fontainebleau.

Merci à tous mes copains de fac, surf, footing, BU, repêches..., Charlélie, JB, Ludo, Julie, Cathel, Clémence, Geo, Yann, Gilles, Maxime, Igor ... et tous les autres que je n'oublie pas.

Liste des abréviations :

INED : Institut National d'Etude Démographique

INSEE : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques

FAO : Food and Agriculture Organization

NAC : Nouveau Animaux de Compagnie

DDSV : Direction des Services Vétérinaires

DDCSPP : Direction Départementale de la Cohésion Sociale et de la Protection des Populations

FFPIDI : Fédération Française des Producteurs, Importateurs et Distributeurs d'Insectes

FDA : Food Drug Administration

ONU : Organisation des Nations Unies

ANSES : Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du travail

UE : Union Européenne

PAT: Protéines Animales Transformées

DGCCRF : Direction Générale de la Concurrence, de la Consommation et de la Répression des Fraudes

AFSCA : Agence Fédérale pour la Sécurité de la Chaîne Alimentaire

INRA : Institut National de Recherche Agronomique

ITAP : Information-Technologies- Analyse environnementale- Procédés agricoles

CEA : Commissariat à l'Energie Atomique et aux énergies alternatives

CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique

ANR : Agence Nationale de la Recherche

FERA : Food and Environment Research Agency

PCB : Polychlorobiphényles

PAH : Acide ParaaminoHippurique

PME : Petite et mMoyenne Entreprise

ATNC : Agent Transmissible Non Conventionnel

1 Table des matières

Introduction sur l'usage des insectes:	7
2 Généralités sur les insectes :	8
2.1 IDENTIFICATION:	8
2.2 NOMBRE D'INSECTES DANS LE MONDE:	10
2.3 UNE ESPECE OU REGNE LES RECORDS:	11
3 LES DIFFERENTS USAGES DES INSECTES :	12
3.1 QUELLES ESPÈCES CONCERNÉES :	12
3.1.1 DEFINITION :	12
3.1.2 CLASSIFICATION :	13
3.2 USAGES DES INSECTES :	16
3.2.1 USAGES INDUSTRIELS :	16
3.2.2 USAGE POUR LA LUTTE BIOLOGIQUE :	16
3.2.3 USAGE PÉDAGOGIQUE ET SCIENTIFIQUE :	16
3.2.4 USAGE PERSONNEL :	17
3.2.5 USAGE ALIMENTAIRE :	17
3.2.6 USAGE MEDICAL :	17
3.2.7 USAGE ALIMENTAIRE POUR D'AUTRES ESPÈCES :	17
4 ELEVAGE D'INSECTES A USAGE ALIMENTAIRE :	18
4.1 LES ESPÈCES LES PLUS COMMUNES POUR L'ÉLEVAGE D'INSECTES :	18
4.1.1 ESPÈCES COMMUNES POUR L'ÉLEVAGE :	18
4.2 LES DIFFERENTS TYPES D'ÉLEVAGES D'INSECTES :	23
4.2.1 L'ELEVAGE D'AGREMENT:	24
4.2.2 L'ÉLEVAGE PROFESSIONNEL :	25
5 CONTRAINTES ET AVANTAGES :	46
5.1 AVANTAGES:	46
5.2 CONTRAINTES :	47
6 ALIMENTATION HUMAINE :	47
6.1 CONSOMMATION INTENTIONNELLE :	47
6.2 CONSOMMATION NON INTENTIONNELLE :	48
6.3 CONSOMMATION DANS LES PAYS OCCIDENTAUX :	49
6.4 BESOIN NUTRITIONNEL HUMAIN :	51
6.4.1 INTERET PHYSIOLOGIQUE DES PROTEINES ET RAPPEL BIOCHIMIQUE:	52
6.4.2 MINERAUX :	54
6.4.3 VITAMINES :	54
6.4.4 GLUCIDES :	54
6.4.5 LIPIDES :	55
6.5 LES DIFFERENTS TYPES DE PROTEINES :	55
6.5.1 PROTEINES CONVENTIONNELLES :	55
6.5.2 PROTEINES NON CONVENTIONNELLES :	56
7 CARACTERISTIQUE NUTRITIONNELLE DES INSECTES :	57
7.1 GENERALITES :	57
8 LES DIFFERENTS TYPES DE PRODUITS FINIS :	60
8.1 TRANSFORMATION ET TECHNIQUES DE CONSERVATION POUR L'UTILISATION EN ALIMENTATION HUMAINE ET ANIMALE :	60
8.2 APPLICATIONS ALIMENTAIRES :	62
9 DEBOUCHES :	65

9.1	ENCADREMENT PAR LA LOI :	65
9.2	DEBOUCHE ET USAGE POSSIBLE ACTUELLEMENT :	68
9.3	PRECURSEUR DANS LE SECTEUR :	71
9.4	DEBOUCHE ET USAGE FUTURE :	73
10	PRECAUTIONS ET MISES EN GARDE :	78
10.1	POUR L'HOMME :	78
10.2	ENVIRONNEMENT :	89
10.3	POUR L'ELEVAGE LUI MEME :	90
	Conclusion :	92
	Références Bibliographiques :	93
	Table des figures :	96

Introduction sur l'usage des insectes:

Depuis quelques années, subvenir aux besoins alimentaires de la population mondiale, est un défi permanent. En effet, dans les années 2000, nous étions environs 6 milliards d'individus sur Terre. Les projections prévoient une augmentation conséquente, faisant passer la population mondiale à 9,3 milliards d'individus en 2050 sachant qu'actuellement nous sommes environs 7,5 milliards (source Ined institut national d'étude démographique) (1).

Pour point de comparaison, la France est en 2017 peuplée de 66,63 millions de personnes selon Insee (Institut nationale de la statistique et des études économiques) (2).

La plus forte croissance pour 2050 sera enregistrée sur le continent africain qui verra sa population tripler suivie par l'Amérique centrale et d'autres pays tels que le Pakistan et certains du Proche-Orient, pour lesquels la population doublera. La chine et l'Inde auront une croissance démographique respective de 20% et 50%.

A l'inverse, les modèles annoncent une diminution de population en Europe (sauf pour la France, l'Irlande et les Pays bas) source Ined (1).

L'introduction de nouvelles sources d'alimentation dans les années à venir est donc indéniable si l'on se fie à ces projections. La demande nutritionnelle devrait augmenter de 70% d'ici 2050 selon la FAO (3).

Bien que le corps humain n'ait pas exclusivement besoin de protéines, leur apport en quantité et en qualité de manière journalière est vital pour l'espèce humaine. Elles apportent des composants, notamment des acides aminés dit essentiels car non synthétisables par l'organisme.

Or ces protéines sont majoritairement introduites dans notre alimentation par la consommation de viande animale.

Les techniques modernes d'élevage bien qu'ayant considérablement évolué aux cours des années restent polluantes et envahissantes.

La production d'insectes peut donc être envisagée comme alternative pour l'homme et même pour l'alimentation animale. Depuis quelques années, cette alternative est de plus en plus plébiscitée par des restaurateurs et industriels. Néanmoins, dans nos sociétés, elle reste encore à ce jour assez confidentielle.

Cependant dans certains pays d'Asie, d'Afrique et d'Amérique Centrale, la consommation d'insectes est culturellement normale et même parfois considérée comme un met délicat. On observe même une production d'insectes par élevage et non plus par récolte comme elle l'était historiquement.

Il est donc intéressant de regarder de plus près cette production. Les avantages et les inconvénients de l'élevage d'insectes seront ici développés, avec en point de mire les caractéristiques biochimiques et nutritionnelles de certains produits finis. Un tour d'horizon des principaux acteurs Français du secteur et différents usages possibles seront également présentés. Enfin, un point sera fait sur les précautions et mises en garde inhérentes à cette pratique.

2 Généralités sur les insectes :

2.1 IDENTIFICATION:

Tout d'abord, les insectes sont aisément reconnaissables, en effet à l'état adulte, ils ont tous un corps composé de trois parties, la tête, le thorax et l'abdomen.

L'identification est plus difficile lorsqu'ils sont jeunes, plusieurs aspects et formes existent: larve avec ou sans pattes, présence ou non d'ailes ...

Ceci nous amène à présenter brièvement le passage à l'état adulte des insectes. Deux principaux cas de figures se présentent à nous:

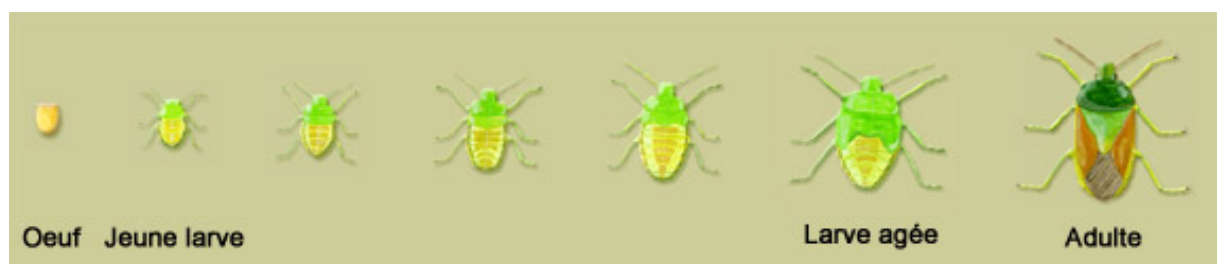
→ **Un passage à l'état adulte directement :**

Le corps de l'insecte ne subit pas de transformation majeure, le jeune ou larve après sa sortie de l'oeuf, passe à l'état adulte par mues successives et se dote d'ailes.

Il existe seize groupes d'insectes dans ce cas de figure, les plus connus étant :

Phasmes, Perce-oreilles, Mantes, Libellules, Blattes, Termites, Poux, Orthoptères (criquets, sauterelles, grillons), Hémiptères (punaises, pucerons...)

Figure 1 : Passage à l'état adulte directement.



→ **Un passage à l'état adulte indirectement :**

Dans ce cas, la larve sort de l'oeuf, puis elle subit des mues successives et une métamorphose en adulte. L'état entre le stade de larve et d'adulte est appelé nymphe.

Neuf grands groupes d'insectes grandissent indirectement, les plus connus sont : Papillons, Coléoptères (coccinelles, scarabées...), Diptères (mouches, moustiques...), Hyménoptères (guêpes, abeilles, fourmis...), Puces...

Figure 2 : Passage à l'état adulte indirectement.



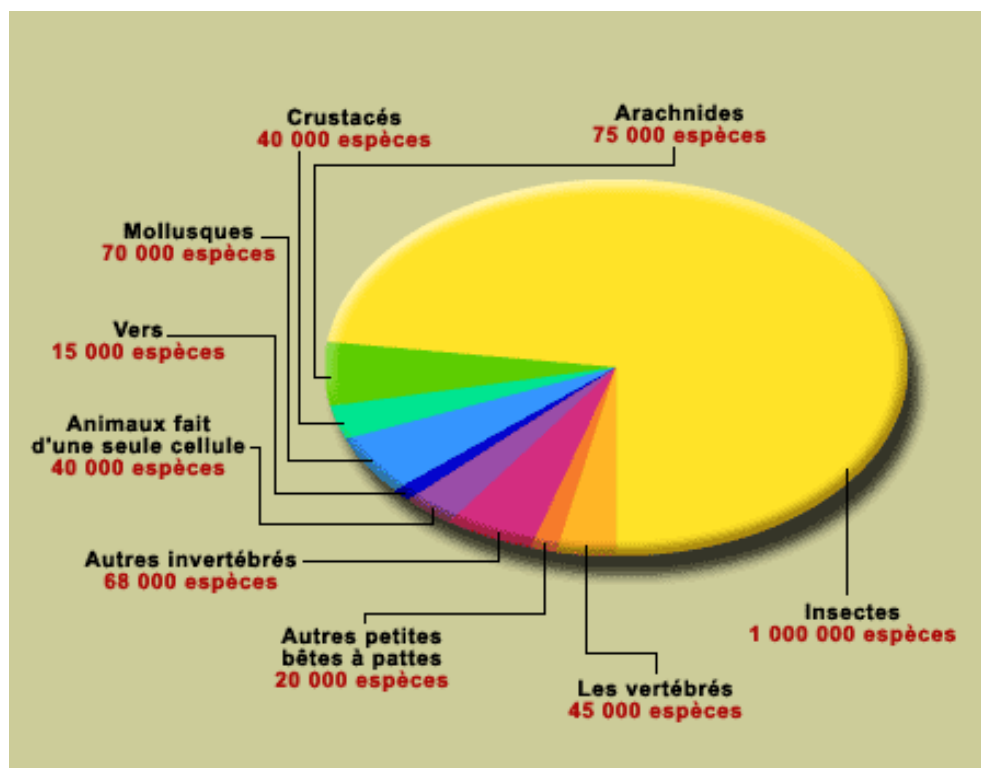
Il faut garder à l'esprit que les adultes ne grandissent pas, leur exosquelette empêche toute augmentation de volume. Seules les larves peuvent grandir et bien souvent les insectes vivent plus longtemps sous cette forme qu'à l'état adulte (4).

2.2 NOMBRE D'INSECTES DANS LE MONDE:

Il est actuellement impossible de donner un nombre exact d'espèces d'insectes dans le monde et même une estimation paraît hasardeuse. Le fait est que les scientifiques découvrent tous les jours de nouvelles espèces. Donc savoir combien d'espèces sont comestibles actuellement est impossible. Nous présenterons donc les espèces comestibles les plus communes.

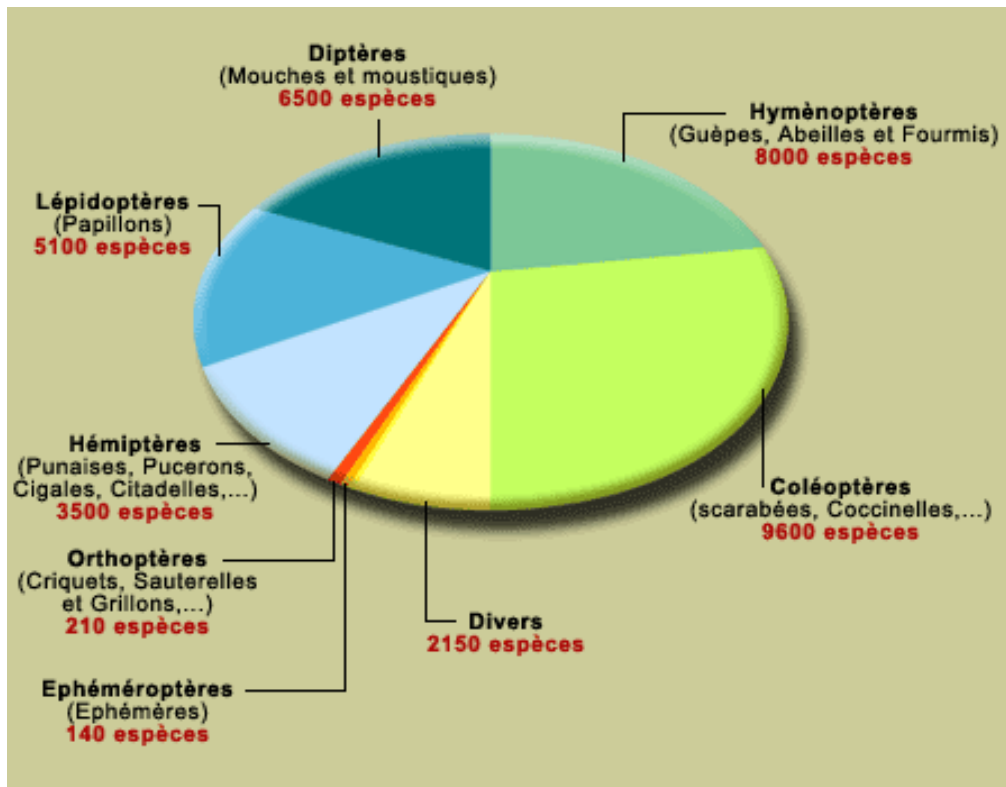
Le graphique ci-dessous représente la proportion des insectes dans le règne animal au niveau mondial (5):

Figure 3 : Proportion des insectes dans le règne animal au niveau mondial.



En France, les principales espèces se répartiraient comme suit :

Figure 4 : Répartition des principales espèces d'insectes en France.



2.3 UNE ESPECE OU REGNE LES RECORDS:

Ramené à leur espèce et donc leur petite taille, les insectes ont développés des aptitudes qui pourraient faire rougir certains grands mammifères !

→ La libellule détient le record du vol le plus rapide avec une vitesse de pointe de 60 km/h, elle est talonnée de près par un papillon de la famille des sphynxs qui vole à 54 km/h.

→Le record de ponte, la reine des termites qui vivent sous les tropiques peut pondre à elle seul près de 40 000 oeufs par jour et cela pendant 15 ans.

→Le record de poids, le poids de l'ensemble des fourmis est égal au poids de l'ensemble des humains.

→Le battement d'aile le plus rapide est quand à lui détenu par un puceron qui peut atteindre 62 760 battements par minute et 133 080 battements minutes à 37°.

→Le record de saut en longueur est détenu par un criquet qui peut sauter sans voler 76 cm.

→Le record du vol le plus long est celui du papillon Belle-Dame qui parcourt 6400 km de l'Afrique à l'Islande (6).

3 LES DIFFERENTS USAGES DES INSECTES :

Les insectes souvent négligés et affublés de termes peu valorisants pour les désigner tels que vermine, sont des organismes dont l'utilité n'est plus à démontrer.

Ils tuent, nettoient, fertilisent et aèrent nos sols, recyclent et pollinisent les fleurs (7).

Un exemple simple serait de voir les abeilles disparaître, eh bien les hamburgers se résumeraient à deux tranches de pain et un steak ; la salade, les tomates, cornichons... ne seraient plus car leurs reproductions dépend presque exclusivement d'insectes pollinisateurs tels que les abeilles.

Cet exemple pourrait paraître incongru et pourtant il n'est pas si irréaliste que cela. Il faut savoir qu'actuellement aux Etats-Unis certaines exploitations de la Corn Belt font appel à des ruchiers spécialistes qui au moment de la pollinisation viennent implanter leurs ruches proches du site car localement, les insectes pollinisateurs ne sont plus assez nombreux (8).

3.1 QUELLES ESPÈCES CONCERNÉES :

3.1.1 DEFINITION :

Tout d'abord, il faut définir le terme: « insecte ». En effet, lorsque l'on parle d'élevage d'insectes on vulgarise. En effet certaines espèces font l'objet de recherche pour de l'élevage comme le vers de fumier et on le désigne comme un insecte. Or, il s'agit d'un Annélide et non d'un Arthropode. Ce point va donc être éclairci par les classifications suivantes. Il existe plusieurs classifications du vivant mais les deux plus courantes sont la classification Linnéenne et la classification Phylogénétique.

3.1.2 CLASSIFICATION :

On doit la classification Linnéenne à monsieur Carl Von Linné qui était un naturaliste suédois du 17^{ème} siècle. Il s'agit de la première classification systématique créée. Elle repose sur un système de ressemblances anatomiques, ce qui signifie que les individus sont classés en fonction de la présence ou non d'un caractère.

Cela aboutit à un arbre phénotypique où l'on distingue, en détaillant de plus en plus les différents caractères des individus. On obtient ainsi plusieurs groupes qui s'organisent comme suit :

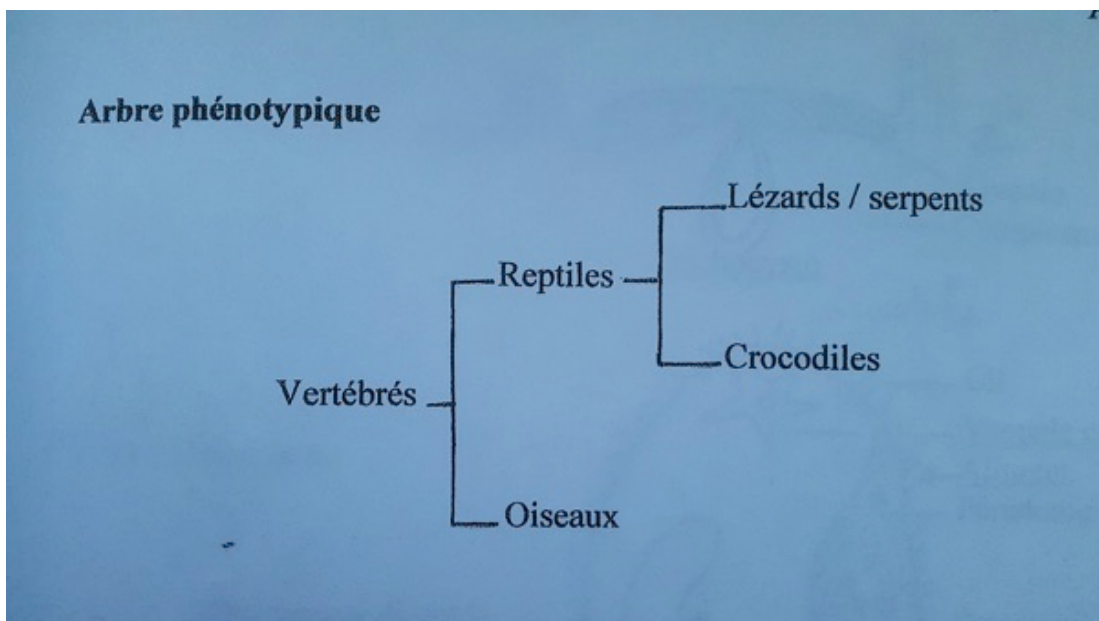
Règne→Phylum→Classe→Ordre→Famille→Genre→Espèce

Exemple : Animal→Arthropodes→Hexapodes→Diptères→Culicidés→*Culex*→*pipiens*

Un phénotype est un caractère physique ; par exemple la couleur des yeux, avoir des membres avec cinq doigts...

Dans les faits on identifie les espèces en utilisant le nom du genre suivi du nom d'espèce, on parle de nomenclature binaire.

Figure 5 : Arbre phénotypique.

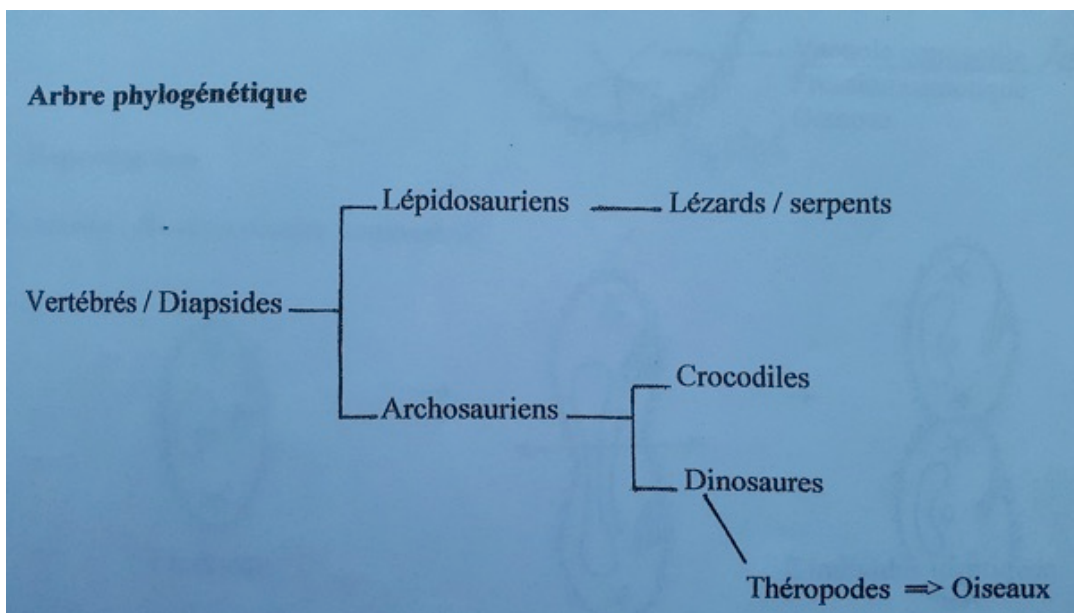


La classification Phylogénétique ; elle date des années 1950 et résulte des travaux d'un chercheur Allemand, monsieur Willi Hennig.

Elle est beaucoup plus récente puisqu'elle date des années 1950, c'est une classification évolutionniste qui s'est mise en place grâce à la biologie moléculaire. Les espèces sont regroupées en clades ou taxons monophylétiques par l'analyse de leur génome, cela aboutit au regroupement de tous les descendants d'un même ancêtre. Les différents taxons s'emboîtent les uns dans les autres et donnent un arbre ou cladogramme.

L'identification des différentes espèces se ferait par un segment d'ADN, les biologistes parlent de code barre à ADN (9).

Figure 6 : Arbre phylogénétique.



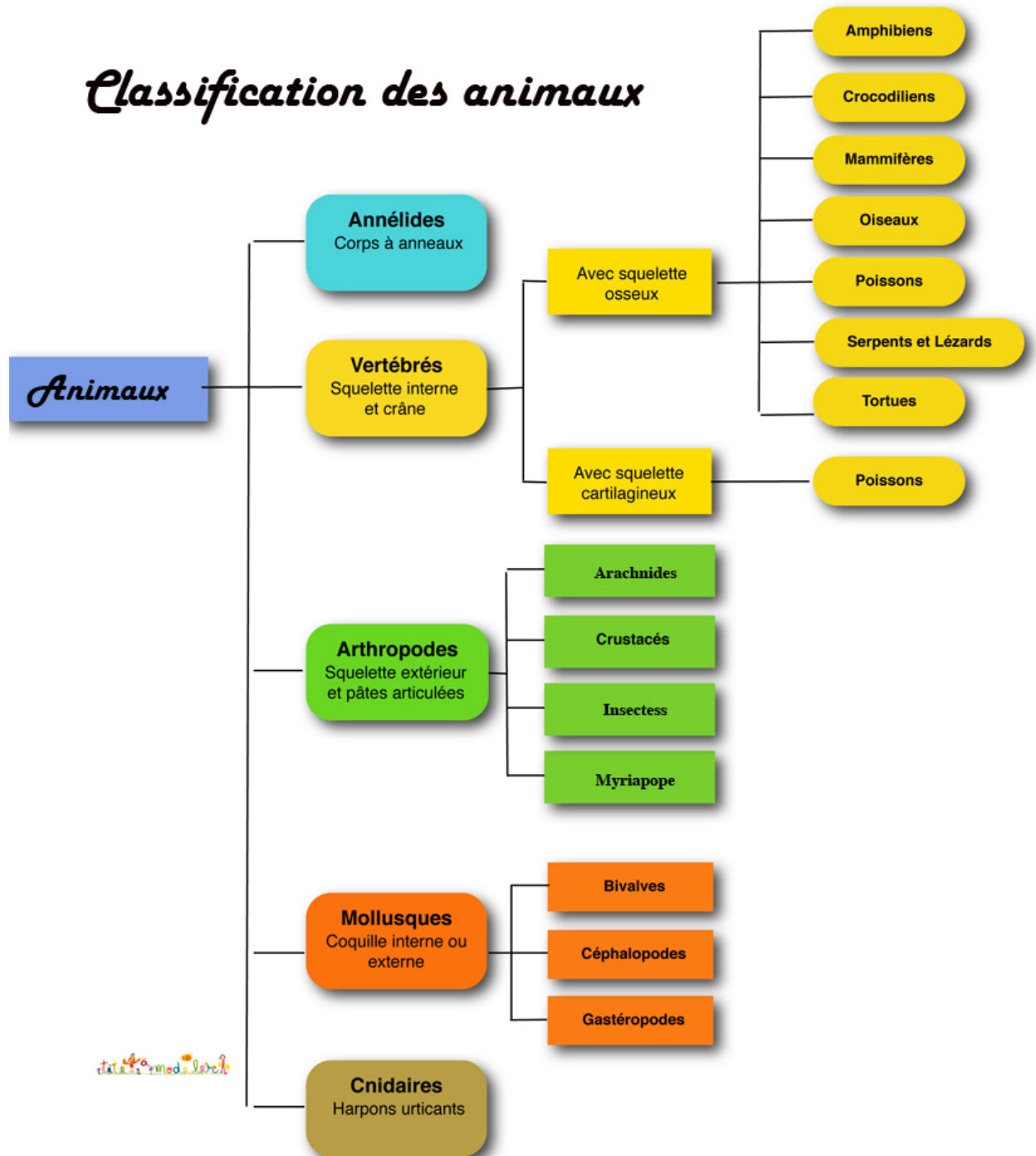
On voit bien que fonction de la classification utilisée, les individus n'appartiennent pas au même groupe.

Prenons l'exemple des oiseaux et des crocodiles, dans la classification Linnéenne, les crocodiles font partie des reptiles, or ce groupe ne comprend pas les oiseaux et pourtant avec la classification phylogénétique les oiseaux sont de plus proches parents des crocodiles que les reptiles.

La classification phylogénétique plus pertinente que la classification linnéenne reste plus complexe à établir et elle n'est pas forcément plus facile à utiliser et à comprendre. Maintenant nous allons pouvoir définir ce que l'on entend par insecte et quels sont réellement les organismes concernés par l'élevage d'insectes. Pour cela, nous nous baserons sur la classification Linnéenne (9).

Regardons maintenant la classification des insectes :

Figure 7 : Classification des animaux.



3.2 USAGES DES INSECTES :

L'utilisation des insectes sont multiples et vont sûrement encore se diversifier dans les années à venir. Actuellement, les usages les plus courants sont (10) :

3.2.1 USAGES INDUSTRIELS :

→L'apiculture qui est certainement l'élevage le plus répandu et le plus connu, les produits récoltés sont le miel, le pollen, la gelée royale, la cire...

→L'élevage de vers à soie pour la production de soie qui résulte du cocon de ce dernier. La soie est issue du cocon du vers qui est lui même le résultat d'une sécrétion de bave abondante qui en se solidifiant donne une enveloppe dure et fibreuse, le cocon. L'élevage du vers à soie s'appelle la sériciculture et le nom de cette espèce est le Bombyx du mûrier. Il faut noter que la larve du Bombyx est aussi consommée par l'homme en Asie.

Notons que ces deux exemples sont les élevages à grandes échelles les plus anciens que l'on connaisse. Précisons également que la sériciculture a vu le jour en Chine entre 3000 et 2000 ans avant J.C. L'élevage de cette espèce a été tel qu'actuellement le Bombyx du mûrier n'est plus adapté pour vivre dans son milieu naturel.

3.2.2 USAGE POUR LA LUTTE BIOLOGIQUE :

Certaines entreprises sont spécialisées dans la lutte contre des insectes ravageurs tel que le moucheron ravageur. En effet au lieu d'utiliser des insecticides conventionnels, on peut utiliser la coccinelle ou encore le trichogramme qui se nourrit des oeufs de moucheron. L'avantage de cette méthode est d'avoir une action ciblée qui s'autorégule dans le temps, à l'inverse des pesticides conventionnels qui bien souvent, ne ciblent pas qu'une espèce et souillent les cours d'eau et les nappes phréatiques.

3.2.3 USAGE PÉDAGOGIQUE ET SCIENTIFIQUE :

L'élevage d'insectes se fait dans des terrariums, où est contrôlé la température, l'humidité et le substrat de l'espèce. Cela permet d'observer le cycle de l'insecte et son mode de vie, de plus on peut réaliser très facilement ces élevages soi-même pour les enfants afin de changer leur vision des arthropodes.

3.2.4 USAGE PERSONNEL :

On voit de plus en plus d'insectes élevés comme des animaux de compagnie, on parle de NAC ou nouveau animaux de compagnie. Cela représente toutefois un investissement financier et personnel. Effectivement, l'éleveur doit veiller en premier lieu à la mise en place du terrarium, puis à l'hygiène de ce dernier, et enfin à l'approvisionnement en nourriture pour ses pensionnaires. De plus, chose très importante, il est interdit de relâcher des insectes d'élevage dans le milieu naturel qu'il s'agisse d'insectes endémiques ou exotiques. Dans le cas contraire, la personne s'expose à des poursuites judiciaires et surtout, elle expose l'environnement à un fort risque écologique.

3.2.5 USAGE ALIMENTAIRE :

La consommation humaine d'insecte est une habitude culturellement absente dans nos sociétés, pourtant il s'agit d'une pratique courante et même ancestrale dans beaucoup de pays, notamment en Afrique, Asie et Amérique centrale. Certains pays les utilisent même comme alternative à la malnutrition. Lorsque la viande est peu courante et inabordable, les insectes constituent une très bonne source de protéines, de minéraux et de vitamines.

3.2.6 USAGE MEDICAL :

Les insectes sont utilisés en médecine dans plusieurs domaines. On ne citera ici que quelques exemples. On utilise par exemple les asticots, larve de mouche pour la détersion des plaies, le miel des abeilles qui favorise la bonne cicatrisation d'une plaie, la gelée royale et le propolis pour ses propriétés immunostimulantes, ou bien le venin de certain hyménoptère comme les guêpes pour la fabrication de sérum en cas de piqûre par ces dernières. La liste présentée ici est loin d'être exhaustive de plus il n'y a aucun doute sur le fait que plusieurs thérapeutiques issues de l'usage d'insectes verront le jour dans les années à venir.

3.2.7 USAGE ALIMENTAIRE POUR D'AUTRES ESPÈCES :

Actuellement, on utilise surtout les insectes pour nourrir des reptiles en captivité, or l'usage d'insectes comme complément alimentaire pour toute espèce animale de compagnie est actuellement autorisé. En effet la législation considère que les animaux de compagnie n'étant pas destinés à la consommation humaine, leur alimentation peut provenir d'autres animaux (10).

En revanche en ce qui concerne l'élevage à destination humaine il n'est pas autorisé d'utiliser des compléments issus d'autres animaux considérés comme trop proches. Ceci étant dû en grande partie au scandale de la vache folle. Par contre l'usage de produits dérivés de l'élevage d'insectes est autorisé dans l'aquaculture depuis le 1 juillet 2017 (11).

Cette notion sera développée plus bas.

4 ELEVAGE D'INSECTES A USAGE ALIMENTAIRE :

4.1 LES ESPÈCES LES PLUS COMMUNES POUR L'ÉLEVAGE D'INSECTES :

Nous allons dans un premier temps présenter les espèces couramment consommées de par le monde, pour nous concentrer dans un second temps sur celles qui font actuellement déjà l'objet d'élevages industriels. Enfin nous finirons en présentant les espèces qui suscitent l'intérêt des industriels de par leurs caractéristiques nutritionnelles.

Il faut savoir que selon la FAO (Food and Agriculture Organization) des Nations Unies il y aurait environs 2000 insectes comestibles consommés à travers le monde (12).

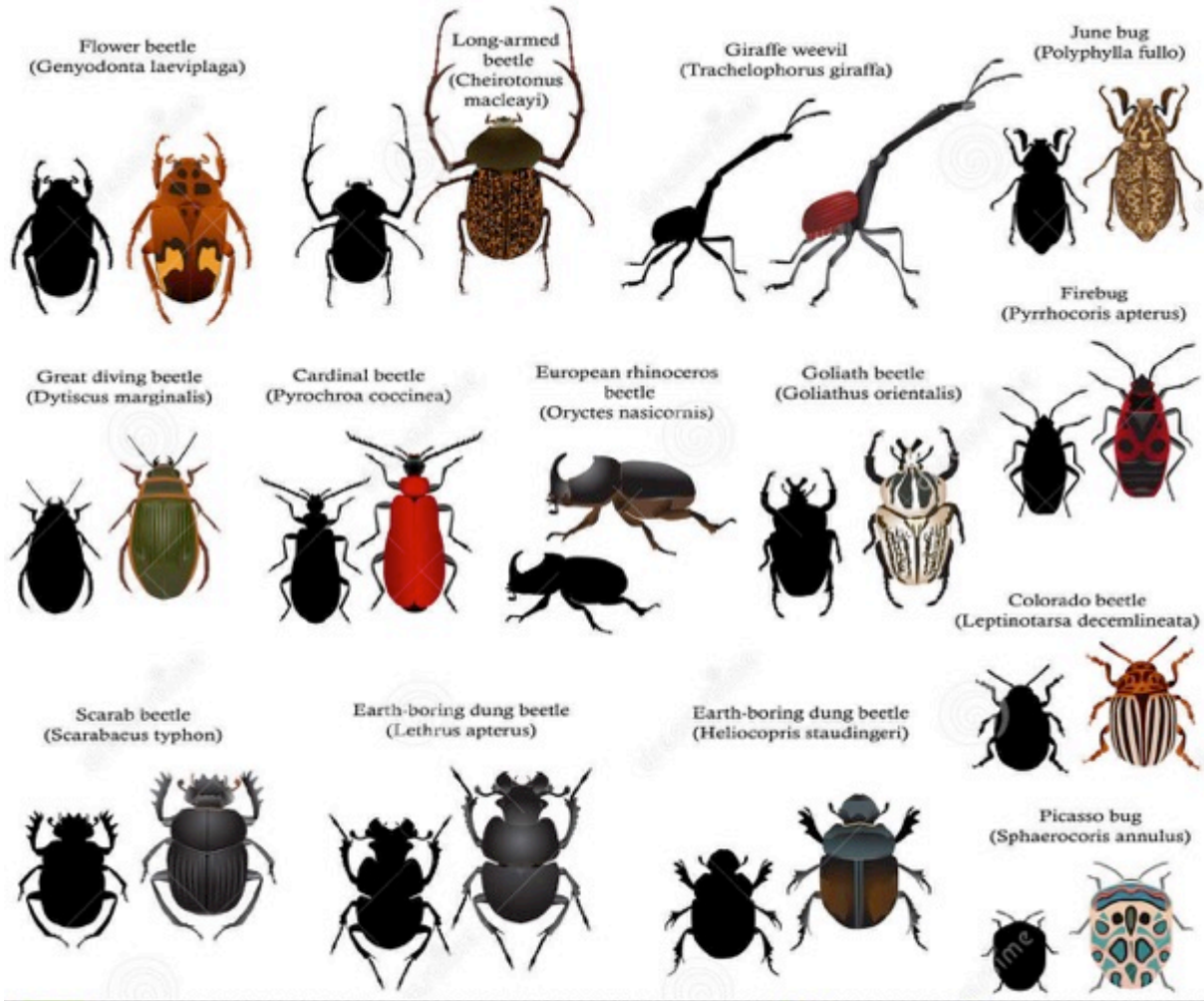
4.1.1 ESPÈCES COMMUNES POUR L'ÉLEVAGE :

A la tête des espèces les plus consommées dans le monde on trouve le groupe des Coléoptères (12).

→ Coleoptera : 31% des espèces consommées.

L'exemple le plus connu étant le ver de farine ou Ténébrion Molitor qui sera développé plus bas on a aussi dans cette famille le vers de palmier. Ces insectes sont consommés à l'état larvaire.

Figure 8 : Coléoptères.



Download from **Dreamstime.com**
This watermarked comp image is for previewing purposes only.

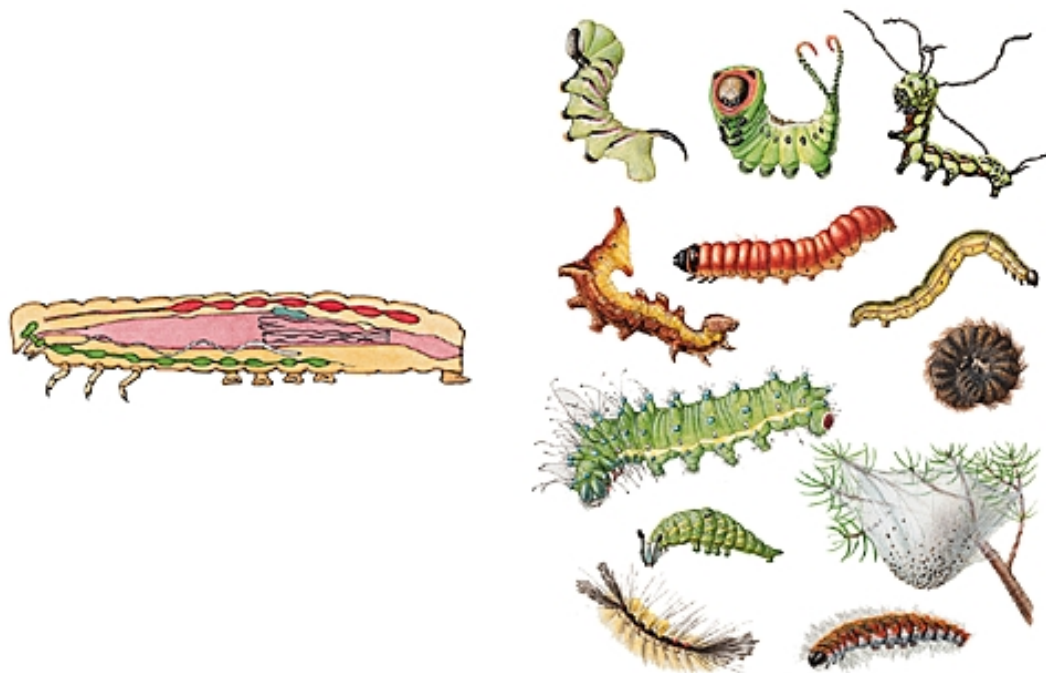
09745663
 Roman170976 | Dreamstime.com

Vient ensuite la famille des Lépidoptères, il s'agit de la famille des papillons, bien que la forme consommée soit le stade chenille (12).

→Lepidoptera : 18% des espèces consommées.

On trouve dans cette famille le célèbre vers à soie ou Bombyx du mûrier. Il est un des rares insectes à être utilisé de manière industrielle. En Asie, on l'utilise pour produire de la soie mais on le consomme également pour sa chair.

Figure 9 : Lépidoptères au stade chenille.

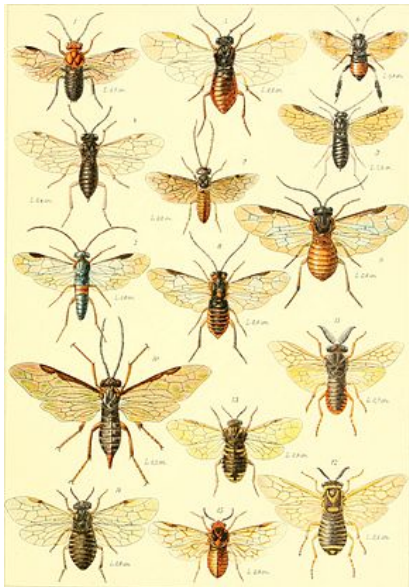


La troisième position est occupée par les Hyménoptères (12).

→Hymenoptera : 14% des espèces consommées.

Dans cette famille, les espèces les plus consommées sont les fourmis, les abeilles et les guêpes. Elles sont surtout consommées en Amérique latine et en Asie.

Figure 10 : Hyménoptères.

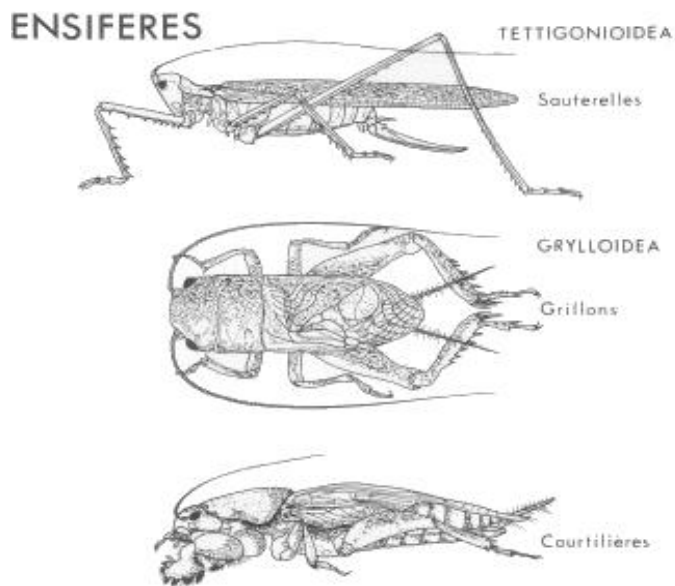


La quatrième place revient à la famille des Orthoptères (12).

→Orthoptera : 13% des espèces consommées.

Il s'agit des criquets, grillons (*Acheta domesticus*), sauterelles. Ils sont mangés par l'homme au Mexique, en Afrique subsaharienne et en Asie.

Figure 11 : Orthoptères.

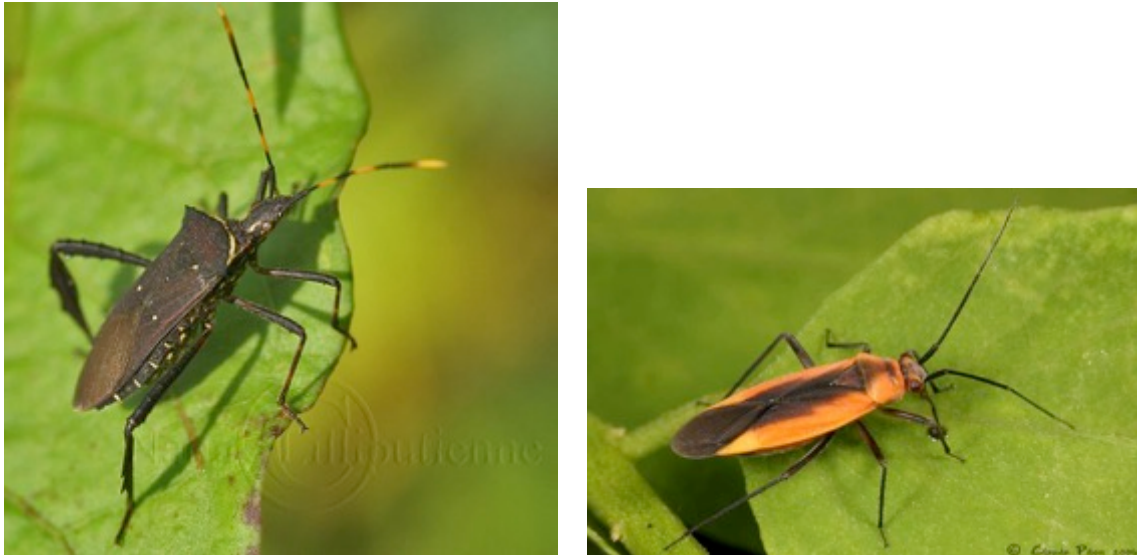


Et pour finir on a les Hémiptères (12).

→Hemiptera : 10% des espèces consommées.

On a dans cette famille la punaise et la cochenille pour ne citer que les plus connues. De plus, la cochenille permet d'obtenir un colorant alimentaire, le rouge cochenille ou E120. On le retrouve dans de nombreux produits de l'agroalimentaire comme le saucisson, les sodas, les confiseries... Ce qui fait certainement de la cochenille, l'insecte le plus consommé en Europe.

Figure 12 : Hémiptères.



4.2 LES DIFFERENTS TYPES D'ÉLEVAGES D'INSECTES :

Dans de nombreux pays asiatiques, africains et sud-américains, la consommation d'insectes est issue d'une collecte des insectes sauvages (termites, fourmis, larves, chenilles, criquets) qui 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. Il est donc nécessaire pour le développement de l'entomophagie et sa pérennité d'instaurer des règles qui encadrent la pratique, aussi bien vis à vis de la ressource que des consommateurs.

Le recours à l'élevage, en créant une filière à part entière avec ses propres exigences et attentes, semble être la solution la plus adaptée à une production de masse (13).

En France, la détention ou l'acquisition, d'espèces non domestiques est officiellement réglementées. Cela est consultable pour toute personne sur le site web du Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie dans la rubrique faune sauvage captive. En effet, les insectes sont considérés comme n'étant pas des animaux domestiques par la loi.

De plus, il faut au regard de la loi différencier les types d'élevages possibles. On a les élevages que l'on peut considérer d'occasionnels on parle d'élevages d'agrément et les élevages industriels ou pédagogiques grand public. Ce qui va différencier ces élevages c'est donc d'une part leur finalité et concrètement, les obligations au regard de la loi qui ont pour objectif d'encadrer cette pratique.

4.2.1 L'ELEVAGE D'AGREMENT:

ASPECT LÉGISLATIF :

On a principalement un encadrement visant à définir des bonnes pratiques pour les insectes et leurs propriétaires.

L'élevage d'agrément est défini par la loi comme tel :

-insecte non domestique, non protégé, non nuisible, non dangereux.

-l'élevage doit être à des fins personnels, à but non lucratif, en petit effectif et ne concernant pas la présentation au public.

Dans ce cas il n'est pas formellement obligatoire de se déclarer aux instances compétentes et d'engager des démarches administratives. En effet, les insectes ne faisant pas partie des animaux domestiques il y a normalement un encadrement prévu par la loi. Malgré tout la pratique est tolérée si elle respecte les conditions mentionnées ci-dessus. Il est à noter aussi que l'élevage d'agrément est autorisé en milieu scolaire si les conditions précédentes sont respectées.

4.2.2 L'ÉLEVAGE PROFESSIONNEL :

Deux textes réglementent ce type d'élevage. Il y a l'arrêté du 11 août 2006 et l'arrêté du 10 août 2004.

A savoir que l'arrêté du 11 août 2006 fixe la liste des espèces, races ou variétés d'animaux domestiques. Or on sait que les insectes ne font pas partie de cette liste ce qui nous amène au deuxième arrêté.

En effet, l'arrêté du 10 août 2004 précise les règles générales de fonctionnement des installations d'élevages d'animaux d'espèces non domestiques.

Cet arrêté régit l'instruction des demandes d'autorisation de détention d'espèces non domestiques.

Il est dit que les établissements voulant se lancer dans un élevage de ce type doivent avant toute chose posséder un certificat de capacité. Cela atteste que l'établissement possède au moins une personne dans son équipe avec les compétences requises pour gérer de telles espèces.

Ensuite, l'établissement fait une demande d'ouverture qui est accordée ou non par le Préfet. A ce stade, il y a une inspection des installations et une vérification de la conformité de ces dernières. Enfin, si l'établissement détient des espèces appartenant à la liste des espèces protégées ou dangereuses pour l'homme, il doit posséder une autorisation de détention.

Lorsque l'établissement réuni toutes ces conditions, il peut prétendre à l'élevage d'insectes.

Bien souvent, les éleveurs se rapprochent de la direction des services vétérinaires DDSV, qui sont intégrés depuis 2010 à la DDCSPP soit la direction départementale de la cohésion sociale et de la protection des populations (14).

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'insectes. 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 (13).

4.2.2.1 EXEMPLE D'ÉLEVAGE D'AGRÉMENT :

4.2.2.1.1 L'élevage de criquets :

Dans un premier temps, il faut sélectionner l'espèce que l'on va élever.

Il existe plusieurs types d'espèces de criquets. Comme vu précédemment, les criquets font partie de la famille des Orthoptères, il existe environ 7000 espèces de criquets à travers le monde dont une dizaine d'espèces dites locustes, c'est-à-dire migratrices, de plus on observe deux types d'espèces, une solitaire et une grégaire c'est-à-dire qui vit en groupe.

Les espèces migratrices et grégaires sont responsables des dévastations de cultures particulièrement en Afrique. Cela survient lorsque ces espèces se reproduisent rapidement, elles consomment donc les cultures sur place et migrent quand celles-ci viennent à manquer. Les criquets se nourrissent exclusivement de végétaux.

Pour l'élevage de criquets, il faut suivre les étapes suivantes.

L'éleveur doit se procurer un petit nombre d'individus ou cheptel. Pour cela il peut s'adresser à des magasins spécialisés type animalerie ou tout simplement faire une récolte de spécimens dans leur milieu naturel. Les deux espèces les plus souvent retrouvées sont *Locusta migratoria* et *Schistocerca gregaria*.

Ensuite, l'éleveur devra reproduire les conditions de l'environnement du criquet. Il doit créer un vivarium pour cela, on doit se procurer le matériel suivant :

- Un aquarium de taille moyenne.
- Un sac de terreau.
- Un sac de sable fin.
- Une planche avec des trous de 4 à 8 cm de diamètre.
- Une bouteille en plastique coupée à 8cm de hauteur.
- Des spots halogènes de 12V 15W.
- Une moustiquaire en aluminium.
- Des branchages secs.
- Un programmeur.

La mise en oeuvre est ensuite simple :

Il faut préparer le vivarium donc dans l'aquarium on met au fond un mélange à 50% de terreau et de sable fin.

Ensuite on installe les branchages qui ont pour but de permettre aux criquets de se cacher et de jouer.

La bouteille en plastique doit être remplie d'eau, son évaporation va permettre d'humidifier le milieu.

Les spots halogènes doivent être placés en hauteur et reliés au programmeur pour mimer le cycle jour/nuit.

On referme le bac avec la planche trouée recouverte par la moustiquaire en aluminium. Les moustiquaires en aluminium sont plus résistantes que celles en nylon, en effet, les criquets en tendance à manger le nylon, des brèches peuvent apparaître aboutissant à une évvasion de certains individus.

Enfin, il est conseillé d'exposer l'élevage le plus souvent possible à la lumière du jour. Cette dernière étant bénéfique à la croissance des criquets.

La nourriture du criquet étant exclusivement végétale, on peut lui donner de l'herbe ou des graminées comme le blé, des morceaux de fruit peuvent être aussi intégrés occasionnellement pour varier.

Le vivarium doit être nettoyé une à deux fois minimum par semaine.

Si il y a des naissances, il faut savoir que les oeufs éclosent sous dix jours et que les adultes s'ils sont suffisamment nourris ne s'attaquent pas aux larves.

De plus la température optimale pour ce type d'élevage est de 20° le jour et 18° la nuit.

Pour ce qui est de la consommation de criquets, ces derniers ne nécessitent pas de traitements spécifiques. En effet, il suffit d'abattre les individus et de les cuire pour ensuite les déguster. Toutefois la congélation des individus pour les abattre est conseillée, cela permet une meilleure gestion du cheptel et également de tuer certains germes possiblement présents. Bien souvent les individus sont ensuite frits ce qui permet là aussi de limiter les problèmes de sécurité alimentaire. On peut les frire dans de l'huile ou même du beurre (15). Cette notion sera développée plus bas.

Règles générales à respecter pour consommer ces propres insectes :

Ces règles sont applicables pour tous les élevages que nous allons décrire.

Dans ce cas il s'agit d'une consommation humaine personnelle puisque l'on est sur un élevage d'agrément. Quelques précautions doivent être prises. En effet, les individus de la première génération ne doivent jamais être consommés quelque soit leur provenance. Les individus achetés en animalerie ont un régime alimentaire à base de croquettes et ceux pris dans leur habitat naturel peuvent être contaminés par différentes substances. Les insectes peuvent donc accumuler des substances toxiques pour l'homme qui à dose élevée sont dangereuses pour notre santé.

Effectivement, les insectes, comme tout être vivant concentrent les toxiques et ceux-ci peuvent être d'autant plus variés et inattendus que les insectes ont colonisés tous les espaces possibles et imaginables de la Terre. On peut donc s'attendre à retrouver des pesticides, des métaux lourds, des virus, des bactéries, et pourquoi pas de la radioactivité.

On conseille dans un premier temps de faire attention à la provenance des individus du cheptel et d'attendre au moins la deuxième génération d'individus pour la consommation. Certains spécialistes recommandent même d'attendre la deuxième voire la troisième génération pour se lancer dans la consommation de son élevage.

La solution, qui permet d'écartier tous soupçons est une analyse nutritionnelle avec recherche de toxiques complète. Mais celle-ci est laborieuse et coûteuse donc souvent peu pratiquée dans les élevages d'agrément. En revanche elle est obligatoire pour tout élevage industriel (16).

4.2.2.1.2 L'élevage de grillons :

Tout d'abord, il faut savoir que le grillon est un insecte bruyant donc il vaut mieux éloigner l'élevage de son lieu de vie.

Il est aussi important de préparer deux bacs distincts, un pour les adultes et l'autre pour les « enfants », en effet les grillons sont cannibales, ils s'attaquent à leur progéniture. Le bac pour adulte sera appelé le bac central et celui des enfants la nursery.

Pour se procurer les individus, il suffit de faire la même chose que pour les criquets, donc soit en animalerie, soit dans le milieu naturel. Il convient également de respecter les règles édictées pour la consommation humaine.

Ensuite, pour le bac central on doit se procurer:

- Un vivarium, un bac plastique aéré fera l'affaire.
- Il faut de la sciure ou des copeaux de bois sans produits chimiques.
- Une soucoupe pour l'eau.
- Des boites d'oeufs pour l'habitat.

La nursery nécessite :

- Un petit bac.
- Une moustiquaire pour favoriser les naissances.
- Du sable de rivière.

L'installation du bac central est la suivante. Il faut étaler la sciure ou les copeaux de bois au fond du bac mettre la soucoupe d'eau dans un coin et les boites d'oeufs dans un autre coin.

L'installation de la nursery est similaire, on met le sable de rivière au fond du bac puis l'eau et la moustiquaire pour favoriser les naissances lors de la ponte des femelles.

Les élevages doivent être dans un lieu où la température est comprise entre 20° et 30°, de plus la lumière favorise le développement de l'élevage donc il faut mettre l'élevage à la lumière du jour ou installer un spot lumineux reproduisant le cycle jour nuit.

L'alimentation des grillons est très variée, effectivement, les grillons mangent de tout. On peut donner des fruits coupés en petit morceaux, comme des pommes, de l'ananas, des légumes, de la viande et du pain peuvent aussi être utilisés mais toujours en petit morceaux. Il est recommandé de varier leur alimentation.

Pour la nursery, il est conseillé de garder les individus deux mois à l'écart des adultes au risque de les voir se faire dévorer même si ces derniers sont bien nourris.

Le nettoyage des bacs doit être fait au moins une fois par semaine et les cadavres doivent être retirés (17).

4.2.2.1.3 L'élevage de ver de farine :

Le vers de farine Molitor est en réalité la larve du ténébrion meunier. Le ténébrion meunier est un scarabée de couleur noir pour les adultes et mesurant environ 1,5 cm, il est de couleur brun-orangé dans sa forme juvénile. Il fait partie de l'ordre des Coléoptères et de la famille des Ténébrionidés. Il s'agit d'un insecte cosmopolite certainement originaire d'Europe et qui a du être introduit sur les autres continents lors d'échanges commerciaux. En effet, la larve ainsi que le scarabée se nourrissent dans la nature de blé mais ils sont particulièrement friands de la farine de ce dernier. Il n'est donc pas rare de le retrouver dans les boulangeries. Une particularité de cette espèce est qu'elle peut s'hydrater grâce à l'eau atmosphérique et également l'eau contenue dans des aliments très desséchés ; ceci est valable pour l'état larvaire et adulte.

Pour débiter un élevage de vers de farine Molitor, la première étape est la même que vue précédemment. Il faut se procurer des individus et cela est possible dans les animaleries. Attention toutefois à vérifier l'état des larves, cette espèce étant très sensible aux insecticides et autres toxiques, il est donc recommandé d'observer la bonne santé des larves en observant leurs mouvements, un cheptel en bonne santé se caractérise par des larves très actives. Egalement la première génération d'individus ne doit en aucun cas être consommée.

Le matériel nécessaire au lancement d'un tel élevage est le suivant :

- Un vivarium clos pour éviter que les larves ne s'échappent. Il doit tout de même être pourvu de micro-aérations.
- Un vivarium secondaire identique au premier pour isoler les nymphes, au risque de les voir se faire dévorer par les larves.
- De la sciure ou des copeaux de bois qui doivent être exsangues de tous pesticides ou produits chimiques afin d'éviter la contamination de l'élevage.

La mise en place de l'élevage est très simple il faut disposer la sciure ou les copeaux de bois au fond du vivarium et que celle-ci soit la plus plane possible, cela est valable pour les deux vivariums.

Ensuite il suffit de respecter quelques règles sur l'alimentation et l'environnement des larves.

Il est nécessaire d'apporter l'eau aux larves par l'humidification de la sciure et l'ajout de légumes toutes les semaines. On doit également veiller à ce que la température soit comprise entre 25° et 28° et enfin, l'élevage doit être placé à un endroit où règne une faible lumière, un trop fort ensoleillement leurs serait néfaste autant que la pénombre totale.

En ce qui concerne l'alimentation, des croquettes pour animaux de compagnie est suffisante si l'élevage n'est pas destiné à la consommation humaine sinon des morceaux de pain et du riz doivent être envisagés.

Il est à noter que les nymphes devront être séparées du vivarium où sont élevées les larves, elles serviront à reconstituer le cheptel.

On peut dans certains cas voir l'élevage décliner, souvent la cause est un manque d'humidification du milieu donc ne pas hésiter à mouiller les légumes introduits et à augmenter la ration ; d'autres causes peuvent être la source du problème, comme un substrat (sciure ou copeaux de bois) ou des légumes souillés par des pesticides ou d'autres toxiques.

Dans ce cas il est recommandé de rincer longuement les légumes et de changer le substrat en ayant préalablement nettoyé le vivarium avant la mise en place d'un nouveau substrat.

Pour la consommation, les larves atteignent leur maturité environ un mois après leur naissance ce qui est le moment idéal pour les abattre et les consommer. La larve de Ténébrion est un des insectes avec le plus de perspectives car son goût est légèrement sucré et sa chaire tendre, ce qui est un atout de taille (18).

4.2.2.1.4 L'élevage du ver de Morio:

L'élevage qui va être décrit ici n'a pas vocation à être consommé par l'homme. La larve de Morio est souvent utilisée pour nourrir les reptiles. Elle est physiquement très proche de celle du Ténébrion d'où l'intérêt de la présenter ici afin d'éviter toute confusion.

Ce qui caractérise cet élevage c'est le fait que le passage de l'état larvaire à l'état adulte nécessite une mise en oeuvre particulière et si celle-ci n'est pas respectée, il n'y aura pas de ponte et donc pas de renouvellement possible des individus.

En effet, pour que la larve mue et devienne adulte il faut l'isoler. Pour cela, on procède de la manière suivante :

-Il faut séparer les larves. Dans un premier temps on les met dans un petit carton préalablement percé pour qu'elles ne s'étouffent pas et on les prive de nourriture pendant 3 à 4 semaines. Il faut maintenir une température d'environ 25°.

Figure 13 : Zoophobas Morios Larve.



ZOOPHOBAS MORIOS

A la suite de cette opération, les larves sont devenues nymphes puis adultes. L'adulte ne peut être consommé, il a l'aspect d'un petit coléoptère d'environ 2,5 cm de long.

Figure 14: Zoophobas Morios Adulte.



COLÉOPTÈRE
ZOOFOBAS MORIOS

Les adultes, sont ensuite mis dans un vivarium où une alimentation et des conditions favorables à leur développement permettront la ponte (19).

DIFFÉRENCES ENTRE LE VER DE MORIO ET LE VER DE FARINE :

Figure 15 : Différences entre le ver de Morio et le ver de farine.



VER MORIO
(ZOOFOBAS MORIO)



VER DE FARINE
(TENEBRIO MOLITOR)

Les différences entre le ver de Morio et le ver de farine Molitor sont minces cependant on note :

-La larve de Morio est liée au bois, il s'agit d'un ver à bois alors que la larve Molitor est liée à la farine.

-Ces deux espèces n'ont pas la même saveur.

-Pour finir, le ver de farine Molitor peu faire jusqu'à 1cm de long maximum alors que le ver de Morio atteint très facilement cette taille et souvent plus ; en effet à l'oeil nu on peut voir que le ver de Morio est plus long et dodu que le ver de farine Molitor (16).

4.2.2.2 EXEMPLE D'ÉLEVAGES PROFESSIONNELS DE TYPE INDUSTRIEL :

Les élevages de types professionnels sont définis par la loi comme cités plus haut, à savoir :

-Posséder un certificat de capacité et avoir l'autorisation préfectorale attestant de la conformité des installations.

-Cela sous entend que la destination de ces élevages n'est pas personnel (consommation personnel ou NAC), la finalité est commerciale, et peut prendre divers aspects : consommation alimentaire, présentation au grand publique, application textile, industrielle ...

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.

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.

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.

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. Les orthoptères (criquets, sauterelles et grillons) sont également employés en raison de leur abondance et disponibilité géographique. 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 (13).

4.2.2.2.1 Systèmes d'élevage des insectes comestibles :

Les techniques d'élevages industriels d'insectes comestibles, ne diffèrent pas tellement de celles vues pour l'élevage d'agrément. Nous verrons ici que le fait de passer d'un élevage d'agrément à un élevage industriel implique la notion supplémentaire d'optimisation qui est nécessaire lorsque l'on s'inscrit dans une optique de rentabilité et de production de masse. En effet, nous allons détailler les caractéristiques de l'élevage d'insectes en général avec une vision industrielle, contrairement à ce qui a pu être décrit plus haut.

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 comme vu plus haut, 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 (13).

4.2.2.2.2 L'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 (13).

4.2.2.2.3 L'apiculture :

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). Dans les pays tropicaux, les populations consomment en plus du miel, le couvain (larves et pupes) d'abeille (13).

L'apiculture ne rentre pas dans le cadre de la consommation d'insectes à proprement parlé cependant, cette pratique est la plus ancienne méthode d'élevage d'insectes par l'homme connue à ce jour ce qui nous amène à la décrire ici brièvement.

Définition : L'apiculture fait partie du domaine de l'agriculture, elle consiste à élever des abeilles à miel dans le but d'exploiter les différents produits de la ruche à savoir le miel, la cire d'abeille, la gelée royale... (20)

Il faut cependant distinguer deux activités dans l'apiculture, il y a la production et l'exploitation des différents produits de la ruche et l'élevage d'essaim d'abeilles qui permet la pérennité d'une exploitation.

En effet, il faut savoir qu'un essaim est organisé autour de la reine et donc par conséquence sa durée de vie est limitée car elle correspond à la durée de vie de cette dernière.

Pour comprendre l'apiculture, il faut connaître la vie d'une colonie que nous allons décrire brièvement ici.

La vie d'une colonie :

Les espèces d'abeilles les plus courantes domestiquées par l'homme sont : *Apis mellifera*, *Apis cerana* et *Apis meliponini*.

On parle d'insectes ayant un comportement eusocial, les abeilles possèdent un instinct de survie en tant qu'individu, mais elles vont en premier lieu défendre la colonie même si cela entraîne leur mort.

Une colonie est composée de plusieurs types d'individus qui ont tous un rôle bien défini. On distingue donc la reine qui est l'individu central d'une colonie, elle est unique et c'est une femelle, on trouve ensuite les ouvrières qui sont nombreuses, elles sont également des femelles, il y a ensuite ce que l'on appelle un harem de faux-bourdon qui eux sont des mâles et enfin, on trouve les oeufs, larves et nymphes.

Figure 16 : Aspects des faux bourdons, reines et ouvrières.



Les ouvrières d'une ruche vont récolter le nectar de fleurs, le pollen, la propolis ; elles vont aussi jouer un rôle dans l'organisation de la vie de la ruche, à savoir défendre la ruche contre d'éventuels prédateurs (ours, frelon ...), gérer les oeufs, larves et nymphes, protéger et nourrir la reine.

Les reines quant à elles, peuvent se reproduire de manière sexuée ou de manière asexuée et leur fonction principale est de maintenir voir augmenter le nombre d'individus au sein de l'essaim.

La reproduction sexuée se fait avec les faux-bourçons ce qui permet un brassage génétique et aboutit à la naissance d'ouvrières.

Ensuite on a une reproduction asexuée de la reine pour transmettre son génome. La reproduction asexuée génère les faux-bourçons, ils possèdent le patrimoine génétique de la reine et vont en fécondant d'autres reines transmettre une partie de leur patrimoine aux ouvrières d'un autre essaim.

Pour comprendre l'intérêt des faux-bourçons il faut intégrer une notion supplémentaire dans la vie de la ruche.

En effet, les reines donnent naissance à des ouvrières de façon sexuée, donc ces dernières ont un génome différent de la reine. Le brassage génétique de l'espèce passe donc par cette étape de la vie d'une colonie.

Les reines sont issues des mêmes oeufs que les ouvrières seulement elles sont nourries de gelée royale alors que les ouvrières sont nourries de gelée nourricière. La gelée royale est le produit du système glandulaire céphalique des abeilles ouvrières, sa composition est la suivante : 4,5% de lipides, 14,5 de sucre, majoritairement du glucose et du fructose, 13% de protides (acides aminés libres ou combinés).

Durant toute sa vie, la reine n'aura de cesse de maintenir son rôle de génitrice dans la colonie, en effet elle sécrètera des phéromones pour empêcher le développement des ouvrières en reine. Les ouvrières ont juste des organes génitaux atrophiés.

La naissance d'une reine intervient sous la pression de plusieurs facteurs, le vieillissement de la reine d'une ruche (moins de phéromones sécrétées), la saison, la mort subite ...

D'autres points auraient pu être approfondis comme l'essaimage, le processus de reproduction des faux-bourçons avec les reines, le choix des emplacements des essaims, le comportement des ouvrières, le comportement d'un essaim ... Cela n'étant pas l'objet de fond de cette thèse seul le quotidien de la colonie a été décrit (21).

Les ouvrières sont donc les individus de la ruche qui vont être à l'origine des différents produits récoltés par l'apiculteur.

La récolte du miel se fait en deux étapes : la récolte du miel au rucher dans un premier temps puis le travail à la miellerie.

4.2.2.2.4 L'élevage du Bombyx du mûrier

Le Bombyx du mûrier, ou Bombyx mori appartient à l'ordre des Lépidoptères ; il est originaire du Nord de la Chine, principalement élevé pour la production de soie, il est également utilisé dans d'autres domaines, notamment dans le domaine médical et alimentaire.

On appelle sériciculture l'activité qui consiste à élever le Bombyx dans le but de produire de la soie. Aujourd'hui, le Bombyx du mûrier est inconnu à l'état sauvage, la sélection des individus aux cours des siècles par l'élevage en est la cause.

C'est au stade chenille que le bombyx produit la précieuse fibre. Il sécrète une bave abondante qui, en durcissant, se transforme en un fil unique de soie brute avec lequel la chenille se fabrique un cocon. Ce fil mesure entre 800 et 1500 mètres de long. La soie est produite par des glandes spécialisées, dites séricigènes.

La chenille :

Elle est composée de douze segments, tous les segments présentent de chaque côtés une rangée de stigmates. De plus, on observe une paire de pattes sur les trois premiers segments qui resteront en place au stade adulte. Les segments six à neuf portent des pattes membraneuses armées d'éperons permettant l'accroche de la larve aux feuilles. L'avant dernier segment possède sur sa face supérieure un éperon dirigé vers l'arrière.

L'alimentation préférée du vers à soie est la feuille du mûrier blanc, donnant la soie de meilleure qualité. D'autres mûriers (*Morus nigra*, *Morus rubra*, *Morus bombycis*...) ainsi que certaines autres plantes comme les orangers peuvent nourrir le Bombyx.

La chenille à la sortie de l'œuf a une taille d'environ deux à trois millimètres, elle est couverte de poils et subit quatre mues puis, après avoir tissé son cocon, elle se transforme en chrysalide à l'intérieur. Sa croissance est considérable et peut se résumer dans le tableau suivant :

Figure 17 : Croissance de la chenille du Bombyx du mûrier

Croissance de la chenille		
	Longueur de la larve en mm.	Poids en mg.
éclosion	3.5	0,5
sortie 1 ^{re} mue	8	15
sortie 2 ^e mue	15	45
sortie 3 ^e mue	28	400
sortie 4 ^e mue	40	1600
à la plus grande taille	80	9500

Ces chiffres peuvent varier en fonction des races, des conditions d'élevage etc.

L'anatomie diffère peu de celle des autres chenilles de lépidoptères, l'appareil digestif est constitué par un long canal cylindrique comportant œsophage, estomac et intestin. La circulation du sang est assurée par un vaisseau dorsal présentant plusieurs renflements. Le sang circule d'arrière en avant.

Le papillon :

Une grande variété de lignées et de races de papillons existent. Ils diffèrent par leur couleur, leur qualité de soie, la dimension et la forme de leur cocon et le nombre de générations annuelles.

En modifiant génétiquement l'espèce, des chercheurs ont réussi à produire des cocons si grands et si durs que les papillons ne peuvent pas s'en échapper sans aide extérieure.

Le papillon mâle ou femelle a une activité nocturne. Les espèces, toutes domestiques actuellement comme dit plus haut, présentent les caractères suivants :

-Pour les femelles, le papillon ne vole pas, il possède des ailes blanches, des antennes peu développées et un abdomen volumineux.

-Le mâle lui est plus petit, ses ailes sont grises et il les agite continuellement, en revanche ses antennes sont très développées pour lui permettre de détecter les phéromones des femelles ce qui favorise l'accouplement. Cette phéromone est appelée BOMBYKOL, elle est très importante car rappelons le pour l'accouplement seul le mâle est en mesure de se déplacer.

Usage médical :

En médecine traditionnelle chinoise on utilise le corps séché de la larve morte infectée d'un champignon, le *Beauveria bassiana*. Les chinois utilisent ce remède pour plusieurs symptômes, notamment ceux de la grippe mais aussi pour les spasmes.

Usage alimentaire :

Les larves de ver à soie sont très consommées dans certains pays d'Asie, elles sont cuites à la vapeur ou bouillies. Il s'agit d'un met très fréquent en Corée.

De plus le ver à soie est aussi utilisé pour ses qualités nutritives dans l'alimentation animale et plus particulièrement en terrariophilie (22).

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. 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.

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 (13).

4.2.2.2.5 La cochenille :

Dans l'industrie agroalimentaire et en cosmétique, on utilise le colorant E120 extrait de la cochenille, *Dactylopius coccus*. Cette dernière produit l'acide carminique qui la protège des insectes prédateurs. L'acide carminique provient du corps et des œufs de cet insecte. Il est utilisé comme 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 (13).

5 CONTRAINTES ET AVANTAGES :

Il est ici question d'énumérer les différents avantages et contraintes de la filière insecte. Certains sujets feront l'objet d'une explication plus approfondie d'autres n'étant pas le sujet de fond de cette thèse ne seront évoqués que brièvement. L'objectif de cette partie est donc d'avoir une vue d'ensemble de la pratique afin de pouvoir l'appréhender dans toutes ses dimensions.

5.1 AVANTAGES:

- Productivité.
- Mise en oeuvre facile.
- Coût.
- Usages multiples.
- Nutrition humaine et animale à grande échelle envisageable.
- Pollution faible.
- Rentabilité.
- Nombreuses espèces à exploiter.

5.2 CONTRAINTES :

- Législation.
- Recul.
- Toxicité.
- Culture.
- Encadrement flou.
- Environnement.

6 ALIMENTATION HUMAINE :

On distingue deux types de consommation humaine des insectes dans le monde ; une consommation intentionnelle et une consommation non intentionnelle.

6.1 CONSOMMATION INTENTIONNELLE :

Actuellement, 2086 espèces d'insectes sont consommées par environ 3071 groupes ethniques dans 130 pays du monde.

Les pays tropicaux d'Afrique, d'Asie, d'Australie et d'Amérique du Sud, pratiquent l'entomophagie depuis longtemps. En effet, les populations rurales, trouvaient dans les insectes récoltés en pleine nature une source de protéines abondantes et très bon marché. Elle a ensuite gagné les villes fréquemment surpeuplées de ces différents pays, souvent à destination des populations urbaines les plus pauvres, résultant de l'exode rural. Si la collecte des insectes comestibles perdure encore dans les zones rurales, elle a fait place à une industrie de production de masse, 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 (13).

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.

6.2 CONSOMMATION NON INTENTIONNELLE :

Il s'agit d'une réalité, la présence de résidus d'insectes dans notre alimentation de tous les jours est inévitable. Toutefois il a été défini par la Food Drug Administration (FDA) des tolérances à respecter par l'industrie agro-alimentaire pour ce type de défauts naturels.

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'insectes par masse d'échantillon. 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(13).

Voici quelques exemples d'aliments que nous consommons au quotidien contenant des insectes:

-Le beurre de cacahuète : la législation autorise jusqu'à 30 résidus d'insectes par 100 grammes.

-Boisson lactée aux fruits rouges et bâtonnets de poisson surimi : utilisation de la cochenille pour colorer la boisson aux fruits rouges et les bâtonnets de poisson. Le colorant E120 (cochenille) est autorisé en France.

-Les vermicelles arc-en-ciel : pour rendre les vermicelles bien luisants et croustillants, la punaise d'eau originaire d'Inde est utilisée.

-Les épinards : 50 résidus d'insectes sont autorisés pour 100 grammes d'épinards.

-La bière : le houblon pour créer la bière peut contenir 250 petits insectes pour 100 grammes (23).

6.3 CONSOMMATION DANS LES PAYS OCCIDENTAUX :

Dans les pays occidentaux, bien que les avantages de l'entomophagie soient reconnus, les insectes comestibles inspirent dans une large majorité méfiance, peur et dégoût du consommateur. Ce rejet demeure l'un des plus grands obstacles à l'adoption des insectes, source très prometteuse de protéines.

Il s'agit simplement d'un problème sociétal basé sur l'éducation et la culture occidentale qui amène la population à déconsidérer l'intérêt culinaire des insectes. Pourtant ces derniers représentent une source alimentaire fiable et abondante qui pourrait bien être une solution aux besoins alimentaires de l'humanité dans l'avenir.

L'entomophagie n'est pas prête à être acceptée par la population occidentale d'un point de vue psychologique. Il faut créer une culture entomophagique de toute pièce à partir de modèles existants adaptés à nos sociétés. Cette alternative à l'alimentation traditionnelle se révèle être un vrai défi qui peut être s'imposera à nous dans quelques années.

Il ne faut pas oublier quelques exemples de changement ou plutôt d'adoption très rapide par nos sociétés de modèles alimentaires qui maintenant possèdent le statut d'habitude alimentaire. En effet dans le monde globalisé dans lequel nous vivons, les échanges entre les différentes cultures se font plus rapidement. La consommation de poisson cru sous forme de sushi en est l'exemple flagrant, personne n'aurait pu anticiper l'engouement pour cette manière de consommer le poisson. L'acceptation des insectes dans nos assiette n'est peut être pas si loin.

Les recommandations de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture mentionnent depuis 2013 l'intérêt des insectes dans un rapport détaillé qui explique la contribution des insectes à la sécurité alimentaire, aux moyens de subsistance et à l'environnement (12).

De plus, l'ONU travaille sur le sujet afin de convaincre les consommateurs que les insectes sont une véritable alternative alimentaire. Egalement, la FAO communique de plus en plus par le biais de publications, de réunions et d'un portail internet sur les insectes comestibles. Une sensibilisation sur le rôle des insectes a également commencé grâce aux médias.

Concrètement, cette sensibilisation aux insectes passe par des forums publics, des dégustations, et par les chefs cuisiniers qui doivent expliquer la valeur nutritionnelle des insectes et les faire apprécier.

En effet seul des recettes savoureuses et variées pourront séduire le consommateur et à terme déboucher sur l'adoption de cette pratique alimentaire par nos sociétés.

Depuis les années 2010 la demande en insectes comestibles par les consommateurs occidentaux est en constante augmentation, cependant il faut noter qu'il s'agit pour beaucoup de curiosité et de consommation ponctuelle.

La plage gustative des insectes est assez variée. On trouve différents goûts et aspects chez les insectes. Les accommoder à d'autres ingrédients est donc facile, laissant un large panel de possibilités dans les formes et les saveurs à proposer au consommateur. D'autres consommateurs prôneront le goût des insectes nature et diront qu'il est dommage de le masquer car celui-ci peut être très appétissant et intéressant.

Toutefois, avant de consommer un insecte il faut s'assurer que celui-ci est comestible. Une règle générale à avoir en tête est qu'il faut éviter les insectes très colorés. La couleur est le signe que ces espèces n'ont pas beaucoup de prédateurs dans la nature soit à cause d'un goût amer ou d'une défense quelconque (physique, chimique, les deux...). Ainsi les coccinelles ne seront pas les plus appréciées.

Voici un panel de goût pour les insectes comestibles les plus consommés.

Table 3 : Saveurs des insectes selon l'Agence culinaire Chef & Flo

INSECTES	GOÛTS
Criquets	Noix, pop-corn, pomme de terre
Grillon	Noisette, maïs rôti au feu de bois, sous-bois, orge, pistache torréfiée
Larves d'abeilles	Arachide, pignons de pin, amandes
Chenilles	Cire d'abeille, sous-bois, champignons
Fourmis	Citron (Amazonie)
Charançon rouge des palmiers	Bacon (Asie du Sud-Est)
Scorpions	Amère, poisson
Scorpions d'eau	Pop-corn, crabe
Scarabées	Pomme au four
Termites rouges	Bacon
Ténébrion	Crevette grise grillée, notes beurrées, noix de muscade, bolet
Punaise d'eau	Noisette
Ver de bambou	Sel / chips
Ver de farine	Sel : poulet grillé; sucre: noisette, amande
Ver de palmier	Poulet sucré-salé
Ver à soie	Beurre de cacahuètes, noix

6.4 BESOIN NUTRITIONNEL HUMAIN :

Pour comprendre l'intérêt nutritionnel des insectes pour l'homme, il faut décrire les besoins nutritionnels de ce dernier.

Généralités sur les protéines : (24)

Les protéines constituent un nutriment essentiel pour la construction, le renouvellement des cellules, ainsi que la production d'énergie dans l'organisme.

Les protéines animales et végétales se distinguent par la variété des acides aminés qui les constituent et qui conditionnent leur plus ou moins bonne assimilation. L'organisme ne différencie pas les substances azotées issues des différentes protéines absorbées.

Les acides aminés sont la structure de base de toutes protéines, 20 acides aminés différents suffisent à construire toutes les protéines (sauf rares exceptions).

Parmi ces acides aminés, 8 sont essentiels et indispensables au bon fonctionnement de l'organisme. Ce dernier ne pouvant pas les synthétiser, ces acides aminés doivent être apportés par l'alimentation.

Les 12 autres sont dits non-essentiels, en effet l'organisme est capable de les synthétiser lui même à partir des acides aminés essentiels.

Biochimie fonctionnelle :

Il existe une très grande variété de protéines dans notre organisme. On en dénombre environ 100 000 différentes les unes des autres. Chacune de ces protéines a une forme tridimensionnelle et des propriétés chimiques qui lui sont propres. De plus, elles remplissent de nombreux rôles dans la cellule. Les protéines peuvent être classées en trois principales catégories selon les fonctions qu'elles remplissent :

- Les protéines de structure.
- Les protéines possédant une activité biologique.
- Les protéines alimentaires qui seront décrites ici.

Protéines alimentaires :

Il ne s'agit pas d'un groupe unique mais d'un groupe composé de protéines de structure ou biologiquement actives. Il s'agit de protéines savoureuses, digestibles, non toxiques, et économiquement utilisables. Elles permettent de satisfaire aux besoins en acides aminés essentiels qui varient en fonction de l'âge et de l'état physiologique. Le déficit protéique actuel est très grand au niveau mondial et plus de 25 % de la population souffre de malnutrition (24).

Couverture des besoins en protéine :

Les recommandations de l'ANSES (agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) sont de manger quotidiennement des protéines de manière à avoir un apport compris entre 0,8 g/kg et 2,2 g/kg de poids corporel, ce qui représente par exemple 60 g par jour pour une personne de 75 kg (25).

L'apport en acides aminés doit donc être assuré par les protéines alimentaires. Toutes les protéines contiennent tous les acides aminés. Cependant, les protéines de céréales sont classiquement pauvres en lysine alors que les protéines de légumineuses sont pauvres en acides aminés soufrés. En revanche, les protéines animales sont généralement plus riches en acides aminés indispensables et présentent de plus une meilleure digestibilité que celle des protéines végétales.

En réalité, un apport protéique est complet si une diversité des sources protéiques animales et végétales est respectée et par conséquent, l'apport en acides aminés indispensables l'est également.

Notre organisme est incapable de stocker les protéines, il est nécessaire de consommer des protéines complètes tous les jours, en veillant à leur quantité et à leur qualité, pour éviter les carences.

Le rôle nutritionnel des protéines alimentaires est essentiel aussi bien pour l'alimentation humaine que pour celle des animaux.

La valeur protéique des aliments varie, c'est pourquoi il est important de connaître la valeur protéique des insectes pour pouvoir étudier cette source de protéine.

Pour lutter contre les carences décrites plus haut, les protéines non conventionnelles comme le soja ou les protéines d'insectes peuvent être une solution (24).

6.4.2 MINÉRAUX :

Les minéraux sont essentiels physiologiquement à notre organisme. Ils sont présents en assez grande quantité chez les insectes : on trouve le calcium, le fer, le zinc et le phosphore (24).

6.4.3 VITAMINES :

Les vitamines permettent un bon fonctionnement de l'organisme. Elles peuvent être apportées par l'alimentation ou synthétisées par l'organisme. Il en faut en quantité suffisante et régulière pour le bon équilibre du métabolisme. D'où l'intérêt des insectes qui possèdent de nombreuses vitamines (24).

6.4.4 GLUCIDES :

Les glucides sont très énergétiques pour l'organisme. Pour exemple, l'apport glucidique de 1g fournit 4 Kcal (17 Kjoules). L'apport en glucides par les insectes est très faible, car la plupart sont consommés aux stades immatures. Les insectes adultes peuvent atteindre une teneur en glucides structuraux de 10% selon la littérature. Ce point sera décrit ultérieurement (24).

6.4.5 LIPIDES :

Les lipides sont la principale source d'énergie pour le corps humain, 1g de lipide fourni 9Kcal (38 Kjoules). Ils fournissent l'organisme en acides gras polyinsaturés parmi lesquels on trouve les acides gras essentiels. Ces acides gras ne sont pas synthétisables par l'organisme à partir d'autres acides gras, l'alimentation doit donc les fournir en quantité nécessaire pour son bon fonctionnement. Les acides gras essentiels sont les acides linoléiques et linoléiques. Il est conseillé de consommer 70 à 100 g de lipides par jour, soit 30 à 35% de l'apport énergétique journalier (26). En plus de produire de l'énergie, les lipides vont intervenir dans de nombreuses fonctions de l'organisme (26).

6.5 LES DIFFERENTS TYPES DE PROTEINES :

6.5.1 PROTEINES CONVENTIONNELLES :

On appelle protéines conventionnelles, les protéines habituellement consommées par la population humaine par opposition aux protéines non conventionnelles qui bien qu'elles soient comestibles, ne sont pas habituellement consommées par l'homme (24).

6.5.1.1 LES PROTEINES D'ORIGINE ANIMALE :

Les protéines animales font partie des protéines conventionnelles, elles sont une source de protéines de haute qualité et facilement accessibles.

6.5.1.2 LES PROTEINES D'ORIGINE VEGETALE:

Parmi les protéines conventionnelles, les protéines végétales sont une source d'acides aminés. Cependant, elles ne contiennent pas tous les acides aminés, à l'inverse des protéines animales.

L'alimentation végétale est une bonne source de protéines mais celles-ci restent partiellement complètes en terme d'acide aminé. L'association avec une autre source de protéine est donc indispensable. On peut pour cela faire appel à des légumineuses ou encore de la viande.

Les protéines végétales conventionnelles se retrouvent dans les aliments suivants:

- les céréales : blé, seigle, avoine, orge, sarrasin, riz.

- les légumineuses : lentilles, légumes secs

Les protéines de céréales étant pauvres en lysine et les protéines de légumineuses pauvres en acides aminés soufrés, ces dernières ne suffiront pas à couvrir un apport complet en acide aminé.

6.5.2 PROTEINES NON CONVENTIONNELLES :

Les protéines non conventionnelles sont différentes des protéines conventionnelles par le fait qu'elles ne sont pas classiques et qu'elles sont extraites par des procédés récents et donc bien souvent pas habituellement consommées par l'homme (24).

Tout d'abord, présentons les protéines d'origine végétale comme le soja issu des oléagineux, puis les protéines d'insectes qui sont une source de protéines animales non conventionnelles.

6.5.2.1 Les PROTEINES D'ORIGINE VEGETALE :

Les protéines non conventionnelles regroupent pour partie des protéines d'origine végétale qui peuvent être complètes comme incomplètes.

Le soja est une graine oléo-protéagineuse, ce qui signifie qu'elle contient des lipides et de protéines.

Il existe aussi d'autres protéines végétales protéagineuses. On compte parmi elles des graines comme les amandes, les noix et noisettes, le quinoa, et les haricots.

6.5.2.2 LES PROTEINES D'ORIGINE ANIMAL:

Les protéines d'insectes sont des protéines d'origine animal et dites non conventionnelles.

Leurs spécificités nutritionnelles sont encore peu ou mal connues aujourd'hui. Cependant, la FAO « Food and Agriculture Organization » fait apparaître la consommation d'insectes dans ses recommandations comme vu plus haut.

Les caractéristiques nutritionnelles des insectes seront développées plus amplement dans la partie suivantes.

7 CARACTERISTIQUE NUTRITIONNELLE DES INSECTES :

7.1 GENERALITES :

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.

En revanche, les insectes sont décrits comme pauvres en glucides avec un maximum de 10% de la masse totale chez certaines espèces d'insectes. Deux publications récentes présentent la composition nutritionnelle et le contenu énergétique des principales espèces d'insectes consommées dans divers pays. Les valeurs fournies sont basées sur la matière sèche. Les insectes considérés sont analysés entiers et contiennent toujours leur exosquelette chitineux.

Une étude montre que 100g d'insectes possèdent un contenu énergétique équivalent à 100g de viande en poids frais (à l'exception de certains morceaux de la viande de porc particulièrement riches en matières grasses) .

Selon Rumpold et Schluter (34), les protéines représentent la principale composante de la matière sèche des insectes, entre 45 et 75g/100g de poids sec, selon les espèces. Si l'on se fie à ces données, le contenu protéique serait supérieur ou tout du moins équivalent à certaines viandes.

D'après ces mêmes auteurs, la teneur en protéines et la composition en acides aminés des insectes peuvent varier très fortement d'une espèce à l'autre. De plus, 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.

Pour ce qui est de la composition lipidique des insectes, une étude chinoise montre de très fortes variations du contenu lipidique des insectes, pouvant aller de 7 à 77g/100g de poids sec. Cette variation est aussi fonction de l'espèce considérée et du régime alimentaire de cette dernière.

Il apparaît que les insectes ayant une teneur en lipides importante, appartiennent généralement à l'ordre des lépidoptères et des isoptères (respectivement papillon et termites).

De plus, il faut savoir que les insectes sont incapables de produire leurs propres stérols, ce qui les oblige à les obtenir par le biais de leur alimentation. On observe donc une variation en cholestérol des insectes, dû à leur alimentation. Une étude de DeFoliart (35) en 1991 compare le profil en acides gras des insectes avec la volaille, le poisson, le boeuf et le porc. Il en ressort que les insectes possèdent un taux d'acides gras poly-insaturés (bon gras) plus important que le boeuf et le porc, réputés pour être riches en acides gras mono-insaturés (mauvais gras), mais également que la volaille et le poisson qui eux possèdent des profils nutritionnels riches en acides gras-poly-insaturés (bon gras).

Concernant l'apport en sel minéraux par les insectes, l'étude allemande de Rumpold et Schluter (34) rapporte les données suivantes :

-Un apport non satisfaisant pour couvrir les besoins journaliers de l'homme en calcium et potassium pour une consommation de 100 g d'insectes comestibles.

-Par contre, concernant les besoins en cuivre, fer, magnésium, manganèse, sélénium, zinc et phosphore, pourraient être couverts par la consommation de 100 g d'insectes.

-Pour finir, la faible teneur en sodium permettrait d'envisager les insectes dans les régimes à faibles teneurs en sel.

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.

On observe de manière générale, de fortes variations de compositions en nutriments des insectes comestibles. Cela s'explique par les différents facteurs externes auxquels sont assujettis les insectes ; comme le climat, la nourriture, l'habitat, la préparation (par exemple insectes grillés ou bouillis) ou encore la méthode d'analyse.

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 afin de pallier ces variations, en cas d'intégration des insectes dans l'alimentation humaine (13).

8 LES DIFFERENTS TYPES DE PRODUITS FINIS :

8.1 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 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.

-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. 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 toastage : des températures plus élevées de séchage sont parfois pratiquées en fin de cycle (> 120°C) afin de réaliser un « toastage » des insectes, développer des arômes spécifiques ou améliorer la texture (produits volontairement très croustillants pour le « snacking »).

A noter qu'un séchage insuffisant peut conduire à une conservation médiocre à moyen terme avec le développement de moisissures. D'autres méthodes peuvent être envisagées, comme la lyophilisation ou l'acidification.

Après déshydratation, les insectes comestibles se conservent à température ambiante comme tout produit sec. Le principal facteur limitant leur conservation est la présence importante d'acides gras insaturés qui peut engendrer une peroxydation due à l'oxygène (rancissement) sous l'effet de la chaleur et de la lumière. 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.

Les insectes séchés sont commercialisés en Union Européenne :

-entiers, en l'état pour le « snacking » ou incorporés dans des préparations de type biscuits.

-comme ingrédients, c'est-à-dire sous forme de farines, après broyage.

Cette présentation permet :

-de faire en sorte que l'insecte ne soit 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.

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 (13).

8.2 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 européens. 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. (13)

On a vu dans la partie précédente qu'il est facile de transformer les insectes ce qui permet d'entrevoir toutes sortes de produits pour l'alimentation humaine et animale.

On voit à l'heure actuelle un intérêt grandissant des chefs cuisiniers qui travaillent les insectes dans leurs restaurants. Le fait de créer de nouvelles recettes permet d'améliorer l'image des insectes dans nos sociétés et peut être à terme de susciter un engouement de l'industrie agroalimentaire. L'accès au grand public passera par l'expérimentation et l'audace des chefs cuisiniers d'une part et des industriels d'autre part.

Figure 18 : Dressage d'un plat à base d'insecte.



Dans nos pays, des restaurants proposent des menus axés autour des insectes. Cependant, ces pratiques s'adressent à une poignée d'initiés qui n'ont pas peur de découvrir de nouvelles saveurs. Les insectes peuvent être préparés comme une viande ce qui peut être une base pour séduire le consommateur traditionnel.

A l'heure actuelle, on trouve dans le commerce et principalement par le biais d'internet, différentes formes d'insectes comestibles (27):

-sucettes

-pâtes produites avec de la farine d'insecte en complément

-farine d'insecte, pouvant substituer la farine de blé

-barres protéinées, fabriquées en France par « Gryö »

-cake citron au ver de farine caramélisé

-chocolat surmonté d'un grillon

-insectes nature pour l'apéritif

Ces insectes ou préparation d'insectes sont, soit importés d'Asie soit idéalement produits en France, avec un impact environnemental moindre.

Une entreprise à Toulouse appelée Micronutris produit des vers de farine et des grillons. On peut les trouver sous différentes formes (pâtes, chocolat, biscuit, nature ou aromatisés) (27).

Il y a même différentes recettes proposées par cette entreprise afin de sublimer les insectes.

Recettes proposées par Micronutris :

-Nature : soupe de potiron aux éclats de noisette et aux grillons

-Hachés dans une farce : raviolis au ténébrion et à la châtaigne

-Cuisinés en sauce : linguine à la bolognaise d'insectes pimentée

-En dessert : tuiles aux insectes caramélisés

Figure 19 : Produits à base d'insectes proposés par Micronutris.



Acheter des insectes en France reste encore confidentiel ; pour s'en procurer, le plus simple est de les commander par internet. Différents sites proposent des insectes importés d'Asie ou même produits sur le territoire Français. En effet le commerce d'insectes est encore non autorisé en France, il s'agit d'une pratique « tolérée ».

Le soin apporté à la présentation et à la préparation des plats à base d'insectes, ainsi que la nécessité de se nourrir amèneront les plus réfractaires à apprécier le croustillant de quelques grillons sortis du four ou les quelques larves d'abeilles sautées au beurre avec quelques gouttes de miel sur un toast grillé (26).

9 DEBOUCHES :

9.1 ENCADREMENT PAR LA LOI :

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 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". 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.

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

Plus particulièrement, la rubrique 2150 de cette nomenclature, porte sur les verminières, élevages d'insectes ou de larves d'insectes dans 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 10.1 du Règlement (UE) n°1069/2009 (2009) mais ne sont pas considérés comme des protéines animales transformées (PAT).

Des restrictions d'utilisation sont ainsi réglementairement 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 1er 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 réglementaires pour les non-ruminants (porcs, volailles) (13).

Il est à noter que la législation Européenne autorise depuis le 1 juillet 2017 l'usage de protéines d'insectes pour l'alimentation des poissons d'élevage (aquaculture). Il s'agit d'une avancée considérable pour les précurseurs du secteur. Cependant cette autorisation n'implique pas l'intégration des protéines d'insectes aux PAT ni l'utilisation de ces dernières pour les porcs, volailles et ruminants. (11)

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 ingrédients 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).

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. (13)

En France la commercialisation et la consommation d'insectes existent ; elles sont pour le moment tolérées sous certaines conditions. La Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes (DGCCRF) est l'organisme qui encadre cette pratique. Les décisions de la DGCCRF peuvent aller d'un simple refus de la mise sur le marché du produit à la fermeture d'un établissement, notamment pour des raisons de sécurité sanitaire (28).

Pour pallier à ce manque, en France les acteurs de cette filière ont décidé de créer une association qui a pour but de faire avancer les démarches dans le domaine des insectes comestibles. Il s'agit de la Fédération Française des Producteurs Importateurs et Distributeurs d'Insectes, la FFPIDI, association non gouvernementale et à but non lucratif (29).

Son objectif principal est de regrouper et d'associer les différents acteurs du marché français et international liés aux insectes. Il y a également une volonté de l'association d'aider les nouveaux arrivants sur ce marché afin de bien le comprendre pour s'y intégrer correctement. Cela se manifeste par des services d'accompagnement aux producteurs, distributeurs et importateurs du secteur. L'association encourage les bonnes pratiques dans le domaine de la production. Ces bonnes pratiques sont définies à la FFPIDI par un Comité Scientifique qui participe à l'édition des recommandations.

L'aboutissement de leurs travaux est une Charte que les adhérents s'engagent à respecter.

Un agrément est délivré par la FFPIDI aux distributeurs membres qui respectent le cahier des charges établi par cette dernière, garantissant la sécurité sanitaire.

Le message de la fédération à ses adhérents est de respecter les lois et règlements en vigueur et de suivre les recommandations légales. Elle rappelle que la commercialisation d'insectes comestibles pour l'alimentation humaine n'a pas encore été autorisée par l'administration.

De plus des opérations de sensibilisation au grand public sont menées par l'association pour promouvoir la filière Insectes.

Les producteurs et importateurs de la filière Insectes sont soutenus par le biais de formations, de programmes d'accompagnement et d'aides à la constitution de réseaux et de débouchés.

Preuve de son activité, la FFPIDI, a engagé en février 2014 une procédure nommée « Novel Food » afin d'obtenir l'autorisation de commercialiser des insectes en France et en Europe. Cette procédure est encore en cours d'instruction à ce jour (29).

9.2 DEBOUCHE ET USAGE POSSIBLE ACTUELLEMENT :

Potentialités :

La consommation d'insectes délivre un panel d'avantages non négligeable de nos jours. Avec la croissance démographique, l'urbanisation et la montée des classes moyennes, la demande mondiale en aliments et principalement en protéines d'origine animale est en plein essor. L'élevage d'insectes comptabilisant de nombreux avantages peut contribuer non seulement à la sécurité alimentaire humaine, mais aussi à celle des animaux.






Santé humaine :

Les insectes sont une source importante en protéines et en nutriments de haute qualité. Toutefois, il faut tenir compte du fait que leur valeur nutritionnelle dépend de leur stade de vie (stade métamorphique), de leur habitat et de leur alimentation, les insectes sont un apport de protéine incontestable.

Avec une valeur nutritionnelle élevée (décrite plus haut), on pourrait utiliser les insectes comme compléments alimentaires pour des personnes âgées ou même des enfants sous-alimentés. L'entomophagie peut être une alternative durable et une solution de substitution en protéine.

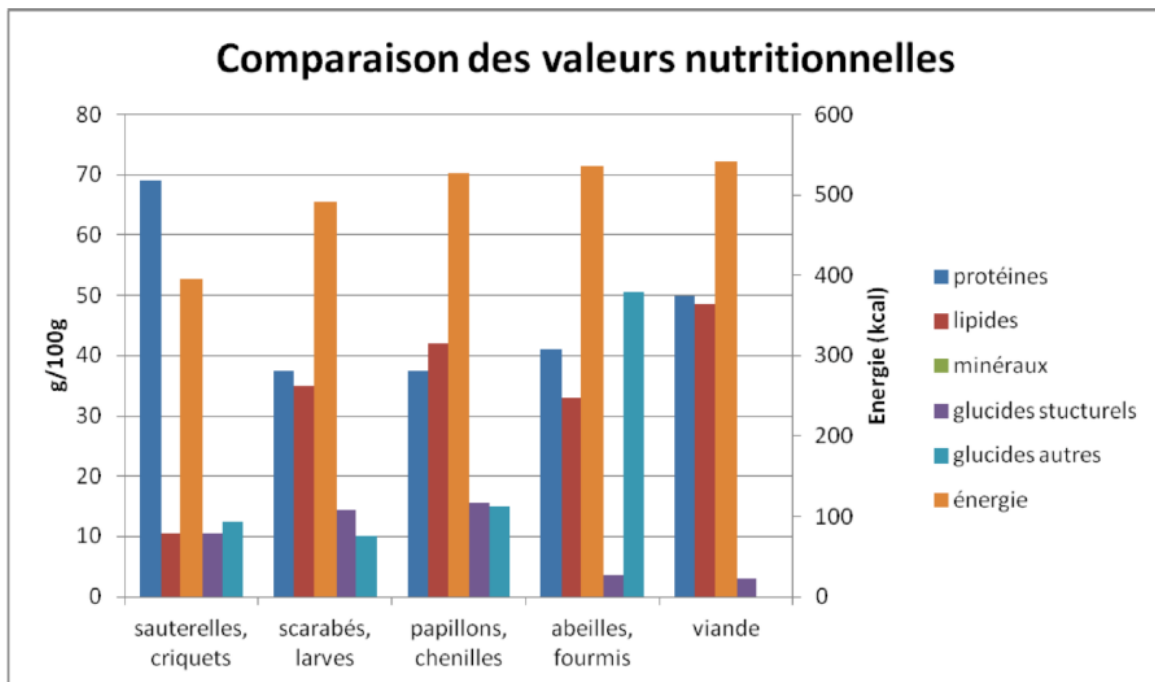
Le tableau ci-dessous, récapitule la teneur en protéines, lipides, minéraux, glucides chez les insectes comestibles et le boeuf. Il permet de comparer la valeur nutritionnelle entre insecte et boeuf facilement.

Figure 20 : Comparaison des valeurs nutritionnelles des insectes à celles d'une viande de boeuf (g/100g).

Espèces (ordre)	Protéines	Lipides	Minéraux	Glucides		Energie (Kcal)	Forme comestible commune:
				structurels	autres		
Sauterelles, criquets (Orthoptera)	61-77	4-17	2-17	9-12	4-21	362-427	
Scarabées, larves (Coleoptera)	21-54	18-52	1-7	6-23	1-19	410-574	
Papillons, chenilles (Lepidoptera)	15-60	7-77	3-8	2-29	1-29	293-762	
Abeilles, fourmis (Hymenoptera)	1-81	4-62	0-6	1-6	8-93	416-655	
Viande (Boeuf)	45-55	40-57	1.4-2.3	0-15	0	433-652	

(30)

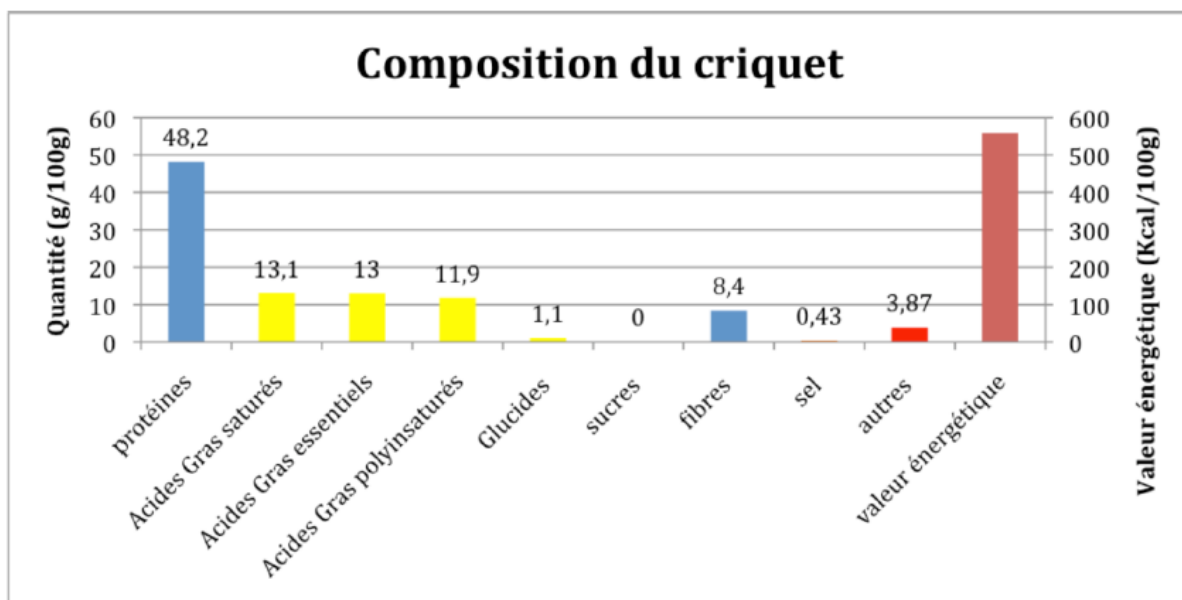
Figure 21 : Graphique comparatif représentant les quantités moyennes en g de protéines, lipides, minéraux, glucides, et l'énergie contenue dans 100g d'insecte et 100g de viande.



Prenons l'exemple du criquet pour étudier la composition nutritionnelle détaillée des insectes.

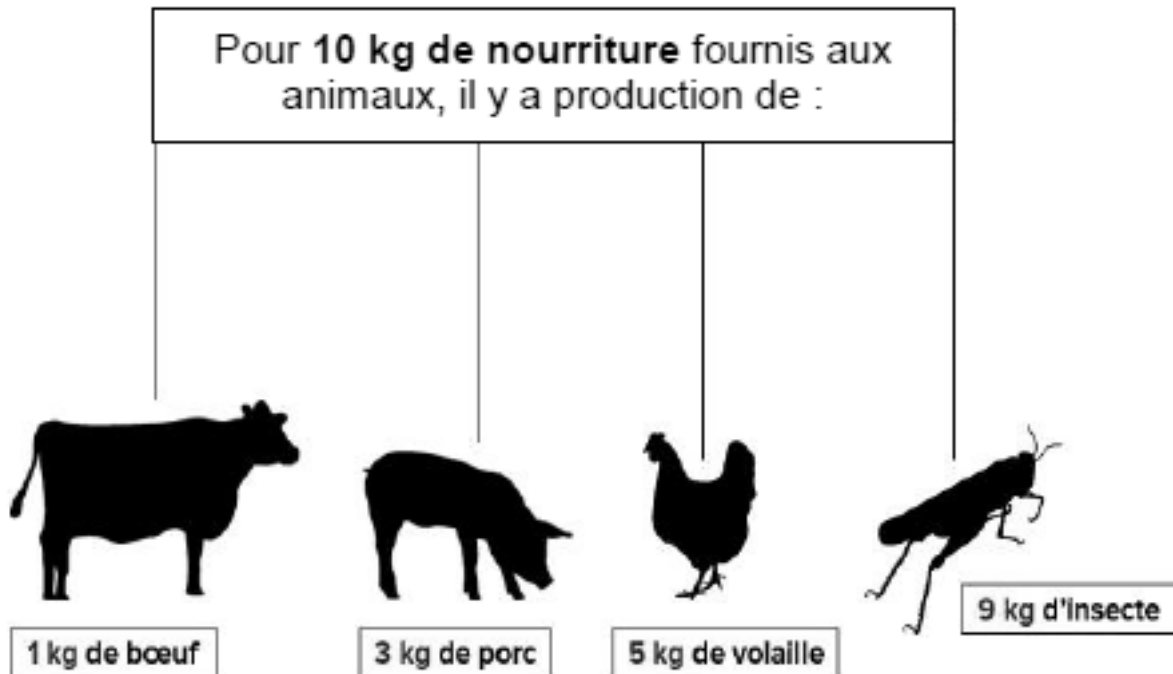
Pour 100g de criquet, en sachant qu'environ 35 à 40 criquets pèsent 28 grammes, la valeur nutritive des criquets est la suivante (31) :

Figure 22 : Composition du criquet (pour 100g)



De la même manière pour 10 kg de nourriture (déchets de l'industrie agroalimentaire) donnés aux animaux pour produire de la viande, on obtient 1 kg de boeuf, 3 kg de porc, 5 kg de poulet et 9 kg d'insectes (30).

Figure 23 : Quantité (en kg) de masse corporelle animale obtenue avec 10 kg de nourriture (30)



On se rend compte des avantages de l'élevage d'insectes puisque la production de ces derniers possède un taux de conversion très élevé, et un pourcentage de masse consommable supérieur aux autres catégories d'animaux. La quantité de nourriture nécessaire au développement des insectes est presque totalement convertie en masse corporelle d'insectes. De plus, peu de déchets sont produits par les insectes.

9.3 PRECURSEUR DANS LE SECTEUR :

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 (13).

Projet ANR–DESIRABLE:

Conception d'une bio raffinerie 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 (13).

Projet PROTeINSECT – FERA (*Food and Environment Research Agency*) :

"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. (13)

9.4 DEBOUCHE ET USAGE FUTURE :

De multiples utilisations des insectes ou des produits issus de leur transformation sont envisageables.

Actuellement le handicap majeur de cette ressource est le manque de recul sur leur utilisation et le manque de données.

En effet, historiquement, la consommation d'insecte a toujours existé aussi bien chez l'homme que chez l'animal, seulement l'usage intensif et à grande échelle pose quelques interrogations. De plus, l'absence de procédures et de systématisations basées sur des textes et de études de références font défaut, ce qui se traduit par une certaine frilosité du législateur.

Tout le monde garde en mémoire le scandale sanitaire de l'encéphalite spongiforme bovine. Le législateur ainsi que les industriels ne veulent en aucun cas être confrontés à ce genre de scandale qui d'une part les positionnerait dans une situation bien peu confortable et d'autre part, serait fatal au développement de cette filière.

Cependant, l'absence de standard et de réel leader sur le marché laisse toutes latitudes aux personnes désirant se lancer dans l'aventure. Pour preuve, on peut citer des entreprises de la taille de PME et d'autres entités beaucoup plus grosses qui s'inscrivent dans une démarche industrielle cités ci-dessus.

Exemple de PME du secteur :

-Micronutris qui commercialise des produits à destination humaine issus de leur propre production. Cette production est régie par une certaine éthique et des pratiques d'élevage raisonnées.

- Jimini's qui importe ses produits de ferme Asiatique. Une démarche qualité est mise en place également, les fermes sont inspectées et sélectionnées lorsqu'elles respectent le cahier des charges de la société.

-Entomo farm basée à Libourne, elle produit plusieurs produits, une farine d'insectes à destination des élevages aquacoles, un fertilisant organique et une huile d'insecte.

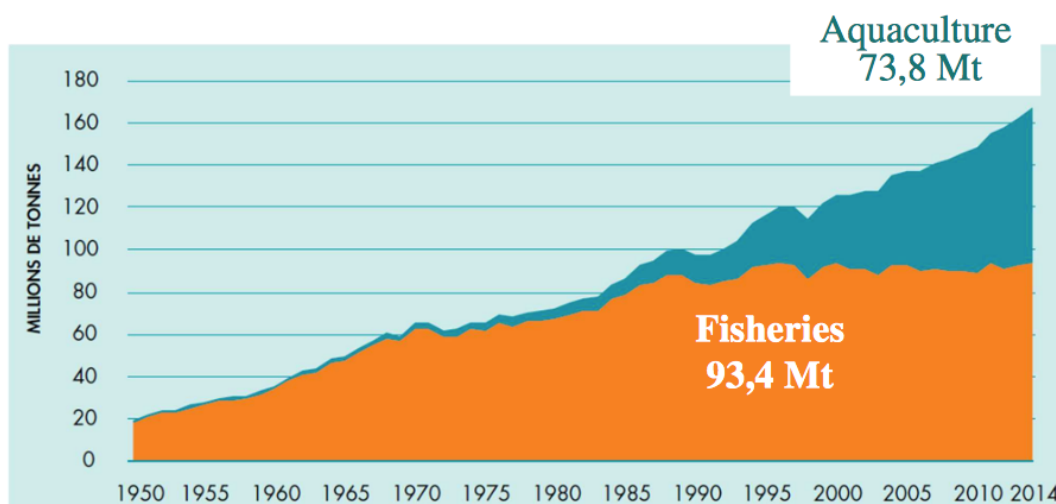
Les principaux débouchés en vu des industriels actuellement sont l'alimentation aquacole qui vient d'être autorisée par le législateur au 1 juillet 2017 et dans les années à venir chez les élevages porcins, et aviaires (ces derniers n'étant pas autorisés à l'heure actuelle).

Faisons un focus sur l'alimentation aquacole.(32)

Le marché de l'aquaculture est un marché très prometteur.

Figure 24 : Marché de l'aquaculture et de la pêche en 2014.

167,2 million tonnes (2014)



+ 27,3 million tonnes d'algues et de plantes aquatiques

On voit ici que l'aquaculture, bien que moins importante en volume que la pêche, représente 73,8 millions de tonnes pour 93,4 millions de tonnes de poisson pêché. De plus, la courbe de l'aquaculture est en nette augmentation, la pente est forte alors que la pêche traditionnelle stagne, pente faible (32).

Or actuellement, la principale source d'alimentation en aquaculture est la farine de poisson. Cette alimentation est appropriée pour l'aquaculture mais engendre de gros problèmes environnementaux. En effet, le poisson est prélevé de manière intensive et les stocks naturels de certaines espèces atteignent des taux anormalement bas qui mettent en péril la survie de ces espèces.

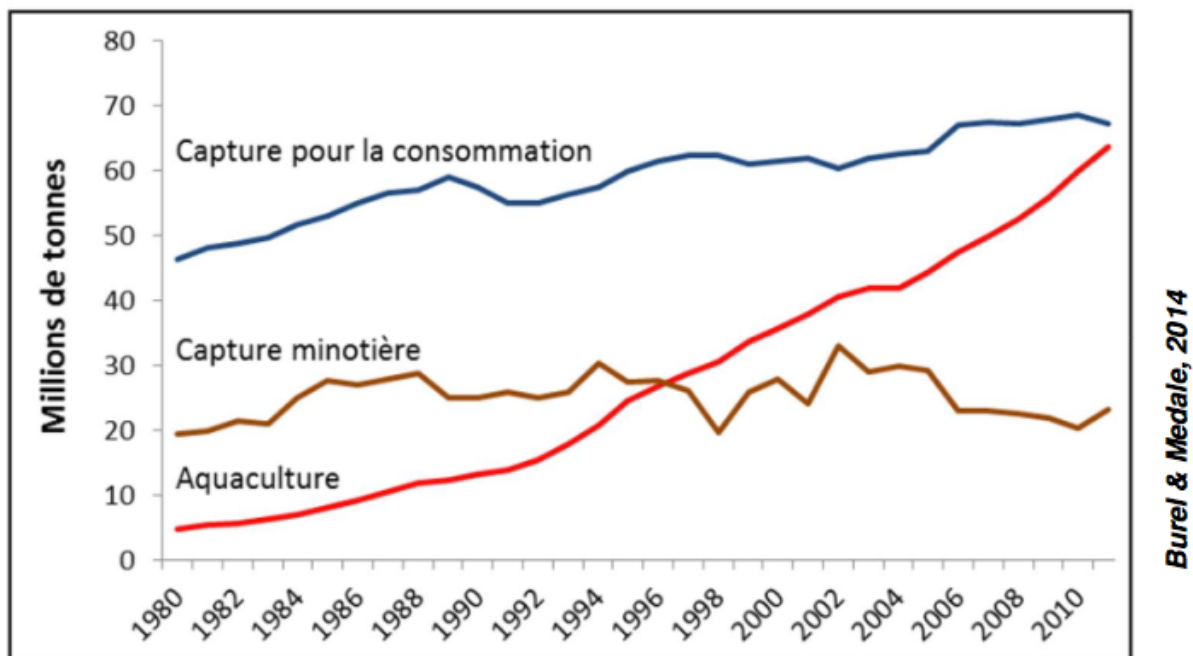
Figure 25 : Evolution du prix de la farine de poisson.



FAO, 2014

Ce tarissement des stocks naturels et la demande croissante de l'aquaculture entraîne une hausse des prix de la farine de poisson qui a vu son prix dépasser les 2000 dollars la tonne.

Figure 26 : Graphique représentant l'évolution de 1980 à 2010 de l'aquaculture, la capture minotière et la capture pour la consommation.



La capture minotière correspond à la pêche dont les produits sont transformés en huiles et en farines. L'aquaculture est devenue bien plus importante aujourd'hui, on voit bien que la pêche minotière n'est plus en mesure de subvenir aux besoins de cette dernière.

Cela force les industriels à se tourner vers d'autres sources d'alimentations. Les protéines végétales ont été envisagées ainsi que les insectes.

En ce qui concerne l'usage des protéines végétales, certaines contraintes sont apparues, elles sont les suivantes :

- Présence de facteurs antinutritionnels dans les aliments d'origine végétale.
- A dose élevée, modification des caractéristiques sensorielles de la chair des poissons.

-Question de la qualité amont des protéines utilisées.

-Question de l'usage des terres arables.

A l'inverse l'utilisation de protéines issues des insectes présentent de nombreux avantages qui sont les suivants :

-Ils font partie du régime alimentaire naturel de plusieurs espèces de poissons.

-Ils peuvent faire l'objet d'une production industrielle durable, à faible empreinte écologique.

-Ils peuvent être nourris et produits à partir de matières organiques – déchets et/ou co-produits de l'agriculture et de l'industrie agro-alimentaire.

-Leur production ne nécessite que peu de surface, peu de ressources et pas de terre arables.

-Ils présentent un taux élevé de protéines.

-Certains insectes (Diptères) offrent un profil en AA proche de celui des poissons.

Bien que l'usage de cette ressource présente de nombreux avantages, certains enjeux vont être à relever par les industriels du secteur :

-Contrôler la qualité des substrats d'élevage pour éviter la bioaccumulation de produits toxiques chez les insectes (pesticides, polluants organiques persistants, métaux lourds).

-Gérer la question des lipides chez les insectes.

-Solutionner les aspects de digestibilité liés à la présence de chitine, et les aspects « facteurs anti-nutritionnels » de la chitine et du chitosan.

-Fournir un volume pertinent face aux demandes de la filière.

Les élevages porcins et aviaires pourraient être également un marché pour les producteurs d'ailleurs plusieurs études sont en cours sur le sujet.

Cependant, il a été rapporté dans la littérature des cas de transmission d'agents pathogènes entre des insectes et des mammifères notamment d'ATNC (agent transmissible non conventionnel) ce point sera développé plus bas.

Toutefois à la lumière de ces éléments et dans l'attente de données permettant d'assurer la sécurité du consommateur, l'usage des insectes pour les élevages de ruminants n'est pas encore à la portée de la filière insecte.

Pour finir, preuve du dynamisme et de l'intérêt grandissant pour cette ressource, la Suisse qui n'est pas soumise à la réglementation Européenne a autorisé les insectes en tant que denrée alimentaire humaine en Mai 2017. Trois espèces sont concernées, le grillon, la sauterelle et le ver de farine (32).

10 PRECAUTIONS ET MISES EN GARDE :

10.1 POUR L'HOMME :

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 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 (13).

Les dangers chimiques :

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 lotaustraline à partir, respectivement, de valine et d'isoleucine). 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 consommation du fait de l'apparition de produits toxiques (exemple de larves de *Galleria mellonella* infectées par une moisissure).

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. 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. Ils peuvent éventuellement développer en retour des stratégies adaptatives comme la détoxification, l'excrétion ou la bioaccumulation afin d'éviter toute intoxication.

Il convient donc d'alimenter les insectes d'élevage uniquement avec des plantes adaptées à leur métabolisme pour éviter toute production ou bioaccumulation de métabolites secondaires toxiques pour les vertébrés.

Parmi les insectes qui peuvent être élevés, les lépidoptères sont connus pour bioaccumuler très facilement des substances toxiques.

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.* démontre que les criquets sont des bio-accumulateurs "efficaces" d'insecticides.

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.

Le grignotage de supports plastiques doit être évité, en particulier chez les larves, pour éviter la présence de substances exogènes au delà des seuils réglementaires.

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. 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.

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.

Les dangers physiques :

Les insectes comestibles sont généralement consommés entiers, ou après préparation pour en 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).

Ainsi l'AFSCA indique dans son avis** 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* ».

** 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

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 des helminthes sont souvent très proches de ceux des insectes et peuvent donner lieu à des réactions et/ou des allergies croisées.

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.

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.

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.*

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.

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.

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. Quant aux antigènes contenus dans les venins d'insectes phanérottoxiques, 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) dépourvus de dards.

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.

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.

Il existe aussi un risque de 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).

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.

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.

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.

Il existe un risque parasitaire également. 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. 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.

-Des parasitoses dues à des nématodes, 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 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) par piqûres mais aussi via les déjections. Les oiseaux semblent être immunisés contre ce parasite mais de nombreux mammifères peuvent constituer des réservoirs hôtes.

-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.

-Des toxoplasmoses dues à des blattes et certains diptères.

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.

En ce qui concerne les risques viraux, il n'existe pas de documentation sur les risques viraux associés à la manipulation ou l'ingestion d'insectes.

Les bactéries pathogènes d'insectes (entomopathogènes) sont considérées comme inoffensives pour les animaux et l'homme du fait de l'éloignement phylogénétique des hôtes. Les risques bactériens liés aux insectes seront de ce fait principalement dus au portage (naturel ou accidentel) de dangers bactériens (et leurs toxines). Ces risques peuvent intervenir soit directement chez l'homme, l'animal, dans l'élevage (substrats et alimentation), ou lors de manipulation, de transformation et de conservation.

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.

Les dangers fongiques sont peu connus à ce jour. 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* 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.

Les dangers liés aux agents transmissibles non conventionnels (ATNC) sont aussi à prendre en compte. 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 (13).

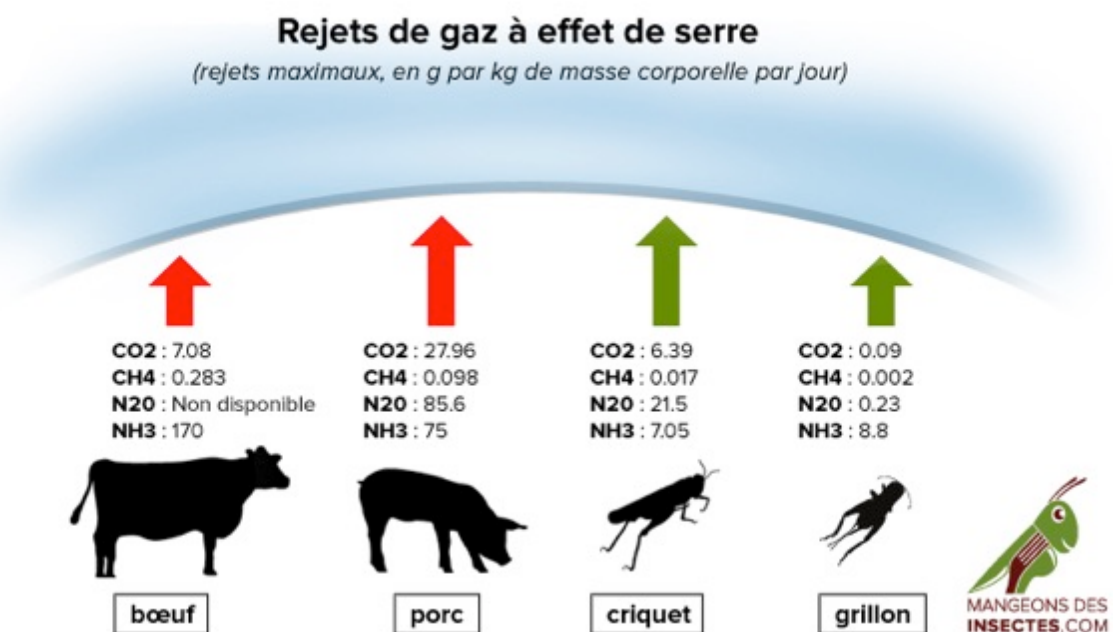
10.2 ENVIRONNEMENT :

En plus de son taux de conversion élevé, l'élevage d'insectes a également un impact très faible sur l'environnement.

Contrairement à l'élevage de boeuf, qui pour produire 1kg de boeuf a besoin de 10 kg de végétaux, les 9 kilogrammes non convertis en masse corporelle étant des déchets et essentiellement du fumier !

De plus les déchets induits par l'élevage d'insectes sont beaucoup moins nocifs pour l'environnement comparé à ceux émis par l'élevage de bovins. En effet ils dégagent moins d'ammoniac et beaucoup moins de gaz à effet de serre (99 % en moins de gaz à effet de serre que l'élevage bovin), donc peu de pollution atmosphérique.

Figure 27 : Rejets de gaz à effet de serre en g par Kg de masse corporelle par jour.



(30)

D'ici 2050, plus de 9 milliards de personnes devront être nourries, tout comme les milliards d'animaux élevés pour l'alimentation, les loisirs et animaux de compagnie (33).

De plus, les facteurs externes, tels que la pollution des sols et de l'eau due à la production animale intensive ainsi qu'au surpâturage conduisant à la dégradation des forêts, contribuent au changement climatique et à d'autres effets néfastes sur l'environnement (33).

La production de protéines issues des insectes est une alternative durable aux protéines conventionnelles et répond parfaitement au problème de la sécurité alimentaire humaine et animale et ce tout en respectant l'environnement.

En effet, l'élevage d'insectes a un faible impact sur l'environnement en rejetant que très peu de gaz à effet de serre, en dégageant peu d'ammoniac, en produisant peu de déchets, en consommant peu d'eau, et en ayant besoin de très peu d'espace au sol pour leur croissance.

L'entreprise Micronutris, première ferme d'insecte en France, démarrée en 2011, est un exemple pour le respect de l'environnement. En effet, la start-up du sud-ouest prône l'objectif zéro déchet. Les déjections des insectes sont utilisées par les particuliers pour faire pousser fruits et légumes. Les épluchures des aliments sont aussi mangées par les vers de farine et les grillons. Enfin, les boîtes d'oeufs qui accueillent les grillons vont au compost et non à la poubelle (27).

10.3 POUR L'ELEVAGE LUI MEME :

Au sein de l'élevage :

Au niveau industriel, les contaminations peuvent provenir de l'environnement : l'air, le personnel, et de la matière première, les insectes. Il y a toujours un risque, c'est pourquoi lors d'un élevage il est primordial de pouvoir maîtriser ces risques.

La production doit établir des analyses de risque et mettre en place des actions pour limiter les risques de contamination.

Les insectes produits industriellement ne doivent pas provenir d'une récolte, ce qui serait à l'encontre de la traçabilité et des bonnes pratiques.

Sans élevage, l'entomophagie de masse ne peut être possible. En effet celle-ci risque de menacer les espèces d'insectes comestibles et donc de déstabiliser les écosystèmes auxquels ils sont essentiels.

Conclusion :

L'entomophagie n'est pas une pratique culturellement présente dans nos sociétés occidentales, son développement vers une production de masse industrialisée est donc un challenge à relever. Pourtant nous avons pu voir qu'il existe un réel potentiel autour de cette ressource qui suscite de plus en plus d'intérêt.

Plusieurs défis attendent les acteurs de cette filière surtout dans le domaine législatif et sanitaire.

En effet, la production, l'exploitation et la commercialisation de la ressource insecte attendent pour se développer un cadre législatif abouti qui doit s'appuyer sur une nomenclature fiable et standardisée, à l'image du codex alimentarius.

Malheureusement, une telle nomenclature n'existe pas aujourd'hui, des recherches et des études sont actuellement en cours grâce à plusieurs projets regroupant scientifiques et industriels.

Plusieurs points restent à définir afin de maîtriser totalement cette ressource. Par exemple l'alimentation des insectes est un facteur entraînant des variations quantitatives et qualitatives importantes de ces derniers, de même une étude approfondie concernant la sécurité sanitaire vis à vis de l'humain et de l'animal fait aujourd'hui défaut.

Actuellement, la littérature fait plus un état des lieux des connaissances actuelles, elle recense et rapporte les événements et prévoit par extrapolation les problèmes éventuels à venir. L'allergie en est l'exemple parfait, en comparant les statistiques relatives aux allergies aux crustacés, on peut se faire une idée de ce que pourrait être la part de personnes allergiques aux insectes dans la population. Cette déduction se base sur le fait que les insectes et les crustacés sont des espèces proches phylogénétiquement.

Au final, l'intérêt grandissant des industriels pour les insectes est le principal atout de cette ressource. Les initiatives ne manquent pas et si elles sont bien conduites, les insectes rentreront certainement dans notre quotidien de tous les jours.

La complexité, la richesse et les aptitudes de cette espèce n'ont été que touchées du doigt par l'homme, nul doute que les insectes nous réservent encore de belles surprises.

Références Bibliographiques :

1. Population 2000-2050 (Internet). Ined - Institut national d'études démographiques. (cité 16 févr 2017). Disponible sur: <https://www.ined.fr/fr/tout-savoir-population/graphiques-cartes/graphiques-interpretes/population-2000-2050/>
2. Bilan démographique 2016 - Insee Première - 1630 (Internet). (cité 4 déc 2016). Disponible sur: <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2554860>
3. Comment_nourrir_le_monde_en_2050.pdf (Internet). (cité 8 janv 2017). Disponible sur: http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues_papers/Issues_papers_FR/Comment_nourrir_le_monde_en_2050.pdf
4. Croissance des Insectes - OPIE (Internet). (cité 8 déc 2016). Disponible sur: <http://www.insectes.org/opie/croissance-des-insectes.html>
5. Nombre Insectes duans le Monde - OPIE (Internet). (cité 3 janv 2017). Disponible sur: <http://www.insectes.org/opie/nombre-insectes-monde.html>
6. Records des Insectes - OPIE (Internet). (cité 4 mars 2017). Disponible sur: <http://www.insectes.org/opie/records-des-insectes.html>
7. Utilité des Insectes - OPIE (Internet). (cité 2 avri 2017). Disponible sur: <http://www.insectes.org/opie/utilite-des-insectes.html>
8. Les Etats-Unis connaissent des pertes d'abeilles sans précédent (Internet). (cité 3 janv 2017). Disponible sur: http://www.lemonde.fr/biodiversite/article/2015/05/13/les-etats-unis-connaissent-des-pertes-d-abeilles-sans-precedent_4633089_1652692.html
9. Notes pour le cours d'organisation animale. Dr. A. Cabannes (manuscrit). (cité le 2 déc 2016). Disponible sur : Laboratoire d'immunologie-parasitologie. Université Victor Segalen Bordeaux II
10. Elevages d'insectes: quels sont les différents types d'élevage? - InsectesComestibles.fr (Internet). (cité 12 nov 2016). Disponible sur: <http://www.insectescomestibles.fr/content/14-elevages-dinsectes-fermes-d-insectes-pour-l-entomophagie>
11. 07/07/2017 Protéines animales: les insectes autorisés dans l'alimentation des poissons (Internet). (cité 5 aou 2017). Disponible sur: <http://www.agrapresse.fr/prot-ines-animales-les-insectes-autoris-s-dans-l-alimentation-des-poissons-art438109-2488.html?Itemid=342>
12. Edible insects (Internet). (cité 19 mars 2017). Disponible sur: <http://www.fao.org/docrep/018/i3253e/i3253e00.htm>

13. BIORISK2014sa0153.pdf (Internet). (cité 3 janv 2017). Disponible sur: <https://www.anses.fr/fr/system/files/BIORISK2014sa0153.pdf>
14. Réglementation Elevage Insectes (Internet). (cité 3 janv 2017). Disponible sur: <http://www.insectes.org/reglementation/elevage-insectes.html>
15. Comment élever des criquets et démarrer un élevage de criquets ? Nos conseils - InsectesComestibles.fr (Internet). (cité 10 juillet 2017). Disponible sur: <http://www.insectescomestibles.fr/content/20-lelevage-de-criquets-migrateurs-pour-la-consommation-humaine>
16. Insectes comestibles Boutique N°1 en France depuis 2009 - InsectesComestibles.fr (Internet). (cité 23 juillet 2017). Disponible sur: <http://www.insectescomestibles.fr/>
17. Elevage de grillons comestibles : comment ca marche - InsectesComestibles.fr (Internet). (cité 6 juin 2017). Disponible sur: <http://www.insectescomestibles.fr/content/17-elevage-de-grillons-comestibles-comment-ca-marche>
18. Elevage de vers de farine - InsectesComestibles.fr (Internet). (cité 20 mars 2017). Disponible sur: <http://www.insectescomestibles.fr/content/18-elevage-de-vers-de-farine>
19. Elevage d'insectes : comment élever le ver morio ? - InsectesComestibles.fr (Internet). (cité 3 avri 2017). Disponible sur: <http://www.insectescomestibles.fr/content/57-ver-morio-elevage-insectes>
20. Apiculture. In: Wikipédia (Internet). 2017 (cité 16 oct 2017). Disponible sur: <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Apiculture&oldid=143542045>
21. La vie des abeilles (Internet). (cité 25 janv 2017). Disponible sur: <http://lerucher.e-monsite.com/pages/biologie-de-l-abeille/la-vie-des-abeilles.html>
22. Bombyx du mûrier. In: Wikipédia (Internet). 2017 (cité 27 oct 2017). Disponible sur: https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Bombyx_du_m%C3%BBrier&oldid=142082625
23. 6 aliments que vous mangez déjà qui contiennent des insectes (Internet). kinjao. 2015 (cité 13 janv 2017). Disponible sur: <http://www.kinjao.com/6-aliments-quotidien-avec-insectes>
24. Biochimie structurale, enzymologie générale : Biochimie structurale, Enzymologie générale. Pr.Derache (manuscrit). (cité le 12 avri 2017). Disponible sur : EDITIONS BERGERET
25. NUT-Ra-Proteines.pdf (Internet). (cité 5 mai 2017). Disponible sur: <https://www.anses.fr/fr/system/files/NUT-Ra-Proteines.pdf>

26. Apports nutritionnels des insectes comestibles en France - Europe Entomophagie (Internet). (cité 23 mai 2017). Disponible sur: <http://www.europe-entomophagie.com/fr/content/14-Apports-nutritionnels-des-insectes-comestibles>
27. Micronutris : Les insectes comestibles de qualité biologique (Internet). Micronutris. (cité 12 juin 2017). Disponible sur: <http://www.micronutris.com/fr/>
28. La commercialisation d'insectes comestibles n'est que tolérée en France - Food (Internet). (cité 7 mars 2017). Disponible sur: <http://food.20minutes-blogs.fr/archive/2015/01/29/commercialisation-d-insectes-comestibles-seulement-toleree-e-912882.html>
29. FFPIDI | Ensemble pour l'avenir (Internet). (cité 14 févr 2017). Disponible sur: <http://www.ffpidi.org/>
30. Mangeons Des Insectes | Site spécialisé des insectes comestibles (Internet). Mangeons-Des-Insectes.com. (cité 6 sept 2017). Disponible sur: <http://www.mangeons-des-insectes.com/>
31. Criquets, insectes comestibles Europe, insectes à manger (Internet). Insectes food. (cité 27 janv 2017). Disponible sur: <http://www.insectes-food.com/insectes-comestibles-europe-/6-criquets.html>
32. ISARA.pdf (Internet). (cité 12 févr 2017). Disponible sur: <http://expert-environnement.fr/insectes/ISARA.pdf>
33. i3253e02.pdf (Internet). (cité 16 avri 2017). Disponible sur: <http://www.fao.org/docrep/018/i3253e/i3253e02.pdf>
34. Nutritional composition and safety aspects of edible insects (Internet). (cité 01 févr 2018). Disponible sur : Pubmed.
35. DeFoliart Insect fatty acids : similar to those of poultry and fish in thier degree of unsaturation, but higher in the polyunsaturates. (Internet) (cité le 06 févr 2018). Disponible sur : The Food Insect Newsletter.

Table des figures :

Figure 1 : Passage à l'état adulte directement.....	p10
Figure 2 : Passage à l'état adulte indirectement.....	p10
Figure 3 : Proportion des insectes dans le règne animal au niveau mondial.....	p11
Figure 4 : Répartition des principales espèces d'insectes en France.....	p12
Figure 5 : Arbre phénotypique.....	p15
Figure 6 : Arbre phylogénétique.....	p16
Figure 7 : Classification des animaux.....	p17
Figure 8 : Coléoptères.....	p22
Figure 9 : Lépidoptères au stade chenille.....	p23
Figure 10 : Hyménoptères.....	p24
Figure 11 : Orthoptères.....	p24
Figure 12 : Hémiptères.....	p25
Figure 13 : Zoophobas Morios Larve.....	p36
Figure 14: Zoophobas Morios Adulte.....	p37
Figure 15 : Différences entre le ver de Morio et le ver de farine.....	p37
Figure 16 : Aspects des faux bourdons, reines et ouvrières.....	p44
Figure 17 : Croissance de la chenille du Bombyx du mûrier.....	p48
Figure 18 : Dressage d'un plat à base d'insecte.....	p68
Figure 19 : Produits à base d'insectes proposés par Micronutris.....	p69
Figure 20 : Comparaison des valeurs nutritionnelles des insectes à celles d'une viande de boeuf (g/100g).....	p75
Figure 21 : Graphique comparatif représentant les quantités moyennes en g de protéines, lipides, minéraux, glucides, et l'énergie contenue dans 100g d'insectes et 100g de viande.....	P76
Figure 22 : Composition du criquet (pour 100g).....	p77
Figure 23: Quantité (en kg) de masse corporelle animale obtenue avec 10 kg de nourriture.....	p78

Figure 24 : Marché de l'aquaculture et de la pêche en 2014.....	p82
Figure 25 : Evolution du prix de la farine de poisson.....	p83
Figure 26 : Graphique représentant l'évolution de 1980 à 2010 de l'aquaculture, la capture minotière et la capture pour la consommation.....	p84
Figure 27 : Rejets de gaz à effet de serre en g par Kg de masse corporelle par jour.....	p99

SERMENT DE GALIEN :

« Je jure, en présence des maîtres de la faculté, des conseillers de l'ordre des pharmaciens et de mes condisciples :

D'honorer ceux qui m'ont instruit dans les préceptes de mon art et de leur témoigner ma reconnaissance en restant fidèle à leur enseignement ;

D'exercer, dans l'intérêt de la santé publique, ma profession avec conscience et de respecter non seulement la législation en vigueur, mais aussi les règles de l'honneur, de la probité et du désintéressement ;

De ne jamais oublier ma responsabilité et mes devoirs envers le malade et sa dignité humaine.

En aucun cas, je ne consentirai à utiliser mes connaissances et mon état pour corrompre les mœurs et favoriser des actes criminels.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses. Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères si j'y manque. »

TITRE ET RESUME EN ANGLAIS :

TITLE :

Characteristics of products resulting from the breeding of insects, outlets and uses of these products, precautions and warnings.

ABSTRACT :

The aim of this thesis is to focus on the use of insects as nutritional resources, for humans on the one hand and livestock farming on the other.

The amateur and livestock production will be exposed here; There are few differences between these farms on the technical point, only economic imperatives and sanitary obligations should be noted if one is part of an industrial approach.

The nutritional profile of this resource in proteins, fats, carbohydrates, minerals and vitamins is described in this book mainly according to human nutritional needs. A point is also made on the factors that can lead to a qualitative nutritional variation of insects.

The main European actors of the sector are presented as well as the current outlets and uses of different food products from insects.

The French and European legislation that regulates the use of this resource at the moment is explained in this thesis. The fast evolution of these legislation to meet the expectations of industrial sector.

Precautions and warnings related to large-scale use of insects. Indeed, several points are addressed here, in particular to guarantee the safety of the consumer, the preservation of the resource itself and its environmental impact.

VANDERMEERSCH Charles

Caractéristiques des produits issus de l'élevage d'insectes, débouchés et usages de ces produits, précautions et mises en garde.

RESUME

Le but de cette thèse est de faire un focus sur l'usage des insectes en tant que ressource nutritionnelle, pour l'homme d'une part et l'élevage animal d'autre part.

L'élevage amateur et industriel vont être exposés ici ; peu de différences séparent ces élevages sur le point technique, seul des impératifs économiques et des obligations sanitaires sont à noter si l'on s'inscrit dans une démarche industrielle.

Le profil nutritionnel de cette ressource en protéines, lipides, glucides, minéraux et vitamines est décrit dans cet ouvrage surtout en fonction des besoins nutritionnels humains. Un point est aussi fait sur les facteurs pouvant entraîner une variation qualitative nutritionnelle des insectes.

Les principaux acteurs Européens du secteur sont présentés ainsi que les débouchés et usages actuels des différents produits alimentaires issus des insectes.

La législation Française et Européenne qui encadre l'utilisation de cette ressource à l'heure actuelle est exposée dans cette thèse ainsi que son évolution rapide afin de faire face aux attentes des industriels du secteur.

Les précautions et mises en garde relatives à l'usage à grande échelle des insectes. En effet, plusieurs points sont abordés ici, notamment pour garantir la sécurité sanitaire du consommateur, la préservation de la ressource elle même et son impact environnemental.

DISCIPLINE : Pharmacie

MOTS-CLES : Entomophagie, insecte, alimentation humaine et animal, sécurité sanitaire, débouchés

INTITULE ET ADRESSE DE L'U.F.R. OU DU LABORATOIRE :

U.F.R des Sciences Pharmaceutiques