



Université de Limoges Faculté de Pharmacie

Année 2018

Thèse N°

Thèse pour obtenir le diplôme d'Etat de docteur en Pharmacie

Présentée et soutenue publiquement

le 18 septembre 2018

par

Romain Boullaud

né le 4 mai 1988, à Limoges

LES NOUVEAUX COMPORTEMENTS ALIMENTAIRES

La consommation des insectes et des arachnides

Examineurs de la thèse :

M. le Professeur Jean-Luc Duroux

Président

M. le Maître de Conférences Universitaires Bertrand Courtioux

Directeur

Mme le Maître de Conférences Universitaires Françoise Marre-Fournier

Juge

Mme le Docteur Sylvie Legeleux

Juge

M. le Docteur Gilles Simonpaoli

Juge





Université de Limoges
Faculté de Pharmacie

Année 2018

Thèse N°

Thèse pour obtenir le diplôme d'Etat de docteur en pharmacie

Présentée et soutenue publiquement

le 18 septembre 2018

par

Romain Boullaud

né le 4 mai 1988, à Limoges

LES NOUVEAUX COMPORTEMENTS ALIMENTAIRES

La consommation des insectes et des arachnides

Examineurs de la thèse :

M. le Professeur Jean-Luc Duroux

Président

M. le Maître de Conférences Universitaires Bertrand Courtioux

Directeur

Mme le Maître de Conférences Universitaires Françoise Marre-Fournier

Juge

Mme le Docteur Sylvie Legeleux

Juge

M. le Docteur Gilles Simonpaoli

Juge



Liste des enseignants

PROFESSEURS :

BATTU Serge	CHIMIE ANALYTIQUE
CARDOT Philippe	CHIMIE ANALYTIQUE ET BROMATOLOGIE
DESMOULIERE Alexis	PHYSIOLOGIE
DUROUX Jean-Luc	BIOPHYSIQUE, BIOMATHEMATIQUES ET INFORMATIQUE
FAGNERE Catherine	CHIMIE THERAPEUTIQUE - CHIMIE ORGANIQUE
LIAGRE Bertrand	BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLECULAIRE
MAMBU Lengo	PHARMACOGNOSIE
ROUSSEAU Annick	BIOSTATISTIQUE
TROUILLAS Patrick	CHIMIE PHYSIQUE - PHYSIQUE
VIANA Marylène	PHARMACOTECHNIE

PROFESSEURS DES UNIVERSITES – PRATICIENS HOSPITALIERS DES DISCIPLINES PHARMACEUTIQUES :

MOESCH Christian	HYGIENE HYDROLOGIE ENVIRONNEMENT
PICARD Nicolas	PHARMACOLOGIE
ROGEZ Sylvie	BACTERIOLOGIE ET VIROLOGIE
SAINT-MARCOUX Franck	TOXICOLOGIE

ASSISTANT HOSPITALIER UNIVERSITAIRE DES DISCIPLINES PHARMACEUTIQUES :

CHAUZEIX Jasmine	HEMATOLOGIE
JOST Jérémy	PHARMACIE CLINIQUE

MAITRES DE CONFERENCES :

BASLY Jean-Philippe	CHIMIE ANALYTIQUE ET BROMATOLOGIE
BEAUBRUN-GIRY Karine	PHARMACOTECHNIE



BILLET Fabrice	PHYSIOLOGIE
CALLISTE Claude	BIOPHYSIQUE, BIOMATHEMATIQUES ET INFORMATIQUE
CHEMIN Guillaume	BIOCHIMIE FONDAMENTALE
CLEDAT Dominique	CHIMIE ANALYTIQUE ET BROMATOLOGIE
COMBY Francis	CHIMIE ORGANIQUE ET THERAPEUTIQUE
COURTIOUX Bertrand	PHARMACOLOGIE, PARASITOLOGIE
DELEBASSEE Sylvie	MICROBIOLOGIE-PARASITOLOGIE-IMMUNOLOGIE
DEMIOT Claire-Elise	PHARMACOLOGIE
FROISSARD Didier	BOTANIQUE ET CRYPTOLOGAMIE
GRIMAUD Gaëlle	CHIMIE ANALYTIQUE ET CONTROLE DU MEDICAMENT
JAMBUT Anne-Catherine	CHIMIE ORGANIQUE ET THERAPEUTIQUE
LABROUSSE Pascal	BOTANIQUE ET CRYPTOLOGAMIE
LEGER David	BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLECULAIRE
MARION-THORE Sandrine	CHIMIE ORGANIQUE ET THERAPEUTIQUE
MARRE-FOURNIER Françoise	BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLECULAIRE
MERCIER Aurélien	PARASITOLOGIE
MILLOT Marion	PHARMACOGNOSIE
MOREAU Jeanne	MICROBIOLOGIE-PARASITOLOGIE-IMMUNOLOGIE
MUSUAMBA TSHINANU Flora	PHARMACOLOGIE
PASCAUD Patricia	PHARMACIE GALENIQUE – BIOMATERIAUX CERAMIQUES
POUGET Christelle	CHIMIE ORGANIQUE ET THERAPEUTIQUE

VIGNOLES Philippe

BIOPHYSIQUE, BIOMATHEMATIQUES ET
INFORMATIQUE

ATTACHE TEMPORAIRE D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE :

BONNET Julien

(01.10.2016 au 31.08.2018)
CHIMIE PHYSIQUE – PHYSIQUE

LAVERDET Betty

(1.09.2016 au 31.08.2018)
PHARMACIE GALENIQUE

PROFESSEURS EMERITES :

BUXERAUD Jacques

DREYFUSS Gilles

MOESCH Christian



*Un repas, aussi frugal soit-il, est un instant
de rencontre. Il peut être une occasion de joie
et de communion, unissant profondément les gens.*

Elise Boulding

Remerciements

À mon Directeur de Thèse,

Monsieur Bertrand Courtioux, Maître de Conférences Universitaires de Pharmacologie et de Parasitologie à la Faculté de Pharmacie de Limoges.

Je vous remercie de m'avoir fait l'honneur de diriger ma thèse. Et de m'avoir accompagné avec bienveillance sur un sujet qui m'a réellement passionné.

Pour votre disponibilité permanente, votre réactivité, votre confiance et surtout pour votre grande sympathie.

Pour m'avoir fait aimer l'OAG en première année et la parasitologie par la suite. Et pour vos nombreux encouragements.

Veuillez accepter l'expression de mon profond respect et qu'il me soit permis de vous témoigner ma plus profonde reconnaissance.

À mon Président de Jury,

Monsieur Jean-Luc Duroux, Doyen et Professeur de Biophysique, de Biomathématiques et d'Informatique à la Faculté de Pharmacie de Limoges.

Je vous remercie de votre gentillesse et de l'honneur que vous me faites en acceptant de présider le Jury de ma thèse.

Pour m'avoir enseigné et fait aimer les mathématiques et la biophysique en première année ainsi que pour la sympathie que vous m'avez toujours témoignée.

Je vous prie d'accepter l'expression de ma profonde estime et veuillez trouver ici le témoignage de mes remerciements les plus sincères.

À mes Juges,

Madame Françoise Marre-Fournier, Maître de Conférences Universitaires de Biochimie et de Biologie Moléculaire à la Faculté de Pharmacie de Limoges.

Je vous remercie de m'avoir fait l'honneur et le plaisir d'être membre du Jury de ma thèse.

Pour votre disponibilité, votre gentillesse et votre empathie.

Pour m'avoir enseigné et m'avoir fait apprécier la Biochimie clinique en quatrième année.

Veuillez trouver ici l'expression de mes plus vifs remerciements.

À Madame Sylvie Legeux, Docteur en pharmacie au Palais-sur-Vienne,

Je te remercie de m'avoir fait l'honneur et l'immense plaisir d'avoir accepté d'être membre de mon Jury.

Je vous remercie Murielle Villeger et toi pour votre accueil dans votre officine où régnait une



ambiance très agréable et sympathique.

Je te remercie infiniment et te fait part de ma plus grande estime.

Monsieur Gilles Simonpaoli, Docteur en pharmacie à Cervione,

Je te remercie de me faire l'honneur et la joie de te compter comme membre de mon Jury.

Je te remercie de ton aide, ton soutien et tes conseils avisés qui m'ont permis de réaliser mon travail de thèse. Je te remercie aussi pour les photos des étals du marché de Bangkok.

Je te remercie également de ton professionnalisme que tu as su m'enseigner et pour tes visions avant-gardistes que j'ai toujours appréciées.

Pour ta profonde bienveillance en toutes choses et pour ton soutien indéfectible.

Pour ces veillées au Village où nous avons bâti un monde meilleur et où nos échanges et réflexions philosophiques nous ont ouvert de nouvelles perspectives d'esprit qui nourrissent mon développement personnel. Pour le semi-marathon de Millau que l'on a réussi ensemble.

Pour tout ce que l'on a accompli et ce que l'on accomplira.

Trouve ici l'expression de mon affection et de mon amitié la plus sincère.

Je remercie également,

L'ensemble de l'équipe officinale de la pharmacie de Cervione et de Casamozza que j'ai eu la chance de côtoyer et avec qui j'ai passé de nombreuses journées. Je vous remercie pour la bonne ambiance et la bonne humeur dans laquelle j'ai pu travaillé et me perfectionner. Je vous remercie et vous estime grandement : Marie-Ange, Myriam, Léa, Sandrine et Delphine.

L'ensemble de l'équipe officinale de la pharmacie du Palais-sur-Vienne. J'adresse mes sincères et profonds remerciements aux deux titulaires, Mme Sylvie Legeleux et Mme Villeger pour leur accueil chaleureux. Merci à Paule et à Pascale pour leur gentillesse. Je vous témoigne ici ma sincère gratitude et ma profonde estime.

L'ensemble de l'équipe officinale de la pharmacie de Compreignac où j'ai fait mes premières armes au comptoir. Merci à Didier et Isabelle. Merci à Christelle et Patricia. Voyez ici l'expression de ma profonde estime et de mes remerciements les plus sincères.

Françoise Couic-Marinier, je te remercie pour l'affection que tu m'as toujours portée qui est bien entendu réciproque. Pour m'avoir conforté dans mon attrait pour la phytothérapie et enseigné les voies possibles. Je suis admiratif devant ton humilité et ton savoir.

Marie-Ange Nicolai, cela a été un honneur pour moi de travailler à tes côtés. Ton dévouement, ton professionnalisme et ta gentillesse resteront gravés dans ma mémoire et je te remercie pour tout cela.

Paul Beissy, merci pour soutien et ta sympathie qui ont rendu les journées de travail plus agréables. Merci pour ces bons moments passés ensemble et ces moments de fou rire, assis derrière le comptoir. J'espère que tu mèneras à bien tes projets.

Brigitte Bertozzi-Amelure, merci pour tes enseignements et pour ton soutien. J'espère que tu as trouvé le bonheur en Corrèze.

Jean-François Piras, pour nos coopérations et pour l'élaboration d'un parcours de soin de qualité.

Je remercie toutes les personnes qui ont soutenu mon travail par leurs implications.

Je dédie cette thèse :

À mes parents,

Sans vous le néant, tout simplement. Je vous remercie d'avoir fait ce que je suis. Je suis content d'avoir pu grandir dans une famille qui a su m'apporter tant de connaissances et d'ouvertures intellectuelles.

Je pense que les mots n'existent pas pour exprimer l'amour que je vous porte.

À mon frère,

On a grandi ensemble et nous partageons un langage qui nous est propre. Je suis fier de toi petit frère. Courageux, volontaire et plein d'audace, tu as traversé les dunes et je serai toujours là pour toi.

À ma famille,

À mes ancêtres, mes oncles, mes tantes, mes cousins, mes cousines, mes nièces et mes neveux. Merci pour votre soutien de grande qualité. Merci pour tous ces bons moments passés ensemble. Une pensée pour ceux qui nous ont quittés, ils resteront immortels dans nos cœurs. Que Dieu prenne soin de vous.

Il serait trop long d'exprimer tout l'amour que je porte à chacun d'entre vous. J'espère simplement que vous le savez...

À ma douce,

À ma douce, tendre et chérie. J'espère que l'on continuera à être heureux et qu'on ne cessera d'être nous. Que l'avenir nous ouvre les portes du Destin qui est le nôtre. Reste toi-même, c'est très bien ainsi. On a encore des sentiers à cheminer et des chemins à sentir. Que l'on soit couvert de joies, de sourires et de soleil. Je t'aime.

Aux funambules,

À Alexandre Hottiaux, depuis notre plus tendre enfance lorsque l'on s'est rencontré à la maternelle à Beauvais, jamais personne n'aurait pu croire le chemin qui nous attendait. Après ton départ en Dordogne qui m'a beaucoup chagriné, nous nous sommes retrouvés pour enfin découvrir la Gascogne. Maintenant, cruel Destin, nous voilà à la portée de ses deux mains. Le Temps est mandarin...

À Hadrien Martin, até frérot ! Du haut de tes deux pieds, des sentiers escarpés nous avons parcouru, toujours fidèle, toujours à l'appel. Entends dans cette interjection ma profonde et sincère affection. Surtout ne change jamais, tu bénéficies de mon soutien éternel et de ma profonde admiration.

À Mathieu Peluchonneau, je te remercie pour la pimps mobile qui a suscité beaucoup de passion. Merci de m'avoir fait découvrir le Berry et la botte d'Éguzon. Merci d'être ma source d'inspiration. Puisses-tu être heureux et réaliser tes rêves de paix. Merci pour ton oie de Guinée. J'espère que tu continueras à jouer à Risk avec style...

À Pierre-Julien Boucheteil, merci d'être toi, merci d'avoir été mon toit. La nostalgie envahira chacun des songes de ta case créole mais si une larme coule n'oublie pas que le bon temps reviendra.

À Tibo Lagorce, aucun doute, l'électricité entre nous créera des milliers d'étoiles. Trekker d'exception, merci de me rendre fier quand je te vois en haut de l'affiche.

À Julien Rifieu pour ta force d'inertie qui, heureusement, n'en est pas moins apaisante. Pour ces longs moments de travail intense, ces longs moments de rédaction à la bibliothèque et ces longs moments de doute et de fatigue. Pour ces aventures de l'impossible dont il est donc possible de revenir sains et saufs. Pour la pastèque que tu m'as offerte à Ulcinj. Pour ta malice et ta clairvoyance. Tes humeurs resteront obscures à mes yeux mais non sans charme. Je te remercie aussi pour tes précisions sur l'entomophagie traditionnelle réunionnaise.

À Mathieu Quatresous, merci de m'avoir fait découvrir et aimer Châteauroux. Je te remercie pour ta générosité, ta sincérité et ta spontanéité. Aux moments de « gouaires » et de « teutlins » passé ensemble, à très bientôt.

À Aurélien Raynaud, depuis les « pointards », botte secrète du Puy las Rodas et le langage léché des « kaji ». Nos armes dans le « kajisme » sont devenus des faits héroïques et des barouds d'honneur. De l'eau a coulé sous les ponts, et le « kajisme » demeurera incompris mais il a eu le mérite de voir le jour. Compagnon décoiffé de la première heure, je me souviens de la viande grillée à la « piquaud ». Merci pour le poulailler, j'espère que sur ton « l'île » tu vis le bonheur.

À Yohann Desbordes, Yvon, ton courage, ta discrétion et ton abnégation ne peuvent que me tenir en admiration. Je te souhaite réussite dans tout ce que tu entreprends.

À la Maison du Peuple,

Merci à Rémi Constans, à Valentin Contet et à Maxime Eberhard d'avoir tenu et animé la maison du Peuple. Au nombreux merveilleux moments passés, emplis d'innocence et de joie. Vous resterez gravés à jamais dans mon cœur.

À Mehdou, merci pour tous ces moments passés ensemble, ces projets, ces voyages et notre amitié. J'espère qu'un jour on concrétisera.

À Angelard,

À Charles-Henri Blancher, la liste de mes remerciements envers toi est si longue que je pourrais en écrire un livre. Avec beaucoup d'émotions, je me remémore les révisions au Canada et ses ours sauvages. Cette deuxième année extraordinaire passée ensemble, tout ces souvenirs qui se bousculent depuis qu'Angelard nous habite. Merci d'être toujours mon ami. Je serai toujours là pour toi.

À mes amis de la faculté,

À Aurélie Bacq, ma petite « Oré », il serait long de t'exprimer mon affection. Mais j'ai l'assurance que tu la connais. Tu me connais mieux quiconque et nous avons passé de nombreuses années ensemble. Merci pour tes conseils avisés et ta vision du monde qui m'a toujours permis de progresser.

À Loulard, j'ai hâte de te montrer mon 360 en wake sur le Lac de ton pays dans l'unique but de te prouver que je suis dans le monde du ride.

À Sophie, Benji, Boisou, Étienne, Philippe, Jean-Mi, Hugo, Jean, Fofo, Coatch, Caro, Zach, Denis, Slimane... tous mes amis de la fac, la liste est longue et la place est courte. Merci pour tous ces moments passés à la fac à étudier mais aussi en dehors.

À Philippe Glomot, mon fifouin, toujours à l'appel, et mon cœur rayonne de joie à chaque fois que je te rencontre. Merci pour tout ces moments.

À Nico Quatresous, merci de m'avoir enseigné le rugby avec Steph. Et merci pour tout ce que m'a apporté le rugby corpo. À notre finale à Rennes, à Pizza Paï. Je vous souhaite tout le bonheur du monde avec Alex.

À Aymeric Azaïs, merci de surclasser toute âme qui vive. Merci d'être le meilleur en toutes disciplines notamment intellectuelles. Le soleil pâlit devant ta somptuosité, prouesse qui, me laisse coi et admiratif. Merci mon ami.

À pulitu,

À Jean-Philippe Pieve, pour ton sens de l'humour et ton dévouement sincère en amitié. Pour ces moments partagés. Ces rires, ces joies et ces peines. Ne lâche rien et surtout... reste attentif. À bientôt Amigo.

À Jean-Jacque Peri, pour l'EVG extraordinaire à Rio et pour ces journées de travail acharné dans la bonne humeur. Pour cette retournée acrobatique et surtout pour el perro. Je te manifeste ici mon affection et mon admiration la plus sincère.

À Guillaume Peri, pour nos parties de golf, nos séances de cross-fit, nos échanges, nos réflexions et nos victoires. Pour notre côté british qui pimente toutes les choses. Pour notre épanouissement et surtout pour ta confiance. Tu pourras toujours compter sur moi.

À Adrien Calassi, junior, pour nos escapades à Paris, pour ta gentillesse, ta grande culture

et ta modestie.

À mes amis du rugby,

À Antoine Ratinaud, ami du lycée, pour nos bons souvenirs en TPE avec Clément, on a partagé des moments très fun, j'espère qu'il y en aura d'autres, sache que tu resteras mon ami. Je te souhaite le meilleur pour les années à venir.

À Maxime Ratinaud, je te souhaite d'obtenir ce que tu souhaites et mérites.

À Mathias Atayi, grand poète, la plume est entre tes mains, je crois en toi...

À Mazu, pour ton humour aussi acide qu'hilarant..

À Anthony Cros, merci d'entretenir père Dodu.

À Rousserie pour ton intégrité et pour les gemmes d'Istanbul.

À mes amis de Limoges,

Erwann Cariou, depuis tant d'années on s'est suivi et apprécié, on se connaît de longue date et je suis fier de te savoir heureux et épanoui.

Adrien Beaudrouet, ami d'enfance, ami de fac, ami de thèse. On se connaît depuis très longtemps et le Destin nous a gardé ensemble. Je te souhaite tout le bonheur avec « la Souille » dans votre nouvelle maison.

Romain Arnaud et Maton, si le « kajisme » c'est ma loi... « kajisme » éternel... Merci pour le « kajisme » dont tu es le seigneur. Le « kajisme » renaîtra de ses cendres tel le phœnix. Mon ami j'entretiens une profonde admiration envers ton courage, ta force, ton abnégation et tes tactes glissés. Je vous souhaite tout le bonheur que vous désirez et de vous épanouir dans votre relation fusionnelle. Vous pourrez toujours compter sur moi.

À Brennus.

À Julien Gay, merci pour poutre, chacha, merci pour ton humour, merci pour les rides en ville merci pour les expéditions au jojo et au Roussillon. Et oui chacha ton parcours fut long et loin d'être terminé, à bientôt... à Clermont...

Charles Kwartnik, de belles années passées, de belles années à venir. La Chine t'a fait grandir et tu es devenu un magnifique fruit. J'espère qu'on appréciera l'avenir tout autant que le passé.

Franck et Flo Pihan, On se connaît depuis fort longtemps, merci de ne pas m'avoir oublié, merci de m'avoir soutenu sans rien attendre en retour. Ta générosité et ton dévouement en amitié m'ont profondément touché. Tu as su trouvé la personne qui partage ces valeurs et j'espère que vous aller vivre le grand bonheur avec vos enfants dans votre petit cocon douillé. Je vous souhaite le meilleur mes amis, vous le méritez.

À La Maille, mon cher ami, merci pour la Normandie et le Mont Saint-Michel. Merci d'avoir « leadé le kajisme »... Merci pour le Moyen-Âge et ses plats en sauce. Merci pour la fouace, le lait lardé et le poulet en croûte. Que Lutèce te soit prospère. Merci pour « le jubilé Voutier » qui demeurera dans les annales à jamais.

À Sharezzi, merci pour tes charentaises...

À Loyer.

À Romain Picaud, mon premier ami.

À Michel Délhoménie, pour notre belle rencontre...

À mes amis du Puy las Rodas,

À Gouno, Mathias et Ali.

À Arnaud Doguié.

À mes amis de Petrópolis

À Rudy, on s'est rencontré à la fac, ami un jour, ami toujours...

À Joao, Pedro et la team, merci de toujours nous avoir aidé et de nous avoir accueilli comme vos frères...

À l'associu a castellana,

Merci à François-Xavier, merci pour ces soirées d'hiver et d'été où l'on ne s'est jamais ennuyé, après avoir reconstruit la planète, nous nous sommes toujours suivi dans nos escales. Pour le meilleur et pour le pire. J'espère que vous serez heureux dans votre maison avec Alicia. De nouvelles aventures nous attendent mon ami.

Antoine, Jean-Antoine, Catherine pour ces parties de belotes et à tous les membres de l'association.

Mika, après tous nos chemins et pistes, j'espère que nous réaliseront notre temple shaolin sur le plateau.

Aux limousins, aux compreignacois, aux cervionais et à San-Nicolao.

À François Morisse.

À Georges Piezzoli.

Aux dominiquais particulièrement à Leister, aux pêcheurs de Marigot et Georges le lucien sans vous cette thèse n'aurait sans doute pas vu le jour.

À l'île de Sainte-Lucie.

Aux nombreuses personnes que j'ai oublié, je vous rajouterai à la main je vous l'assure. À toutes les personnes que j'ai côtoyés et rencontrés. Veuillez trouver ici l'assurance de ma gratitude.



Droits d'auteurs

Cette création est mise à disposition selon le Contrat :

« **Attribution-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de modification 3.0 France** »

disponible en ligne : <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>



Table des matières

Introduction.....	30
I. Anatomie, biologie et taxinomie des insectes et des arachnides.....	34
I.1. Place des insectes et des arachnides dans le monde vivant.....	34
I.2. Anatomie, biologie et taxinomie des insectes.....	37
I.2.1. Anatomie des insectes.....	37
I.2.1.1. Tégument.....	38
I.2.1.2. Métamérie.....	39
I.2.1.3. Tête.....	40
I.2.1.3.1. Régions du crâne.....	40
I.2.1.3.2. Antennes.....	41
I.2.1.3.3. Yeux composés.....	42
I.2.1.3.4. Ocelles et stemmates.....	42
I.2.1.3.5. Bouche.....	42
I.2.1.4. Thorax.....	43
I.2.1.5. Pattes.....	44
I.2.1.6. Ailes.....	44
I.2.1.7. Abdomen.....	44
I.2.2. Biologie des insectes.....	45
I.2.2.1. Absence de métamorphose ou développement amétabole.....	46
I.2.2.2. Métamorphose incomplète ou développement hétérométabole.....	47
I.2.2.3. Métamorphose complète ou développement holométabole.....	49
I.2.3. Taxinomie des insectes.....	50
I.2.3.1. Aptérygotes.....	51
I.2.3.1.1. Ordre des <i>Archæognatha</i> (thysanoures : poissons d'argent).....	51
I.2.3.1.2. Ordre des <i>Diplura</i>	51
I.2.3.1.3. Ordre des <i>Protura</i>	52
I.2.3.1.4. Ordre des <i>Collembola</i>	52
I.2.3.2. Ptérygotes.....	53
I.2.3.2.1. Exoptérygotes.....	53
I.2.3.2.1.1. Ordre des <i>Ephemeroptera</i> (éphémères).....	53
I.2.3.2.1.2. Ordre des <i>Odonata</i> (libellules et demoiselles).....	53
I.2.3.2.1.3. Ordre des <i>Plecoptera</i> (perles).....	55
I.2.3.2.1.4. Ordre des <i>Orthoptera</i> (sauterelles, criquets et grillons).....	56
I.2.3.2.1.5. Ordre des <i>Phasmoptera</i> (phasmes).....	57
I.2.3.2.1.6. Ordre des <i>Dermaptera</i> (perce-oreilles).....	57
I.2.3.2.1.7. Ordre des <i>Embioptera</i>	58
I.2.3.2.1.8. Ordre des <i>Blattoptera</i> (cafards et blattes).....	59
I.2.3.2.1.9. Ordre des <i>Mantoptera</i> (mantes).....	59
I.2.3.2.1.10. Ordre des <i>Isoptera</i> (termites).....	60
I.2.3.2.1.11. Ordre des <i>Anoplura</i> et <i>Mallophaga</i> (poux).....	61
I.2.3.2.1.12. Ordre des <i>Siphonaptera</i> (puces).....	61
I.2.3.2.1.13. Ordre des <i>Hemiptera</i> (punaises, cigales, cicadelles, pucerons, cochenilles).....	62
I.2.3.2.1.14. Ordre des <i>Thysanoptera</i> (thrips).....	62
I.2.3.3. Endoptérygotes.....	63
I.2.3.3.1. Ordre des <i>Neuroptera</i> (fourmilions, hémérobes et chrysopes).....	63
I.2.3.3.2. Ordre des <i>Mecoptera</i> (mouches scorpions et raphidies).....	64
I.2.3.3.3. Ordre des <i>Lepidoptera</i> (papillons).....	64
I.2.3.3.4. Ordre des <i>Trichoptera</i> (phryganes).....	64
I.2.3.3.5. Ordre des <i>Diptera</i> (mouches et moustiques).....	65
I.2.3.3.6. Ordre des <i>Hymenoptera</i> (abeilles, guêpes et fourmis).....	65
I.2.3.3.7. Ordre des <i>Strepsiptera</i>	66

I.2.3.3.8. Ordre des <i>Coleoptera</i> (scarabées).....	66
I.2.4. Rôles des insectes dans l'écologie et dans l'agriculture humaine.....	67
I.3. Anatomie, biologie et taxinomie des arachnides.....	68
I.3.1. Anatomie des arachnides.....	68
I.3.1.1. Corps.....	68
I.3.1.2. Appendices articulés.....	69
I.3.1.3. Yeux.....	69
I.3.1.4. Organes tisseurs.....	69
I.3.2. Biologie des arachnides.....	70
I.3.3. Taxinomie des arachnides.....	70
I.3.3.1. Scorpions ou scorpionides.....	70
I.3.3.2. Pseudo-scorpions ou chernètes.....	71
I.3.3.3. Solifuges, solpugides ou galéodes.....	72
I.3.3.4. Schizomides, schizomes ou tartarides.....	72
I.3.3.5. Amblypyges ou phrynes.....	73
I.3.3.6. Uropyges, pédipalpes, télyphores ou télyphonides.....	74
I.3.3.7. Palpigrades ou microtélyphonides.....	74
I.3.3.8. Ricinules, ricinulides ou podogones.....	75
I.3.3.9. Opilions ou phalangides.....	75
I.3.3.10. Araignées.....	76
I.3.3.11. Acariens.....	76
I.3.4. Rôle des arachnides dans les écosystèmes.....	76
II. Entomophagie traditionnelle et insectes comestibles.....	79
II.1. Entomophagie traditionnelle dans le monde.....	79
II.1.1. Insectes : ressource alimentaire naturelle renouvelable.....	82
II.1.2. Élevages d'insectes.....	83
II.1.3. Principaux groupes d'insectes consommés.....	84
II.1.3.1. Coléoptères.....	85
II.1.3.1.1. Charançon du palmier (<i>Rhynchophorus sp.</i>).....	85
II.1.3.1.2. Coléoptères aquatiques.....	87
II.1.3.1.3. Chahuis.....	87
II.1.3.1.4. Zandettes.....	87
II.1.3.1.5. <i>Platycœlia lutescens</i> (scarabée).....	88
II.1.3.1.6. Autres coléoptères.....	88
II.1.3.2. Lépidoptères (papillons).....	89
II.1.3.2.1. <i>Witchetty grub</i> (<i>Endoxyla leucomochla</i> et autres larves xylophages).....	89
II.1.3.2.2. Chenille du mopane (<i>Imbrasia belina</i>).....	90
II.1.3.2.3. Chenille africaine du papillon (<i>Bunæopsis aurantiaca</i>).....	91
II.1.3.2.4. Chenille du bambou (<i>Omphisa fuscidentalis</i>).....	91
II.1.3.2.5. Vers du maguey (<i>Comadia redtencheri</i> et <i>Ægiale hesperialis</i>).....	92
II.1.3.2.6. Ver à soie (<i>Bombyx mori</i>).....	93
II.1.3.3. Hyménoptères (guêpes, abeilles et fourmis).....	94
II.1.3.3.1. Fourmis.....	94
II.1.3.3.2. Guêpes.....	95
II.1.3.3.3. Abeilles.....	96
II.1.3.4. Orthoptères (sauterelles, criquets et grillons).....	96
II.1.3.4.1. Sauterelles et criquets.....	96
II.1.3.4.1.1. Chapulines.....	98
II.1.3.4.1.2. Sauterelle comestible (<i>Ruspolia differens</i>).....	98
II.1.3.4.2. Grillons.....	99
II.1.3.5. Homoptères (cigales, cicadelles et cochenilles).....	99
II.1.3.6. Hétéroptères (punaises).....	99
II.1.3.6.1. Punaises d'eau géantes ou nêpes géantes (<i>Lethocerus indicus</i>).....	101
II.1.3.6.2. Huiles comestibles issues des punaises du melon et du mil au Soudan	

.....	102
II.1.3.7. Isoptères (termites).....	102
II.1.3.8. Diptères.....	103
II.1.3.9. Arachnides (araignées, scorpions et acariens).....	104
II.2. Insectes comestibles en Europe.....	105
II.2.1. Historique.....	106
II.2.2. Cadre légal en Europe.....	107
II.2.2.1. Cadre légal dans la production.....	107
II.2.2.2. Cadre légal pour l'alimentation humaine.....	108
II.2.2.3. Le cas des poudres d'insecte.....	112
II.2.2.4. Principaux obstacles à la consommation et à la production des insectes dans les pays occidentaux.....	113
II.2.2.4.1. Obstacles majeurs du cadre légal.....	113
II.2.2.4.2. Obstacles culturels et économiques.....	114
II.2.2.5. Provenance des insectes comestibles sur le marché européen.....	114
II.2.2.6. Élevages d'insectes européens.....	115
II.2.2.7. Transformation des insectes pour l'alimentation.....	117
II.2.2.7.1. Différents types de produits de consommation.....	117
II.2.2.7.2. Insectes entiers.....	117
II.2.2.7.3. Granulés, poudres et pâtes.....	118
II.2.2.7.4. Huiles d'insecte.....	118
II.2.2.8. Insectes et arachnides comestibles sur le marché européen.....	118
II.2.2.8.1. Insectes entiers déshydratés.....	119
II.2.2.8.1.1. Ténébrion ou ver de farine (<i>Tenebrio molitor</i>).....	119
II.2.2.8.1.2. Criquet.....	120
II.2.2.8.1.3. Grillon.....	121
II.2.2.8.1.4. Larves buffalo (<i>Zoophobas morio</i>).....	122
II.2.2.8.1.5. Cigale.....	122
II.2.2.8.1.6. Fourmi tisserande (<i>Oecophylla smaragdina</i>).....	122
II.2.2.8.1.7. Punaise d'eau géante (<i>Lethocerus indicus</i>).....	123
II.2.2.8.1.8. Scarabée plongeur (<i>Cybister limbatus</i>).....	123
II.2.2.8.1.9. Tarentule zèbre (<i>Haplopelma albostriatum</i>).....	123
II.2.2.8.1.10. Scorpion doré de Mandchourie (<i>Mesobuthus martensii</i>).....	124
II.2.2.8.2. Poudre d'insecte.....	124
II.2.2.8.3. Produits dérivés.....	125
II.2.2.8.3.1. Tablettes de chocolat aux insectes.....	125
II.2.2.8.3.2. Pâtes aux insectes.....	125
II.2.2.8.3.3. Biscuits aux insectes.....	125
II.2.2.8.3.4. Barres énergétiques aux insectes.....	125
II.2.2.8.3.5. Buqadilla.....	126
II.2.2.8.3.6. Steak d'insectes.....	126
II.2.2.8.4. Boissons alcoolisées aux insectes.....	126
II.2.2.8.5. Huile d'insecte.....	127
III. Valeurs nutritionnelles des insectes.....	129
III.1. Apports énergétiques alimentaires.....	129
III.2. Protéines.....	131
III.3. Acides aminés.....	133
III.4. Teneurs en matières grasses.....	134
III.5. Glucides.....	135
III.6. Micronutriments.....	136
III.6.1. Éléments minéraux.....	136
III.6.2. Vitamines.....	137
III.6.3. Fibres.....	138
III.6.4. Facteurs antinutritionnels.....	139

IV. Avantage de la consommation des insectes.....	140
IV.1. Santé.....	140
IV.2. Environnement.....	141
IV.2.1. Émissions de gaz à effets de serre et production d'ammoniaque.....	142
IV.2.2. Besoin en terres arables.....	143
IV.2.3. Conversion alimentaire.....	143
IV.2.4. Besoins en eau.....	144
IV.2.5. Question du bien-être animal.....	145
IV.2.6. Risque de zoonose.....	146
IV.3. Moyen de subsistance pour le tiers monde.....	146
V. Sécurité alimentaire et conseils du pharmacien d'officine.....	149
V.1. Consommation des insectes et sécurité alimentaire.....	149
V.1.1. Sécurité microbiologique.....	149
V.1.2. Toxicité.....	150
V.1.3. Indigestibilité.....	151
V.1.4. Contamination inorganique.....	152
V.1.5. Allergies.....	152
V.2. Conseils du pharmacien d'officine.....	153
Conclusion.....	157
Références bibliographiques.....	159
Serment de Galien.....	171



Table des figures

Figure 1 : L'arbre de la vie. Dessiné d'après la phylogénie proposée par la mégaclassification de Ruggiero et al.	34
Figure 2 : Hiérarchie du classement scientifique du vivant.....	36
Figure 3 : Coupe schématique du tégument d'un insecte.	38
Figure 4 : Schéma général de la morphologie d'un insecte.	40
Figure 5 : Principales régions de la tête d'une blatte de face et de profil.	40
Figure 6 : Exemples illustrant la diversité des antennes chez les insectes.	41
Figure 7 : Œil composé d'une abeille.	42
Figure 8 : Exemples illustrant la diversité des pièces buccales chez les insectes.	43
Figure 9 : Cycle biologique d'un insecte amétabole (thysanoure).	47
Figure 10 : Cycle biologique d'un insecte paurométabole (criquet).	48
Figure 11 : Cycle biologique d'un insecte hémimétabole (libellule).....	48
Figure 12 : Cycle biologique d'un insecte holométabole (papillon).	49
Figure 13 : Poisson d'argent. <i>Lepisma saccharina</i>	51
Figure 14 : <i>Diplura. Campodea fragilis</i>	52
Figure 15 : <i>Collembola. Orchesella cincta</i>	52
Figure 16 : Schéma d'un éphémère.	53
Figure 17 : <i>Odonata</i> . Schéma d'une demoiselle et d'une libellule au repos.	55
Figure 18 : <i>Plecoptera. Leuctra geniculata</i>	56
Figure 19 : Les différents groupes d'orthoptères.	57
Figure 20 : Photographie d'un phasme.	57
Figure 21 : Photographie d'un perce-oreille.	58
Figure 22 : Photographie d'un embioptère.	58
Figure 23 : Photographie d'une blatte.	59
Figure 24 : Photographie d'une mante religieuse. <i>Mantis religiosa</i>	60
Figure 25 : Photographie d'une termitière australienne.	60
Figure 26 : Poux de corps à leurs différents stades de développement vus au microscope. <i>Pediculus humanus</i>	61
Figure 27 : Puce vue au microscope.	61
Figure 28 : Photographie d'une punaise verte ponctuée. <i>Nezara viridula</i>	62
Figure 29 : Photographie d'une cigale comestible.	62
Figure 30 : Thrips.	63
Figure 31 : Photographie d'un <i>Neuroptera. Nemoptera bipennis</i>	63
Figure 32 : Photographie d'une mouche scorpion. <i>Panorpa communis</i>	64
Figure 33 : Photographie d'un phrygane.	65
Figure 34 : Morphologie d'une araignée.	68
Figure 35 : Photographie d'un scorpion.	71
Figure 36 : Photographie d'un pseudo-scorpion.	71
Figure 37 : Photographie d'un solifuge.	72
Figure 38 : Dessin d'un schizomide.	73
Figure 39 : Photographie d'un amblypyge.	73
Figure 40 : Photographie d'un uropyge.	74
Figure 41 : Dessin d'un palpigrade.....	74
Figure 42 : Dessin d'une ricinule.	75
Figure 43 : Photographie d'un opilion.	76
Figure 44 : En vert, les pays du monde qui consomment traditionnellement des insectes..	79
Figure 45 : Nombre d'espèces comestibles enregistré par pays.	82
Figure 46 : Ferme d'élevage de grillons en Thaïlande.....	84
Figure 47 : Insectes comestibles par ordre.	85
Figure 48 : Photographie d'un charançon du palmier adulte et de sa larve.	86
Figure 49 : Photographie d'une assiette de larves du charançon du palmier préparées selon une recette traditionnelle camerounaise.	87

Figure 50 : Photographie de <i>zandettes</i> frites.	88
Figure 51 : Photographie de <i>Witchetty grubs</i>	90
Figure 52 : Photographie de chenilles mopanes séchées et fumées.	91
Figure 53 : Photographie d'un panier de chenilles du bambou. (<i>Omphisa fuscidentalis</i>).	91
Figure 54 : Photographie de vers du bambou frits et de chrysalides de vers à soie frites ..	91
Figure 55 : Photographie de vers du maguey frits accompagnés de la préparation pour <i>tacos</i>	92
Figure 56 : Photographie de chrysalides de vers à soie frites sur les étals d'un marché à Bangkok, Thaïlande.	94
Figure 57 : Photographie d'une fourmi « pot-de-miel ».	95
Figure 58 : Vente traditionnelle de nids de guêpes sur l'île de la Réunion.	96
Figure 59 : Criquets frits sur les étals d'un marché de Bangkok, Thaïlande.	98
Figure 60 : Photographie d'une assiette de punaises.	100
Figure 61 : Photographie du caviar mexicain prêt à la consommation.	100
Figure 62 : Punaises d'eau géantes frites sur les étals d'un marché à Bangkok, Thaïlande.	102
Figure 63 : Photographie de la reine d'une termitière africaine.	103
Figure 64 : Photographie d'une assiette d'œufs de moustique au Mexique.	104
Figure 65 : Photographie d'une assiette de tarentules du zèbre.	104
Figure 66 : Scorpions frits sur les étals d'un marché Thaïlandais.	105
Figure 67 : Photographie de brochettes de scorpion sur un étal du marché de Bangkok, Thaïlande.	105
Figure 68 : Statut des insectes comestibles en Europe.	111
Figure 69 : Élevage de vers de farine aux Pays-Bas par l'entreprise Protifarm©.	117
Figure 70 : Vers de farine lyophilisés et salés prêts à la consommation.	120
Figure 71 : Criquets lyophilisés et salés prêts à la consommation.	120
Figure 72 : Grillons lyophilisés et salés prêts à la consommation.	121
Figure 73 : Scarabées plongeurs, bouillis et séchés prêt à être consommés.	123
Figure 74 : Farine de ténébrions meuniers	124
Figure 75 : Hamburger contenant un steak à base d'insectes dans un supermarché hollandais.	126
Figure 76 : Bénéfices environnementaux à la consommation des insectes.	141
Figure 77 : Rejets de gaz à effet de serre par animaux et par jour.	142
Figure 78 : Conversion de 10 kg d'aliments végétaux en poids de l'animal.	144
Figure 79 : Impact écologique pour produire un kilo de viande.	145

Table des tableaux

Tableau 1: Classification simplifiée des arthropodes selon Ruggiero et al.	37
Tableau 2: Classification des ordres d'insectes et exemples.	51
Tableau 3: Valeurs énergétiques de certaines espèces d'insectes, de la viande de porc et de bœuf.	130
Tableau 4: Comparaison des teneurs moyennes en protéines des insectes et autres animaux comestibles.	132
Tableau 5: Teneurs en acides aminés essentiels de quelques insectes et de la viande de bœuf.	133
Tableau 6: Comparaison de la teneur en matières grasses de viandes et d'insectes.	135
Tableau 7: Teneurs en matières grasses et en quelques acides gras sélectionnés au hasard de plusieurs espèces d'insectes comestibles consommées au Cameroun.	135
Tableau 8: Doses journalières recommandées de minéraux essentiels comparées aux teneurs constatées chez la chenille mopane.	137
Tableau 9: Teneurs en fibres dans le poids sec de certains insectes.	138

Table des abréviations

ANSES	Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (agence française)
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FASFC	Agence fédérale pour la sécurité de la chaîne alimentaire (agence belge)
GES	Gaz à effet de serre
HACCP	Hazard Analysis Critical Control Point
IPIFF	International Platform of Insects for Food and Feed (organisme international, principalement européen)
NVWA	<i>Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit</i> (agence hollandaise)
OSAV	Office fédéral de la sécurité alimentaire et des affaires vétérinaires (office suisse)
PAT	Protéines animales transformées
WUR	Wageningen University and Research



Introduction

Introduction

La consommation des insectes et des arachnides est devenue un sujet d'actualité depuis quelques années dans les médias. Ceux-ci leur prêtent des vertus nutritionnelles miraculeuses en allant parfois jusqu'à professer que les insectes seraient l'aliment du futur en remplacement de la viande.

Désormais, il est admis dans l'opinion public que les insectes sont une source importante de protéines animales à l'instar des aliments carnés, cependant, l'entomophagie est généralement vue comme une curiosité et suscite le dégoût, on peut le remarquer, par exemple, dans les défis télévisés qui consistent à manger des insectes, où les candidats doivent braver ce dégoût instinctif pour le remporter.

L'entomophagie est, néanmoins, pratiquée depuis la nuit des temps et les insectes figurent au menu quotidien de nombreuses personnes à travers le monde principalement dans les pays tropicaux, et les marchés traditionnels aux insectes du Mexique et de Bangkok sont devenus des attractions prisées par les touristes occidentaux.

En Europe et plus généralement en Occident, la consommation des insectes est longtemps restée marginale. Mais aujourd'hui, il existe un engouement nouveau pour l'entomophagie qui est en plein essor. En effet, il est possible de trouver en vente sur internet ou en boutiques spécialisées des insectes comestibles. Certes, le marché reste encore limité mais il se développe progressivement. De plus, les institutions mondiales et les chercheurs semblent s'intéresser de plus en plus aux insectes comestibles, en raison de leurs vertus nutritionnelles mais aussi en raison des potentialités économiques et de la possibilité de nourrir le monde à faible coût financier et environnemental.

Face à ces nouveaux comportements alimentaires le pharmacien d'officine se doit d'informer les patients sur les avantages, les intérêts et les risques potentiels de l'entomophagie et de rester vigilant en cas de survenue d'intoxications alimentaires ou d'effets indésirables.

Dans un premier temps, nous allons décrire les insectes et les arachnides qui sont des animaux présents dans notre environnement quotidien qui restent, cependant, très mal connus. Après avoir vu leurs anatomies et leurs modes de vie, nous nous intéresserons à leurs taxinomies.

Dans un deuxième temps, nous nous intéresseront à leur consommation traditionnelle dans le monde, en s'appuyant sur des exemples d'insectes comestibles consommés traditionnellement et couramment dans les pays tropicaux et ensuite nous réaliserons l'état des lieux en Europe.

Ensuite, nous étudierons les valeurs nutritionnelles des insectes.

Puis, nous nous intéresseront aux avantages de l'entomophagie.

Enfin, nous verront les risques potentiels de la consommation des insectes et les conseils du pharmacien d'officine face à ces nouveaux comportements alimentaires.



I.

Anatomie, biologie et taxinomie des insectes et des arachnides



I. Anatomie, biologie et taxinomie des insectes et des arachnides

I.1. Place des insectes et des arachnides dans le monde vivant

Depuis l'Antiquité les hommes de science ont cherché à classer les êtres vivants. Effectivement, de nombreuses classifications ont vu le jour et se sont succédées au fil des siècles. Néanmoins, pendant les trente dernières années, avec le développement de la génétique, un certain nombre d'organismes se sont avérés différents de ce que l'on croyait. En conséquent, un nombre important de classifications sont apparues et aujourd'hui beaucoup d'entre elles coexistent. Nous avons retenu, dans notre thèse, la classification phylogénétique de M. A. Ruggiero et de *Catalogue of Life*. (1–3)

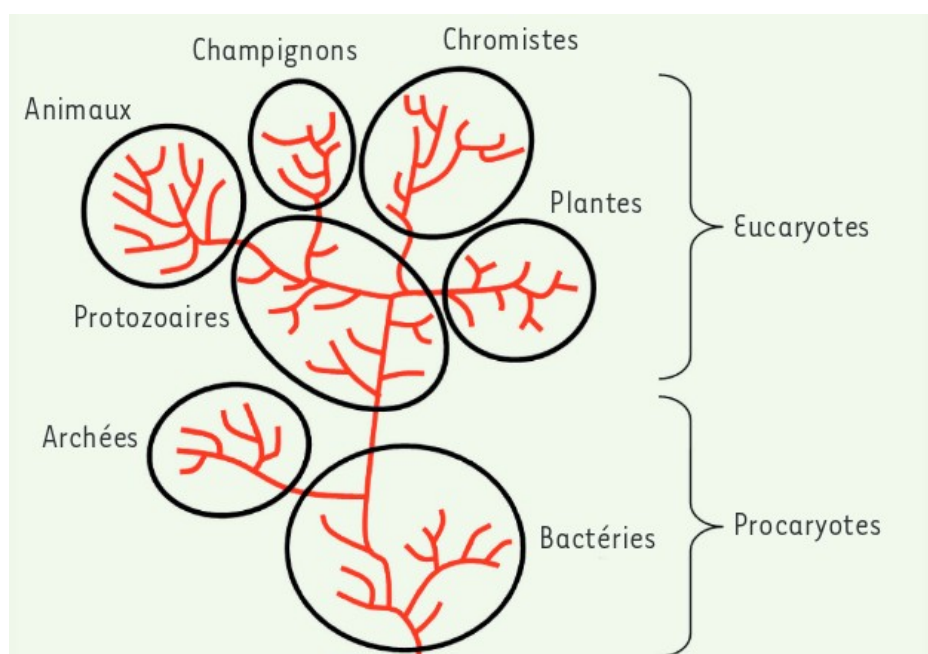


Figure 1 : **L'arbre de la vie**. Dessiné d'après la phylogénie proposée par la mégaclassification de Ruggiero et al. (126)

Selon cette classification phylogénétique, le monde vivant est tout d'abord séparé en deux empires, ou domaines : celui des procaryotes et celui des eucaryotes. Chacun de ces deux empires est divisé en règnes. Dans l'empire des procaryotes, on retrouve le règne des bactéries et celui des archées, et dans l'empire des eucaryotes, les règnes des protozoaires, des chromistes, des plantes, des champignons et enfin celui des animaux.

Chaque règne est séparé en plusieurs embranchements, ou *phylum*, eux-mêmes divisés en classes. Chacune des classes se composent de plusieurs ordres coupés en familles, dans

lesquelles on retrouve les genres puis les espèces. (2)

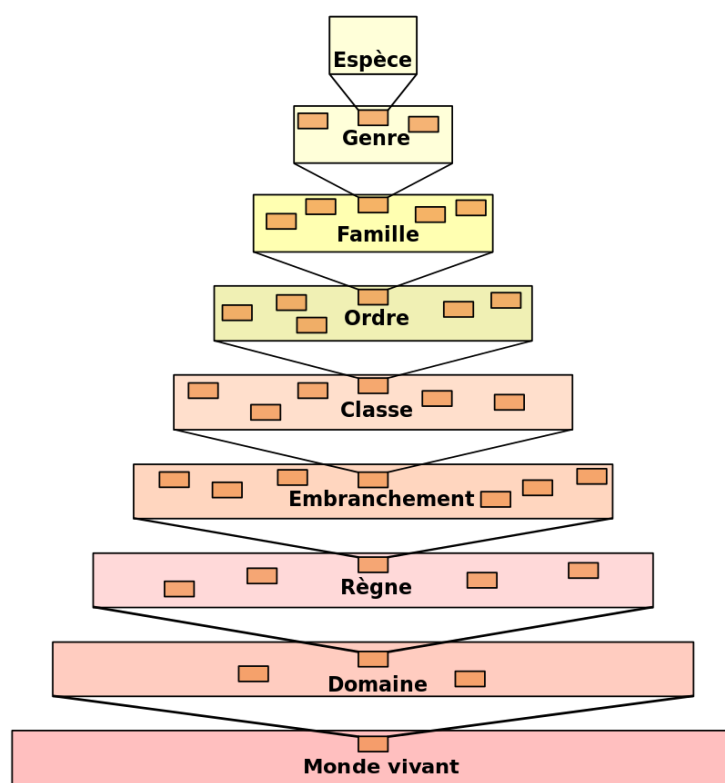


Figure 2 : **Hiérarchie du classement scientifique du vivant.**

Les insectes et les arachnides font partie du règne animal et appartiennent à l'embranchement des arthropodes (2,3). Cet embranchement regroupe des animaux invertébrés, au squelette externe chitineux, dont le corps est annelé et pourvu d'appendices articulés.

L'embranchement des arthropodes comporte quatre sous-embranchements. (2,3)

Le premier sous-embranchement est celui des chélicérates qui contient, entre d'autres classes, celle des arachnides qui est la classe des araignées, des scorpions et des acariens.

Ensuite, vient le sous-embranchement des crustacés, qui sont des invertébrés marins, tels que les crevettes et les crabes.

Puis, le sous-embranchement des hexapodes qui comporte la classe des insectes, des collemboles, des diploures et des protoures.

Enfin, on trouve également dans l'embranchement des arthropodes, le sous-embranchement des myriapodes (les mille-pattes et les scolopendres).

Phylum	Subphylum	Classe	Exemples
Arthropoda	Chelicerata	Arachnida (arachnides)	Scorpions, araignées
	Crustaceæ		Crevettes, crabes
	Hexapoda	Insecta (insectes)	Fourmis, papillons, abeilles
	Myriapoda		Mille-pattes, scolopendres

Tableau 1: **Classification simplifiée des arthropodes selon Ruggiero et al. (2)**

Le terme d'arthropode se réfère à leurs appendices articulés. En effet, celui-ci provient du grec ancien *arthron* (*αρθρον*) qui signifie « articulation » et de *podos* (*ποδος*) qui se traduit par « pied ».

Quant au terme d'insecte, il provient du latin *insecta* signifiant « bêtes coupées » faisant référence à la segmentation de leurs corps. Enfin, le terme d'arachnide provient du grec *arachné* (*αράχνη*) se traduisant par « araignée ».(4)

Donc, les insectes et les arachnides, malgré leur ressemblance apparente qui contribue à leur association fréquente dans l'imaginaire collectif, n'appartiennent pas au même sous-embranchement et présentent des différences notables autant dans leurs anatomies que dans leurs modes de vie.

I.2. Anatomie, biologie et taxinomie des insectes

Les insectes sont des animaux qui appartiennent à l'embranchement des arthropodes et au sous-embranchement des hexapodes alors que les arachnides, quant à elles, font partie du sous-embranchement des chélicérates.

Aujourd'hui, environ un million d'espèces d'insectes ont été nommées et décrites, et selon des estimations sérieuses, les entomologistes pensent qu'il en reste au moins autant à découvrir. C'est plus que toutes les autres espèces animales réunies.

De plus, les insectes occupent presque tous les types d'habitats connus en dehors des régions polaires et des profondeurs des mers. Ils peuvent être aquatiques, terrestres, parasites, fousseurs ou adopter des modes de vie et des régimes alimentaires variés. Ces animaux présentent en conséquence une grande diversité d'anatomies, de biologies et d'apparences. (5)

I.2.1. Anatomie des insectes

Le tégument du corps des insectes possède un squelette externe, ou exosquelette, qui est divisé en trois grandes parties, ou tagmes : la tête, le thorax et l'abdomen.

De plus, les insectes possèdent trois paires de pattes et très souvent des ailes. Ils possèdent également une paire d'antennes qui correspond aux organes sensoriels. Et leur bouche est constituée de pièces buccales qui présentent une importante variété en fonction de leur régime alimentaire. (5–7)

I.2.1.1. Tégument

Les insectes sont caractérisés par la présence d'une cuticule, au moins à l'état adulte, qui recouvre tout l'extérieur du corps, tenant lieu de squelette externe. Celle-ci est sécrétée par l'épiderme et l'ensemble forme le tégument. (7,8)

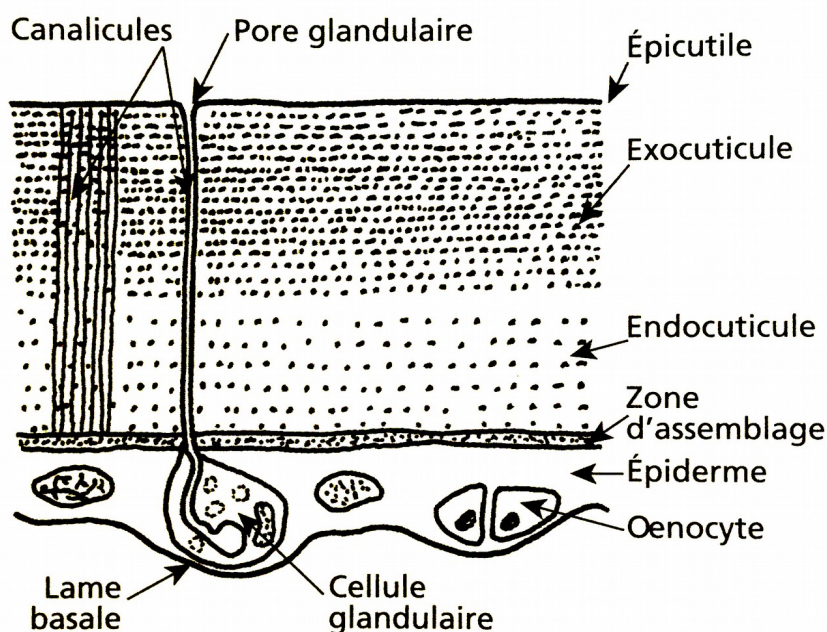


Figure 3 : Coupe schématique du tégument d'un insecte. (8)

Cette cuticule est constituée de trois couches superposées. À l'extérieur, l'épicuticule, très mince et faite de lipoprotéines tannées, est recouverte d'un ciment sécrété par les cellules épidermiques et d'une couche cireuse formée d'esters d'acides gras. Cet ensemble assure l'imperméabilité de la cuticule. Sous l'épicuticule, se trouvent l'exocuticule, rigide et colorée, et l'endocuticule, souple et incolore. L'une et l'autre sont constituées, en proportions variables, de chitine et de protéines diverses. Par ailleurs, chez les myriapodes, le tégument est calcifié en étant imprégné de sels de calcium et de magnésium, lui conférant une importante rigidité. (7,8)

La cuticule des insectes est rigide car elle est sclérifiée, cependant, au niveau des membranes articulaires, elle présente simplement une fine couche chitineuse, leur conférant une grande souplesse. Ces membranes articulaires assurent la mobilité des différents segments du corps et des pièces articulées comme les pattes et les antennes. (7,8)

Leur squelette externe rigide leur implique une croissance discontinue qui s'effectue par mues successives. (7,8)

De plus, ce tégument est formé de plusieurs segments appelés métamères.

I.2.1.2. Métamérie

Le corps des insectes présente une symétrie bilatérale et leur corps est métamérisé, c'est-à-dire, constitué de segments. Chaque segment comporte primitivement : une paire de sacs coelomiques, une paire d'appendices et une paire de ganglions nerveux. Au cours de l'évolution, ces segments se sont assemblés pour former des tagmes et on distingue trois tagmes chez les insectes : la tête, le thorax et l'abdomen. (6,8)

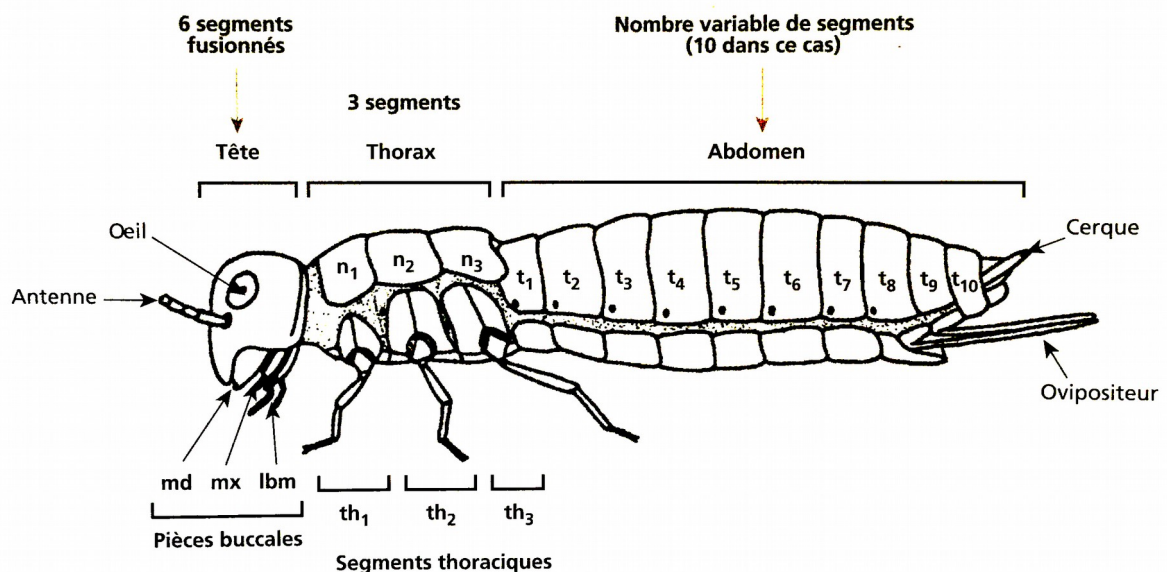


Figure 4 : Schéma général de la morphologie d'un insecte. (8)

I.2.1.3. Tête

La tête est constituée d'un crâne divisé en plusieurs régions. La tête porte également des annexes : les antennes, les pièces buccales, les yeux composés et les ocelles.

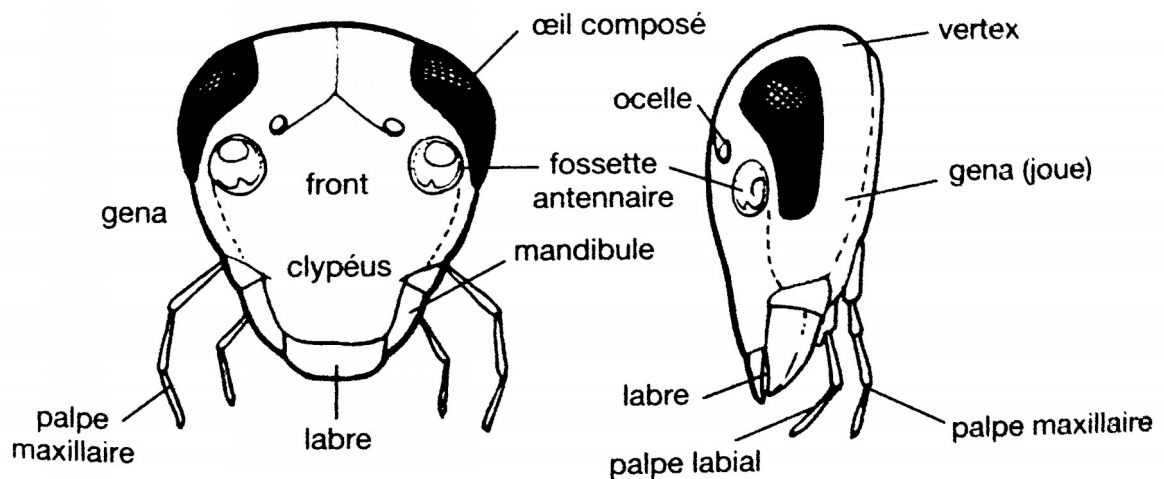


Figure 5 : Principales régions de la tête d'une blatte de face et de profil. (5)

I.2.1.3.1. Régions du crâne

Le crâne des insectes est constitué de plusieurs régions (5,7,8) :

- le *vertex* est une aire qui se trouve au sommet du crâne, au-dessus et entre les yeux ;
- le *front* est la région antérieure située entre les deux antennes, il porte l'ocelle médian ;
- le *clypeus* fait suite au front et le *labre* est la pièce buccale qui le prolonge ;
- les *genæ*, ou joues, sont situées en dessous des yeux et leur partie inférieure porte les mandibules, ou mâchoires.

I.2.1.3.2. Antennes

La tête porte également une paire d'antennes, dont les deux rôles principaux sont l'olfaction et le toucher. Les antennes sont composées de trois articles principaux : le scape, le pédicelle et le flagelle. On observe chez les insectes une très grande variété d'antennes. (5,8)

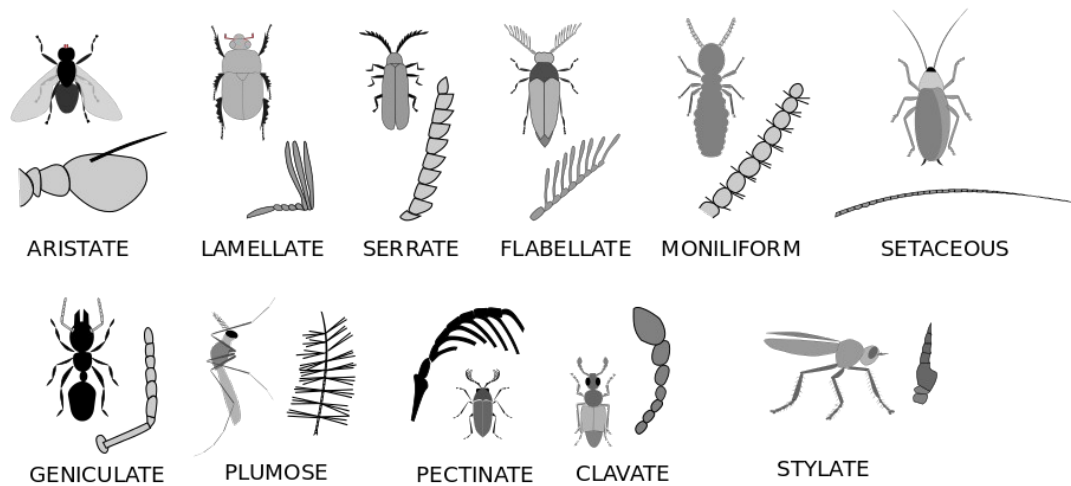


Figure 6 : Exemples illustrant la diversité des antennes chez les insectes. (127)

I.2.1.3.3. Yeux composés

Les yeux composés sont deux gros yeux latéraux. Ces yeux sont constitués par un grand nombre d'unités juxtaposées, les ommatidies. Chaque unité est un œil élémentaire formé par une cellule sensorielle et un cristallin. Extérieurement, on ne voit que les cristallins formant une multitude de facettes à la surface de l'œil. Certains insectes possèdent plusieurs milliers de facettes comme les libellules, alors que d'autres, comme les fourmis, en ont peu et même certains insectes fouisseurs n'en ont pas du tout. (5,7,8)

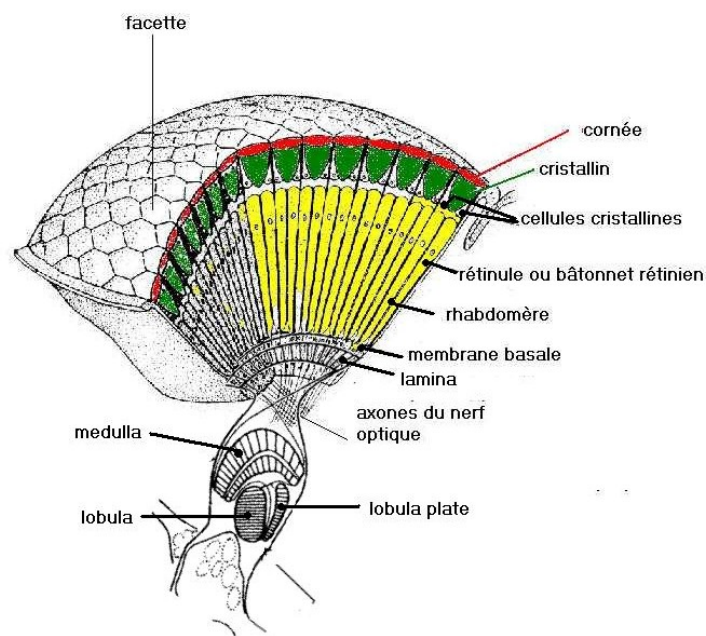


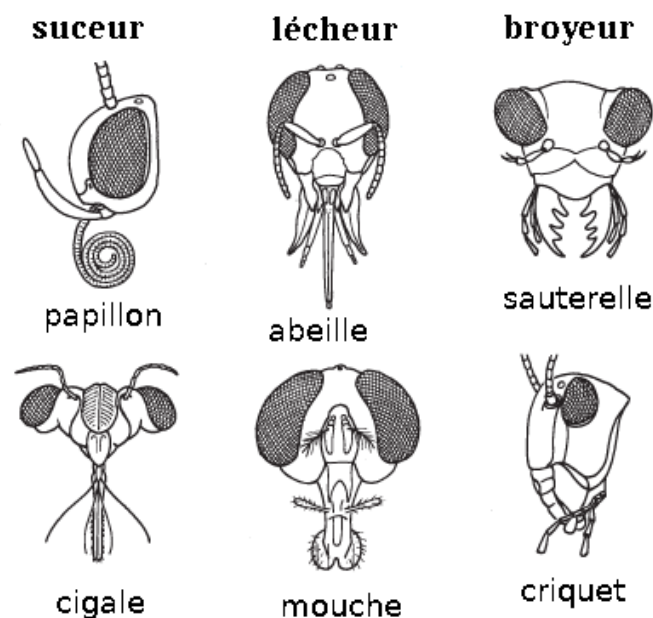
Figure 7 : Œil composé d'une abeille. (128)

I.2.1.3.4. Ocelles et stemmates

En plus des yeux composés, beaucoup d'insectes possèdent également des yeux simplifiés, appelés ocelles, normalement au nombre de trois, et disposés en triangle sur le *vertex*, ou parfois, sur le devant de la tête. Les ocelles ressemblent à de très petites perles de verre. Leur rôle semble limité à la détection des variations d'intensité lumineuse. Les yeux simplifiés se nomment les stemmates chez les larves. (6–8)

I.2.1.3.5. Bouche

Leur bouche est entourée par plusieurs appendices, qui sont en fait des membres primitifs modifiés, et que l'on nomme pièces buccales. La forme de ces appendices varient considérablement en fonction du régime alimentaire de l'insecte, mais le schéma de base, qui correspond au type broyeur, est constitué par quatre ensembles : le labre ou lèvre supérieure ; une paire de mandibules ou mâchoires ; une paire de maxilles ou mâchoires secondaires ; et le *labium* ou lèvre inférieure.



© 2011 Encyclopædia Britannica, Inc.

Figure 8 : Exemples illustrant la diversité des pièces buccales chez les insectes. (129)

Les maxilles et le *labium* servent à maintenir les aliments pendant qu'ils sont broyés par les mandibules, puis à les pousser à l'intérieur de la bouche pour les ingérer.

Ils sont aussi munis d'appendices sensoriels, les palpes maxillaires et labiaux, qui examinent et évaluent les qualités gustatives de la nourriture.

En outre, les insectes qui se nourrissent uniquement d'aliments liquides, présentent de

grandes modifications des pièces buccales, les mandibules sont absentes chez les papillons, insectes de type suceurs, et les maxilles accolées, se sont énormément allongées pour former la trompe ou *proboscis* servant à pomper le nectar des fleurs. Les mandibules sont également absentes chez la cigale.

Chez les moustiques et les taons, de type piqueurs-suceurs, elles sont longues et effilées et constituent une aiguille hypodermique qui permettra de pomper le sang de leurs victimes. Les punaises ont aussi des pièces buccales particulièrement contondantes pour sucer la sève des végétaux.

Chez les guêpes et les abeilles, il existe le type broyeur-lécheur, où les pièces buccales modifiées permettent de se nourrir du nectar des plantes. Les mandibules sont également absentes chez la mouche domestique. (5,8)

I.2.1.4. Thorax

Le thorax des insectes est composé de trois segments que l'on nomme de la tête vers l'arrière : le prothorax, le mésothorax et le métathorax ; et chacun d'eux porte une paire de pattes. Les ailes, lorsqu'elles existent, sont portées par les deux derniers segments n_2 et n_3 (voir Figure 4 p. 28).

Le prothorax est souvent réduit à un simple collier et les méso et métathorax ont souvent fusionné en une seule unité dont les deux parties deviennent difficiles à distinguer. (5,6,8)

I.2.1.5. Pattes

À l'exception de quelques formes aberrantes, et particulièrement les femelles de cochenilles, tous les insectes ont trois paires de pattes. Les pattes sont divisées en cinq parties. La coxa, le trochanter, le fémur, le tibia et le tarse.

La taille et la forme relative des pattes varient beaucoup en fonction du mode de locomotion principal de l'insecte ou de la fonction que peut avoir certaines pattes. Ainsi beaucoup d'espèces prédatrices ont les pattes antérieures préhensiles. (5,8)

I.2.1.6. Ailes

Elles sont présentes chez la plupart des insectes. Chez l'insecte typique, elles sont au nombre de quatre, insérées sur le thorax.

Les deux paires peuvent être membraneuses, comme chez les libellules et les papillons, ou bien la paire antérieure peut être très coriace et servir de protection aux ailes postérieures, qui sont beaucoup plus délicates, lorsqu'elles sont au repos. Les ailes antérieures, de ce dernier type sont appelées *tegmen*s quand elles ont conservé des formes d'ailes normales tout en ayant un aspect de cuir. Chez les coléoptères, elles ont l'aspect d'une carapace, on

les nomme alors élytres, elles sont cornées, très dures, et recouvrent complètement les ailes postérieures, si bien qu'au repos, on peut croire que ces insectes sont aptères.

Les ailes postérieures sont absentes chez les vraies mouches et sont transformées en balanciers qui participent à la stabilisation du vol.

Enfin, certains insectes sont dépourvus d'ailes. (5,8)

I.2.1.7. Abdomen

L'abdomen des insectes adultes est formé de 11 segments, bien que tous ne soient pas visibles, chacun d'eux possède une plaque dorsale et une plaque ventrale appelées respectivement tergite et sternite.

L'abdomen n'a pas de vrais membres mais la partie terminale porte une paire d'appendices appelés les cerques. Ils sont très visibles chez certains insectes comme les perce-oreilles. Les cerques peuvent servir à maintenir la femelle pendant l'accouplement.

Les *genitalia* ou organes reproducteurs sont portés par les huitièmes et neuvièmes segments abdominaux. La forme des *genitalia* est très variable et d'une grande valeur systématique, en particulier si les espèces apparaissent peu différenciables. Elles sont souvent cachées à l'intérieur du corps et prolongées chez la femelle par l'ovipositeur qui lui permet de déposer ses œufs. Leur forme est aussi très différente en fonction du substrat de la ponte. (5,8)

I.2.2. Biologie des insectes

Chez les insectes, les sexes sont séparés et souvent associés à un dysmorphisme sexuel marqué. Les appareils génitaux comprennent une paire de gonades et des gonoductes, auxquels sont généralement associées des glandes annexes. Chez les femelles, il existe souvent au moins un réservoir appelé spermathèque qui recueille et conserve les spermatozoïdes.

L'oviparité est la règle générale chez les insectes, les œufs pouvant être pondus à un stade plus ou moins embryonné, pouvant aller jusqu'à l'ovoviviparité. La viviparité est rare et se rencontre chez les glossines. Il existe également des cas de parthénogenèse (abeilles, pucerons, etc.). (8)

Ainsi, presque tous les insectes commencent leur vie sous la forme d'un œuf. Les embryons sont protégés par une coquille épaisse et étanche qui leur permet de survivre à des conditions climatiques très variées, depuis la sécheresse jusqu'au froid.

Sauf chez les espèces d'insectes primitifs, où l'adulte est très proche de la larve, les larves néonates sortant de l'œuf ressemblent très peu ou pas du tout à leurs parents. Toute la croissance se fait à l'état larvaire, et l'adulte, ou *imago*, est un organisme mature dont la croissance est terminée.

Comme tous les autres arthropodes, les insectes possèdent un squelette externe inextensible, ou exosquelette, qui ne peut grandir en même temps que le corps qu'il renferme, il devra alors être changé périodiquement pour un plus grand. La croissance s'effectue donc par étapes successives et chaque changement de peau ou d'exosquelette est appelé mue, ou ecdysie. Les périodes pendant lesquelles la larve se déplace et se nourrit s'appellent les inter-mues. Certains insectes muent jusqu'à cinquante fois, mais la plupart mue moins de dix fois. Les collemboles et les diploures muent tout au long de leur vie alors que les autres arrêtent de muer une fois la maturité sexuelle atteinte. L'insecte adulte est appelé *imago* et la dernière mue est appelée mue imaginale. Cette dernière mue est absente chez les insectes primitifs.

Les insectes primitifs sont aptères et n'effectuent pas de métamorphose, ainsi, la larve sortie de l'œuf est la copie conforme de l'adulte, mais parfois dépourvues de la maturité sexuelle.

Les insectes ailés sont séparés en deux grandes catégories fondées sur la façon dont se développent les ébauches alaires chez la larve. Elles peuvent être visibles ou totalement invisibles. Le premier groupe est les exoptérygotes qui ont une métamorphose incomplète et le second, les endoptérygotes qui ont une métamorphose complète. (5,6,8)

On va donc distinguer trois cycles de vie différents chez les espèces d'insectes.

I.2.2.1. Absence de métamorphose ou développement amétabole

Les insectes qui n'effectuent pas de métamorphose sont dits amétaboles. Les différences entre les larves et les adultes consistent alors en des différences de taille, de longueur des ailes et de maturité sexuelle. C'est le cas principalement des insectes primitifs mais aussi des poux, des blattes, des punaises, etc.

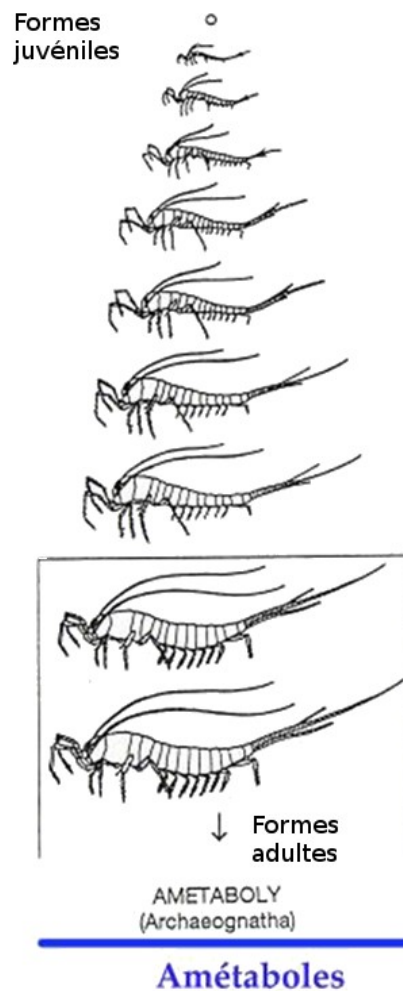


Figure 9 : Cycle biologique d'un insecte amétabole (thysanoure).
(130)

I.2.2.2. Métamorphose incomplète ou développement hétérométabole

Les insectes hétérométaboles sont une catégorie d'insectes ptérygotes chez lesquels ils n'y pas de stade immobile entre la larve et l'adulte, ce qui les distinguent des insectes holométaboles. En effet, contrairement à ces derniers, il n'y a pas de stade nymphal chez les hétérométaboles. Le développement externe des ailes et des pièces génitales va s'effectuer progressivement au cours des stades successifs, séparés par des mues, jusqu'à la dernière mue, ou mue imaginale, où l'insecte va se doter d'ailes, c'est une métamorphose incomplète. Les hétérométaboles diffèrent des amétaboles par l'existence de cette dernière mue imaginale. Chez les holométaboles, le développement des ailes et des pièces génitales se fait pendant le stade immobile, ou nymphal.

Si les juvéniles et les *imago*s occupent le même biotope et ont le même mode de vie, ils sont dits paurométaboles (orthoptères, hémiptères, etc.).



Figure 10 : Cycle biologique d'un insecte paurométabole (criquet). (127)

Lorsque les larves sont aquatiques et les imagos aériens, ils sont dits hémimétaboles (odonates, *cicadidæ*, éphémères, etc.).

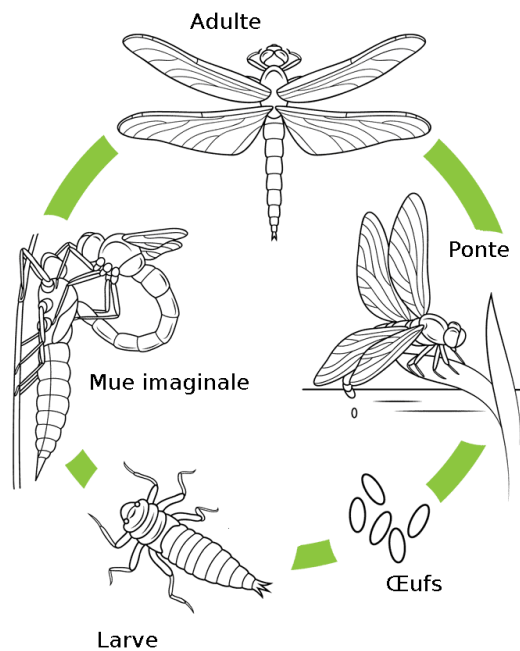


Figure 11 : Cycle biologique d'un insecte hémimétabole (libellule).

I.2.2.3. Métamorphose complète ou développement holométabole

L'insecte a un développement dit holométabole lorsque qu'il existe un stade nymphal immobile entre la larve et l'*imago*. La larve issue de l'œuf a une forme très différente de celle de l'adulte et a également un mode de vie différent. Le développement interne des ébauches alaires et des pièces génitales s'effectue pendant les stades larvaires. Mais la profonde transformation morphologique qui mène la larve à l'adulte s'effectue au cours d'un dernier stade nymphal immobile, où va s'effectuer notamment le développement externe des ailes et des pièces génitales, c'est une métamorphose complète.

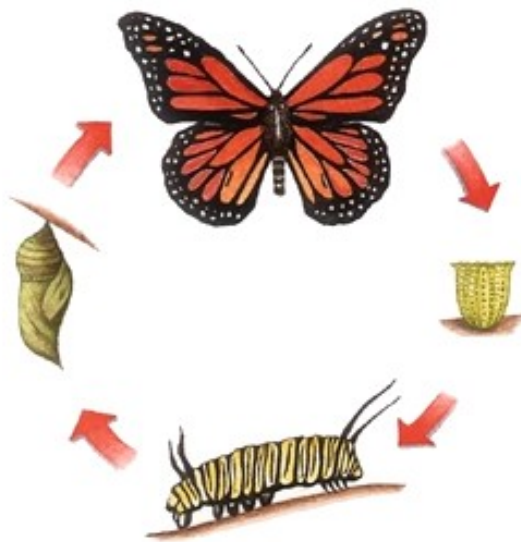


Figure 12 : Cycle biologique d'un insecte holométabole (papillon). (127)

On distingue trois grands types larvaires chez les holométaboles :

- les larves polypodes : leurs appendices locomoteurs sont nombreux ;
- les larves oligopodes : leurs appendices locomoteurs sont réduits ;
- les larves apodes : leurs appendices locomoteurs sont absents.

On distingue également deux grands types nymphaux chez les holométaboles

- les nymphes libres ;
- les nymphes coarctées ou pupe.

I.2.3. Taxinomie des insectes

Comme tous les êtres vivants, les insectes sont divisés en plusieurs ordres. Dans un souci de concision, nous utiliserons ici une classification simplifiée, fondée sur la structure des ailes et des pièces buccales. Nous retrouverons la classification phylogénétique exhaustive sur le site internet de *Catalogue of life* (3) ou dans l'article scientifique de Ruggiero et al. (2)

Aptérygote	
<i>Archæognatha</i>	Thysanoures
<i>Diplura</i>	Diploures
<i>Protura</i>	Protoures
<i>Collembola</i>	Collemboles
Exoptérygote	
<i>Ephemeroptera</i>	Éphémères
<i>Odonata</i>	Libellules
<i>Plecoptera</i>	Plécoptères
<i>Orthoptera</i>	Sauterelles, criquets, grillons, etc.
<i>Phasmoptera</i>	Phasmes
<i>Dermaptera</i>	Perce-oreilles
<i>Embioptera</i>	Embioptères
<i>Blattoptera</i>	Blattes
<i>Mantoptera</i>	Mantes
<i>Isoptera</i>	Termites
<i>Psocoptera</i>	Poux des livres
<i>Mallophaga</i>	Poux des oiseaux
<i>Anoplura, Mallophaga</i>	Poux
<i>Hemiptera</i>	Punaises, cigales, cicadelles, pucerons, cochenilles, etc.
<i>Thysanoptera</i>	Thrips
Endoptérygotes	
<i>Neuroptera</i>	Neuroptères
<i>Mecoptera</i>	Panorbes
<i>Lepidoptera</i>	Papillons
<i>Trichoptera</i>	Phryganes
<i>Diptera</i>	Mouches, Moustiques, etc.
<i>Siphonaptera</i>	Puces
<i>Hymenoptera</i>	Abeilles, guêpes, fourmis, etc.
<i>Strepsiptera</i>	Strepsiptères
<i>Coleoptera</i>	Coléoptères, scarabées, etc.

Tableau 2: Classification des ordres d'insectes et exemples. (2,3,5)

I.2.3.1. Aptérygotes

Ce sont des hexapodes aptères qui au cours de leur évolution ne développent jamais d'ailes. De nombreux entomologistes estiment que, exceptés les thysanoures (*Archæognatha*), les autres aptères ne sont pas des insectes. (5)

I.2.3.1.1. Ordre des *Archæognatha* (thysanoures : poissons d'argent)

Les thysanoures sont des insectes en forme de navette avec un corps recouvert d'écailles. On retrouve dans cette classe les poissons d'argent, aussi appelés lépismes, se nourrissant de papiers et vivant dans les maisons humides et souvent retrouvés dans les bibliothèques. (5)



Figure 13 : **Poisson d'argent.**
Lepisma saccharina. (131)

I.2.3.1.2. Ordre des *Diplura*

Les diploures ressemblent aux thysanoures, mais ne possèdent pas d'œil. On les retrouve dans le sol ou les litières, ils sont détritiphages ou carnivores. (5)



Figure 14 : **Diplura.**
Campodea fragilis.
(132)

I.2.3.1.3. Ordre des *Protura*

Ce sont de petits hexapodes terrestres fousseurs. (5)

I.2.3.1.4. Ordre des *Collembola*

Ils représentent le plus grand groupe des aptérygotes avec près de 8 000 espèces connues. La plupart des collemboles possèdent un organe de saut original, constitué par une petite fourche (*furca*) repliée sous l'abdomen. Leur tube ventral est caractéristique de l'ordre et ils possèdent des yeux simples (cornéules) au nombre de huit au maximum. C'est un groupe très diversifié occupant tous les écosystèmes terrestres. La majorité des collemboles vivent dans les litières et le sol mais on peut les retrouver sur les plages, les grottes ou dans l'eau. Ils se nourrissent de matières végétales décomposées, de champignons, de pollens, etc. (5)

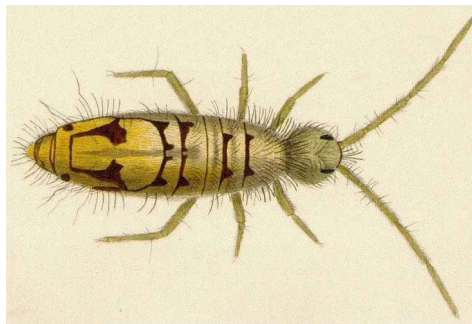


Figure 15 : ***Collembola***. *Orchesella cincta*. (133)

I.2.3.2. Ptérygotes

Ils regroupent principalement des insectes ailés, bien qu'il existe quelques ordres et espèces ou formes aptères dans la plupart des groupes suivants. (5)

I.2.3.2.1. Exoptérygotes

Ce sont des insectes à métamorphose incomplète, sans stade nymphal immobile. Les jeunes sont appelés larves, ou tout simplement, jeunes. (5)

I.2.3.2.1.1. Ordre des *Ephemeroptera* (éphémères)

Il y a environ 3 300 espèces connues.

Ce sont des insectes délicats aux téguments mous et au vol médiocre avec deux ou trois longs cerques, ou queues. Normalement, ils possèdent deux paires d'ailes, les ailes postérieures sont généralement plus petites que les antérieures et parfois absentes. Au repos les ailes sont maintenues jointives et verticales. Les yeux des mâles sont plus gros que ceux des femelles. Leurs antennes sont très petites. Les adultes ne se nourrissent pas. On les trouve près de l'eau et la plupart sont crépusculaires ou nocturnes. Les larves sont toutes aquatiques. La durée de vie imaginale est brève et uniquement liée à la reproduction.

(5)

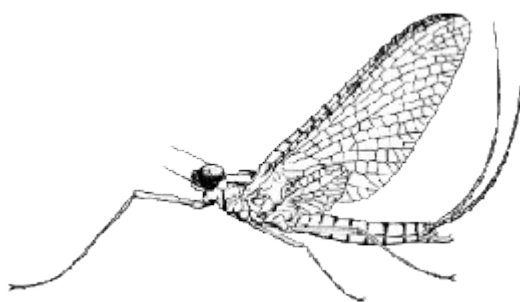


Figure 16 : Schéma d'un éphémère. (134)

I.2.3.2.1.2. Ordre des *Odonata* (libellules et demoiselles)

Les libellules et les demoiselles sont des insectes prédateurs aux grands yeux, aux petites antennes et aux corps relativement longs. Il existe environ 6 000 espèces connues. Elles se nourrissent d'autres insectes qu'elles attrapent au vol et maintiennent grâce à leurs pattes épineuses. Leurs ailes bruissent souvent au vol produisant un son caractéristique. Leur vol est rapide et très agile, si bien qu'elles peuvent se déplacer dans toutes les directions et même en marche arrière. Cette agilité remarquable est due au fait que leurs ailes antérieures et postérieures ne sont pas couplées et peuvent battre de manière indépendante. Leurs larves sont prédatrices et vivent dans l'eau en se nourrissant d'autres larves et d'insectes aquatiques. Une fois que la larve a terminé sa croissance, elle sort de l'eau en montant sur une plante ou tout autre support pour effectuer sa mue imaginale et prendre son envol. La plupart des libellules effectuent leur cycle biologique sur une année. Leur accouplement est particulier et reconnaissable, le couple s'attache l'un derrière l'autre et forme ce que l'on appelle le *tandem*. Après l'accouplement les œufs sont pondus directement dans l'eau ou insérés avec l'ovipositeur dans des tissus végétaux. Certaines femelles peuvent descendre sous l'eau pour pondre dans les tiges des plantes aquatiques.

(5)

Les *Odonata* sont divisés en deux sous-ordres : les zygoptères (les demoiselles) et les

anisoptères (libellules). La principale différence macroscopique entre ces deux sous-ordres repose sur la position des ailes au repos : chez les demoiselles les ailes sont maintenues verticalement, alors que chez les libellules, les ailes sont maintenues horizontalement étalées de chaque côté du corps. (5)



Figure 17 : **Odonata**. Schéma d'une demoiselle (en haut) et d'une libellule (en bas) au repos. (135)

I.2.3.2.1.3. Ordre des *Plecoptera* (perles)

Les plécoptères sont des insectes de couleurs ternes au corps mou et aplati comportant deux grands cerques, leur vol est médiocre. Leurs larves sont aquatiques et préfèrent les eaux courantes et fraîches. Une fois leur croissance terminée les larves montent sur les pierres du rivage pour effectuer leur mue imaginale. Une fois adulte, certaines espèces se nourrissent d'algues et de pollens mais beaucoup ne s'alimentent pas. De plus, les plécoptères adultes vivent généralement près de l'eau et se tiennent fréquemment sur les pierres et les arbres proches du torrent. Il existe 3 000 espèces de plécoptères mais moins de 150 vivent en Europe. (5)



Figure 18 : **Plecoptera**. *Leuctra geniculata*. (136)

I.2.3.2.1.4. Ordre des *Orthoptera* (sauterelles, criquets et grillons)

Dans cet ordre, on compte 17 000 espèces dont environ 50 % de criquets. Ce sont des insectes trapus aux pattes postérieures sauteuses très développées. Leur vol est généralement court mais certaines espèces volent bien.

Les mâles de nombreuses espèces effectuent des stridulations en frottant deux parties de leur corps. Ces stridulations ou « chant » ont un rôle important dans la rencontre des sexes. Par ailleurs, il a été répertorié cinq types de stridulations : le « chant de cour » du mâle en présence d'une femelle ; le « chant ordinaire » émis spontanément par le mâle isolé ; le « chant de rivalité » entre les mâles ; le « chant ou cri d'alerte » et le « chant ou cri d'assaut ». Les orthoptères sont tous ovipares et dans la grande majorité des espèces européennes c'est l'œuf qui hiberne. Il n'y a pas de nymphes et les orthoptères deviennent adultes par mues successives (cycle paurométabole). (5)

On retrouve dans cet ordre les grillons, les criquets et les sauterelles. Les criquets comprennent les familles des *Pyrgomorphidæ* et des *Acrididæ*. Les sauterelles sont représentées par la famille des *Tettigoniidæ* et les grillons par la famille des *Gryllidæ*. (5)



Figure 19 : Les différents groupes d'orthoptères. (137)

I.2.3.2.1.5. Ordre des *Phasmoptera* (phasmes)

Ce sont des insectes phyllophages qui ressemblent à des branchettes. Ils sont nocturnes et grâce à leur forme, ils se camouflent dans les buissons et les herbes la journée et sont très difficiles à voir. Il existe chez certaines espèces une reproduction par parthénogenèse et les mâles sont très rares. Les œufs ressemblent à des graines et passent l'hiver sur le sol pour éclore au printemps. Les jeunes diffèrent des adultes uniquement par leur taille plus réduite.

En Europe, il existe une demi-douzaine d'espèces de phasmes toutes aptères. On compte environ 2 500 espèces de phasmes dans le monde. (5)



Figure 20 : Photographie d'un phasme. (138)

I.2.3.2.1.6. Ordre des *Dermaptera* (perce-oreilles)

Les dermaptères sont des insectes allongés munis de pinces abdominales fortement recourbées chez les mâles alors qu'elles sont plus fines et droites chez les femelles.

La plupart des espèces sont aptères, cependant, quelques espèces sont ailées et pourvues d'élytres mais volent peu. Ils sont nocturnes et vivent dans le sol. Ils se nourrissent de débris végétaux ou animaux.

Les larves ressemblent intimement aux adultes. Chez certaines espèces, la mère s'occupe des jeunes jusqu'à ce qu'ils quittent le nid, toutefois, la plupart des espèces soignent au moins leurs œufs. Environ 30 espèces sur les 1 500 connues vivent en Europe. (5)



Figure 21 : Photographie d'un perce-oreille.
(139)

I.2.3.2.1.7. Ordre des *Embioptera*

Les embioptères sont des insectes petits et fins qui abritent des glandes à soie dans leurs pattes antérieures, les mâles peuvent être ailés ou non par contre les femelles sont toujours aptères. Ils vivent dans la litière de feuilles, le gazon, sous les pierres ou les morceaux de bois morts où ils tissent, avec la soie sécrétée par leurs glandes tarsales, des tunnels qu'ils ne quittent jamais. Ils se nourrissent de débris végétaux ou animaux. Ils se reproduisent de façon parthénogénétique et les mâles sont rares. Les larves et les jeunes vivent dans le tunnel maternel. Ils vivent en colonies mais ne coopèrent pas comme le font les termites, leur vie reste plus individuelle. Il existe environ 300 espèces dont la plupart sont tropicales. (5)



Figure 22 : Photographie d'un embioptère. (140)

I.2.3.2.1.8. Ordre des *Blattoptera* (cafards et blattes)

Les cafards et blattes sont des insectes aplatis avec de longues antennes et des pattes épineuses. Ce sont des coureurs rapides qui vivent sur le sol et se nourrissent de matières végétales et animales. Ils sont habituellement cosmopolites et anthropophiles et ils vivent souvent dans les maisons et les habitats humains. Les femelles pondent leurs œufs dans une oothèque qu'elle transporte à l'extrémité de son abdomen, les jeunes vont y naître : ils sont ovovivipares. Les jeunes ressemblent beaucoup aux adultes mais ils n'ont pas d'ailes. Il existe environ 3 500 espèces. Les espèces européennes sont souvent de petites tailles alors que les tropicales sont bien plus grandes. (5)



Figure 23 : Photographie d'une blatte. (141)

I.2.3.2.1.9. Ordre des *Mantoptera* (mantes)

Les mantes sont des insectes allongés, à tête triangulaire. Ce sont des insectes prédateurs qui chassent à l'affût. La tête est très mobile et peut se tourner dans toutes les directions. Ils ont de grandes pattes antérieures ravisseuses et préhensiles qui caractérisent les mantes et leur permettent d'attraper leurs proies. Les femelles mangent souvent le mâle pendant l'accouplement en commençant par la tête. Elles dévorent toutes sortes d'insectes mais leurs proies principales sont les criquets. On connaît environ 2 000 espèces. La plupart sont tropicales et on dénombre 18 espèces européennes. (5)



Figure 24 : Photographie d'une mante religieuse.
Mantis religiosa. (142)

I.2.3.2.1.10. Ordre des *Isoptera* (termites)

Les termites sont des insectes sociaux formant des colonies à longue durée de vie à la tête desquelles on retrouve un mâle et une femelle. Ils présentent un dysmorphisme important en fonction de leur rôle au sein de la colonie comme chez les fourmis. La plupart sont des ouvriers mais il existe des soldats aux mandibules proéminentes représentant 5 % de la colonie. Seuls les jeunes termites sexués n'ayant pas encore essaimé ont des ailes. Ils se nourrissent de bois mort et la digestion est assurée par des protozoaires présents dans leur tube digestif. L'essaimage des termites sexués a lieu périodiquement, ils perdent leurs ailes après un bref vol nuptial, qui correspond à leur accouplement, et forment une nouvelle colonie où ils seront le roi et la reine. (5)



Figure 25 : Photographie d'une termitière australienne. (143)

I.2.3.2.1.11. Ordre des *Anoplura* et *Mallophaga* (poux)

Les poux sont des insectes parasites aptères des mammifères et des oiseaux munis de fortes griffes qui leur permettent de s'agripper aux poils ou aux plumes de leurs hôtes dont ils se nourrissent de leur sang.

Les *Mallophaga* sont principalement des parasites des oiseaux alors que les *Anoplura* parasitent uniquement les mammifères. Souvent, chaque espèce de poux est inféodée à une espèce d'hôte particulière.

Ces insectes peuvent être vecteurs de maladies comme le *typhus* chez l'homme. (5)



Figure 26 : Poux de corps à leurs différents stades de développement vus au microscope. *Pediculus humanus*.

I.2.3.2.1.12. Ordre des *Siphonaptera* (puces)

Ce sont des insectes ectoparasites aptères, ils se nourrissent du sang des mammifères ou des oiseaux. Les œufs des puces sont ronds et blancs et sont pondus de manière éparpillée dans le nid de l'hôte, dans les maisons, parquets, niches, etc. Les larves sont apodes et vermiformes et se nourrissent de débris organiques divers. À la fin de leur croissance, elles tissent un cocon de soie et se nymphosent à l'intérieur de celui-ci. La sortie du cocon s'effectue par le passage d'un hôte à proximité. En l'absence d'hôte, la puce peut rester à l'intérieur du cocon pendant plusieurs mois. (5)



Figure 27 : **Puce vue au microscope.** (145)

I.2.3.2.1.13. Ordre des *Hemiptera* (punaises, cigales, cicadelles, pucerons, cochenilles)

Les hémiptères sont un ordre d'insectes hémimétaboles comptant quelques 80 000 espèces connues dont environ 8 000 se rencontrent en Europe.

La diversité au sein de cet ordre est très grande, mais tous possèdent des pièces buccales piqueuses, fonctionnant comme des aiguilles hypodermiques qui leur permettent d'aspirer les sucs des végétaux ou de petits animaux. Beaucoup d'hémiptères en particulier les pucerons sont des ennemis des cultures agricoles, non seulement à cause des lésions directes qu'ils provoquent aux plantes, mais aussi, à cause des agents pathogènes qu'ils peuvent leur transmettre, notamment des virus. Il existe fréquemment un dysmorphisme sexuel marqué chez les hémiptères.

L'ordre des hémiptères a longtemps été divisé en deux sous-groupes : les hétéroptères et les homoptères. Le premier comporte les punaises et reste toujours d'actualité, le second n'existe plus et est remplacé par les *Sternorrhyncha* et *Auchenorrhyncha*. (5)

On retrouve aujourd'hui dans cet ordre plusieurs sous-ordres :

- *Heteroptera*, sous-ordre qui contient les punaises terrestres et aquatiques ;
- *Auchenorrhyncha*, sous-ordre des cigales et des cicadelles ;
- *Sternorrhyncha*, sous-ordre des pucerons, psylles, aleurodes et des cochenilles. (5)



Figure 28 : **Photographie d'une punaise verte ponctuée. *Nezara viridula*.** (146)



Figure 29 : **Photographie d'une cigale comestible.** (147)

I.2.3.2.1.14. Ordre des *Thysanoptera* (thrips)

Les thrips sont des insectes minuscules. Très communs sur les fleurs, sur lesquelles ils déchiquettent et percent les cellules végétales pour se nourrir en aspirant le contenu cellulaire, ils sont considérés comme des nuisibles pour les cultures maraîchères. On en connaît 3 000 espèces. (5)

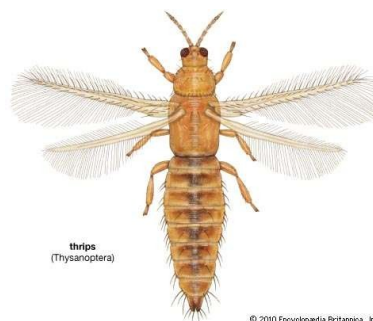


Figure 30 : **Thrips.** (148)

I.2.3.3. Endoptérygotes

Les endoptérygotes regroupent les insectes à métamorphose complète, avec un stade nymphal immobile. Les jeunes sont nommés les larves.

I.2.3.3.1. Ordre des *Neuroptera* (fourmilions, hémérobes et chrysopes)

Les *Neuroptera* sont des insectes holométaboles au corps mou, leurs ailes sont membraneuses et disposées en toit sur l'abdomen et leurs antennes sont filiformes. La plupart des espèces ont un vol médiocre. Les yeux composés sont gros. Ils sont en grande partie insectivores mais certains se nourrissent de pollens et d'autres s'alimentent à peine. Les larves sont prédatrices et vivent souvent dans l'eau.

On connaît plus de 6 000 espèces dont plus de 300 vivent en Europe. (5)



Figure 31 : Photographie d'un *Neuroptera*.
Nemoptera bipennis.

I.2.3.3.2. Ordre des *Mecoptera* (mouches scorpions et raphidies)

Les mécoptères ont l'abdomen souvent recourbé vers l'avant chez le mâle rappelant l'abdomen d'un scorpion. Ils consomment de petits animaux morts et des fruits. Leurs larves ressemblent à des chenilles. Il existe 400 espèces dont 30 vivent en Europe. (5)



Figure 32 : Photographie d'une mouche
scorpion. *Panorpa communis*. (149)

I.2.3.3.3. Ordre des *Lepidoptera* (papillons)

C'est un ordre numériquement très important qui comporte les papillons de jour et de nuit avec environ 150 000 espèces dont 5 000 sont retrouvées en Europe.

Chez de rares espèces les femelles sont aptères, cependant, la plupart des espèces portent de grandes ailes membraneuses couvertes d'écailles et parfois colorées. Les pièces buccales des adultes leur permettent de se nourrir du nectar des fleurs, et forment une trompe enroulée sous la tête au repos. Les œufs sont directement déposés sur la plante hôte puis une chenille va naître et se nourrir de celle-ci. Elle se transformera en nymphe nommée chrysalide d'où sortira un papillon adulte. (5)

I.2.3.3.4. Ordre des *Trichoptera* (phryganes)

Les trichoptères sont des insectes holométaboles dont la larve est aquatique. Sur les 6 000 espèces connues près de 400 vivent en Europe.

La plupart des adultes ressemblent à des papillons de nuit mais leur vol est relativement médiocre. Ce sont des insectes nocturnes bien que certaines espèces soient diurnes, ils sont attirés par les lumières et les fenêtres éclairées. Leurs larves vivent dans l'eau, mais on peut retrouver des adultes loin des points d'eau. Les antennes sont fines et longues et ils peuvent être pourvus d'ocelles ou non. Les adultes se nourrissent rarement, bien que certaines espèces puissent sucer le nectar des fleurs. (5)



Figure 33 : Photographie d'un phrygane. (150)

I.2.3.3.5. Ordre des *Diptera* (mouches et moustiques)

On retrouve dans cet ordre les mouches et les moustiques. C'est un immense ordre avec environ 100 000 espèces connues.

Ce sont des insectes qui possèdent uniquement deux ailes, les ailes postérieures sont réduites à des bâtonnets qui stabilisent le vol en agissant comme un balancier. Les diptères se nourrissent essentiellement de liquides : de nectar ou de sang pour les femelles des moustiques, taons, etc. qui peuvent s'attaquer à l'homme ou à d'autres animaux

domestiques. Les moustiques sont notamment des vecteurs d'agents pathogènes comme le protozoaire responsable du paludisme ou le virus de la fièvre jaune. La trompe des diptères varie énormément en fonction du régime alimentaire de ceux-ci. Ils possèdent des yeux composés mais on ne retrouve pas d'ocelles.

Les larves des diptères sont très variées dans leur forme et dans leur mode de vie. Elles peuvent être terrestres ou aquatiques, vivant à l'intérieur des végétaux ou parasitant des animaux.

La nymphe peut être mobile ou immobile. Chez les mouches les nymphes sont appelées pupes. (5)

1.2.3.3.6. Ordre des *Hymenoptera* (abeilles, guêpes et fourmis)

C'est un ordre immense par le nombre d'espèces environ 130 000 et par la diversité des modes de vie et des morphologies. On retrouve les mouches à scie, les guêpes, les abeilles et les fourmis.

L'ordre se découpe en deux sous-ordres : les symphites et les apocrites, ces derniers sont séparés en deux sous-groupes les térébrants et les aculéates. (5)

Premièrement, les symphites regroupent les mouches à scie, ce sont des insectes caractérisés par leur absence de « taille », c'est-à-dire que leur abdomen est relié au thorax sur toute sa largeur. Leur nom provient de leur ovipositeur qui ressemble à une minuscule scie leur permettant de découper des fentes dans les végétaux en vue d'y pondre.

Secondement, les apocrites est un groupe beaucoup plus vaste et regroupent des insectes parasites et des insectes sociaux. Contrairement au premier, ils sont caractérisés par leur « taille de guêpe » qui est nettement marquée et semble séparer le thorax et l'abdomen. À l'intérieur des apocrites on retrouve deux sous-groupes : les térébrants et les aculéates mais il n'y a pas de ligne nette de partage entre ces deux sous-groupes

Les térébrants sont, à peu près, tous des espèces parasites d'autres arthropodes. Ils pondent principalement à l'intérieur du corps d'autres insectes, surtout au stade larvaire ou dans les œufs. Les larves vont dévorer progressivement leur hôte en épargnant les organes vitaux afin de pouvoir finir leur croissance à l'intérieur de celui-ci et jusqu'à atteindre le stade de nymphe. C'est à ce moment que l'hôte meurt généralement, et l'adulte va s'en échapper. On retrouve également des térébrants galligènes parasites, quant à eux, de végétaux.

Les aculéates rassemblent les guêpes, les fourmis et les abeilles. Leurs ovipositeurs sont transformés en aiguillons utilisés pour paralyser leurs proies ou pour se défendre. Les guêpes sont prédatrices d'autres insectes, les abeilles se nourrissent de nectar et de pollen et les fourmis ont un régime alimentaire variable. Les aculéates réunissent tous les insectes sociaux sauf les termites qui appartiennent aux isoptères. Ils vivent en colonies comprenant des individus aux rôles bien définis comme les ouvrières ou les soldats. Les sociétés de fourmis et d'abeilles sont pérennes alors que les sociétés de bourdons et de guêpes sont annuelles avec de futures reines hivernantes qui construiront un nouveau nid au printemps. (5)

I.2.3.3.7. Ordre des *Strepsiptera*

Les strepsiptères forment un groupe étrange d'insectes entièrement parasites. Ils ne sont pas rares mais on ne les rencontre que rarement car seuls les mâles adultes sont visibles et leur vie est très brève. Leurs larves vivent dans le corps d'autres insectes qu'elles parasitent. Ils s'échappent de l'abdomen de l'hôte en perçant la membrane inter-segmentaire. Les mâles partent à la recherche de femelles dont les *genitalia* font saillies à travers l'abdomen de l'hôte mais sans s'en échapper. Les femelles fécondées donnent naissance à de petites larves qui partent à la recherche d'un nouvel hôte. (5)

I.2.3.3.8. Ordre des *Coleoptera* (scarabées)

Les coléoptères forment l'ordre d'insectes le plus nombreux. Ils représentent 40 % de toutes les espèces d'insectes avec 300 000 espèces connues dans le monde.

Il est facile de les reconnaître grâce à leurs ailes antérieures, les élytres, épaisses et cornées, qui, couvrent ordinairement la totalité de l'abdomen ; les ailes postérieures quant à elles, sont membraneuses et repliées sous les élytres. Les élytres donnent à ces insectes leur aspect caractéristique d'armure. La plupart des coléoptères peuvent voler et ils possèdent tous des pièces buccales de type broyeur. En outre, ils subissent tous une métamorphose complète. Leurs larves sont très différentes selon les espèces. Il existe également des espèces aquatiques.

De nombreux ravageurs des cultures et des produits entreposés sont des coléoptères. (5,9,10)

I.2.4. Rôles des insectes dans l'écologie et dans l'agriculture humaine

Les insectes fournissent de nombreux services écologiques indispensables à la survie de l'humanité et à l'équilibre des écosystèmes.

En premier lieu, les insectes jouent un rôle majeur dans la reproduction des plantes. En effet, 98 % des espèces pollinisatrices sont des insectes (11). De plus, 96 % des espèces de plantes à fleurs dépendent des pollinisateurs pour leur reproduction dont les trois quarts des principales espèces cultivées pour l'alimentation humaine (11). L'importance primordiale du rôle de pollinisateurs des insectes dans l'alimentation mondiale est incontestée ainsi que pour la préservation de la nature en général. (9)

En second lieu, les insectes rendent également un service primordial dans la dégradation biologique des déchets organiques d'origine humaine ou non. Les insectes (larves ou adultes) détruisent les matières végétales ou animales mortes ainsi que leurs déjections. Ils dégradent la matière organique jusqu'à ce qu'elle puisse être consommée, par la suite, par les champignons et les bactéries. Ceux-ci vont la réduire à l'état de minéraux et d'éléments

nutritifs qui seront facilement assimilables par les plantes. Cette bioconversion est à l'origine de la formation de l'humus et permet d'améliorer la fertilité des sols. (9)

Ensuite, ils maintiennent les équilibres écologiques en contrôlant la prolifération de certains animaux nuisibles pour les végétaux ou les animaux. En effet, dans les cultures agricoles humaines, ils peuvent être utilisés comme des agents de lutttes biologiques et naturelles contre certaines espèces parasites. Par exemple, des coccinelles peuvent être utilisées pour lutter contre les pucerons qui affaiblissent les plantes en consommant leur sève. Contrairement à une croyance répandue, sur le million d'espèces d'insectes décrites, seulement 5 000 sont considérées comme nuisibles pour les cultures, le bétail et les humains. (9)

En utilisant le même principe, certains insectes peuvent être utilisés contre certaines espèces invasives végétales. Par exemple, des charançons australiens ont été utilisés pour lutter contre l'invasion des jacinthes d'eau dans le lac Victoria. (12)

De plus, ils fournissent un grand nombre de produits de valeur, tels que le miel, la soie ou le carmin rouge (colorant rouge textile, alimentaire et pharmaceutique produit par une cochenille). Ils peuvent aussi être utilisés comme outils médicaux comme l'asticothérapie à des fins de cicatrisation, ou la résiline, extraite d'insectes, pour réparer les artères endommagées (13), de plus, certains venins ont des applications thérapeutiques. Les dérivés du miel et de la ruche comme la propolis ou la gelée royale ont également des applications médicales.

Les insectes ont aussi inspiré des méthodes d'ingénierie et de technologie en utilisant le biomimétisme (méthode qui utilise des inspirations présentes dans la nature pour résoudre des problèmes humains). Par exemple, les termitières cathédrales, naturellement présentes dans les régions tropicales, ont servi de modèle pour construire des bâtiments dans lesquels la qualité de l'air, la température et l'humidité peuvent être régulées efficacement. (14)

Enfin, les insectes ont également une place importante dans les cultures humaines comme objets d'ornementation et de collection, dans les films, les arts visuels et la littérature et plus généralement d'inspiration pour l'expression créatrice. (9)

I.3. Anatomie, biologie et taxinomie des arachnides

Les arachnides sont des arthropodes chélicérates et regroupent les araignées, les scorpions et quelques groupes apparentés comme les acariens et les tiques. Ils sont souvent confondus avec les insectes, mais ils s'en distinguent, notamment, par leurs quatre paires de pattes à l'âge adulte, leur absence d'ailes et d'antennes et par la division de leur corps. On a recensé 80 000 espèces d'arachnides, vivant dans tous les biotopes, cependant presque tous les arachnides sont terrestres. (5)

I.3.1. Anatomie des arachnides

Chez les arachnides, on ne retrouve plus la division du corps en trois parties observées chez les insectes, mais une division en deux parties. (15,16)

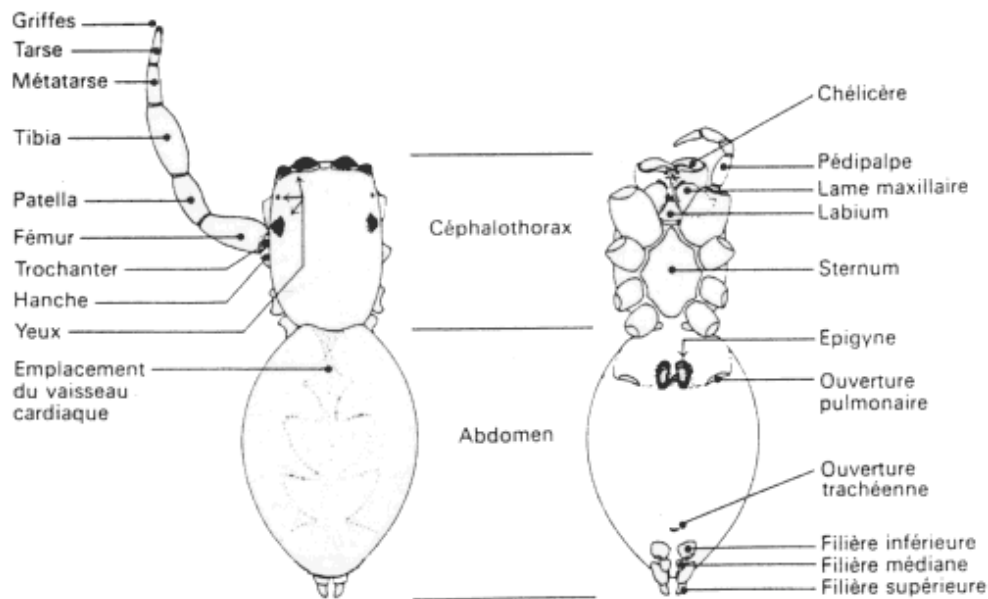


Figure 34 : Morphologie d'une araignée. (151)

I.3.1.1. Corps

La tête et le thorax ont ici fusionné pour former le céphalothorax ou *prosoma*. Chez les araignées et les scorpions, le céphalothorax est nettement séparé de l'abdomen qui est la deuxième partie de leur corps, partie également nommée *opisthoma*. Chez les acariens et les opilions (ou faucheux), ces deux parties ont fusionné pour n'en former qu'une. Les scorpions, quant à eux, présentent un long abdomen qui est prolongé par un postabdomen ou *metasoma* communément appelé queue qui se termine par un dard venimeux. (15,16)

I.3.1.2. Appendices articulés

Les adultes ont, à quelques exceptions près, quatre paires de pattes locomotrices, ainsi que deux pédipalpes, ou pattes-mâchoires, situés à l'avant du *prosoma*. Ces pédipalpes jouent un rôle essentiellement tactile. Le *prosoma* porte également une paire de chélicères, qui peuvent être prolongés par un crochet à venin.

Le céphalothorax est fortement chitinisé chez les arachnides, procurant à l'animal une protection appréciable. Cependant, la rigidité de cette carapace contraint les arachnides à des mues successives durant leur croissance.

Elles sont toujours dépourvues d'ailes et d'antennes.

Les pièces buccales sont constituées par des chélicères adaptées à percer, dilacérer ou piquer les tissus, et des pédipalpes à rôle sensoriel.

Les pattes sont constituées de 6 segments : la patelle située entre le fémur et le tibia représente le segment supplémentaire par rapport aux pattes des insectes. (15,16)

I.3.1.3. Yeux

Leurs yeux, lorsqu'ils sont présents, sont toujours du type simple et non composé, c'est-à-dire proche des ocelles des insectes. Les arachnides possèdent de zéro à huit yeux mais le plus souvent elles en présentent six ou huit. (15,16)

I.3.1.4. Organes tisseurs

Les araignées possèdent à l'extrémité de l'abdomen des organes tisseurs ou filières. La soie sort par les fusules à l'extrémité de celles-ci. Les filières sont au nombre de six. Les araignées vont tisser des toiles qui vont être des pièges pour des insectes dont elles vont se nourrir. (15,16)

I.3.2. Biologie des arachnides

Comme chez la plupart des insectes, l'oviparité est la règle, sauf chez les scorpions et quelques acariens qui sont vivipares.

Les individus qui sortent de l'œuf ont en principe, la forme générale des adultes, bien que pour certains le nombre de pattes varie, par exemple, il y a trois paires de pattes chez les larves d'acariens. Le développement des arachnides est amétabole comme chez les insectes primitifs. La longévité de beaucoup d'arachnides est remarquable : 10 ans et plus pour certaines tiques. (15,16)

I.3.3. Taxinomie des arachnides

Les arachnides rassemblent onze ordres dont certains sont répandus sur la terre entière et d'autres presque exclusivement tropicaux.



I.3.3.1. Scorpions ou scorpionides

Les scorpions rassemblent les plus primitifs des arthropodes et ceux ayant conquis les premiers l'habitat terrestre. D'une taille de 3 à presque 30 cm, ils sont aisément reconnaissables à leurs pédipalpes en forme de puissantes pinces préhensiles. Les chélicères sont réduites et leur abdomen segmenté, allongé, recourbé vers le haut et porteur d'un crochet venimeux, ou dard. Le céphalothorax porte deux yeux médio-dorsaux et deux groupes latéraux symétriques de petits yeux. Le venin de certaines espèces peut être fatal pour l'homme, l'envenimation a lieu en inoculant le venin à l'aide de leur dard.

La plupart des scorpions vivent dans les régions tropicales et subtropicales sèches. En Europe, il existe quelques espèces méditerranéennes, espèces dont le venin est sans danger pour l'homme.

Ils vivent sous les pierres, les écorces ou dans les crevasses du sol, et sortent la nuit pour chasser.

Chez certaines espèces, la femelle dévore le mâle après l'accouplement. Les scorpions sont ovovivipares ou vivipares. À la naissance, les jeunes grimpent sur le dos de leur mère où ils séjournent jusqu'à leur première mue. (15)



Figure 35 : Photographie d'un scorpion.
(152)

I.3.3.2. Pseudo-scorpions ou chernètes

Les pseudo-scorpions sont des arachnides de petite taille, de 2 à 8 mm. Leurs grandes pédipalpes sont terminés par de puissantes pinces préhensiles et les fait ressembler superficiellement aux scorpions, mais leur abdomen est large et arrondi vers l'arrière, sans la présence d'une queue et d'un dard. Les glandes venimeuses sont situées dans les

pédipalpes, et le venin s'écoule par un orifice du doigt mobile des pinces. Les pseudo-scorpions ne présentent pas d'yeux médians, seulement une ou deux paires d'ocelles latéraux. Certains sont aveugles.

Les pseudo-scorpions vivent parmi les feuilles en décomposition, sous les pierres, les écorces, dans la mousse ou les souterrains. Certaines espèces ne se rencontrent que dans les nids de petits mammifères. Une espèce cosmopolite, *Chelifer cancroides* peut se rencontrer dans les habitations. Prédateurs de très petits arthropodes, les pseudo-scorpions sont inoffensifs pour l'Homme. (15)



Figure 36 : Photographie d'un pseudo-scorpion. (153)

I.3.3.3. Solifuges, solpugides ou galéodes

Les solifuges sont des arachnides velus de 1 à 7 cm de long. Le prosome porte deux yeux médians juxtaposés ainsi qu'une paire de chélicères non venimeuses transformées en énormes pinces, plus longues que le prosome. Les pédipalpes ressemblent aux pattes ambulatoires mais se terminent par un organe adhésif utilisé pour capturer les proies.

Les solifuges constituent un ordre d'arachnides carnivores tropicaux et subtropicaux, diurne malgré leur nom. Il fréquente les déserts d'Afrique et du Nouveau Monde. (15)



Romain Boullaud | Thèse d'exercice Figure 37 : Photographie d'un solifuge. (15)

I.3.3.4. Schizomides, schizomes ou tartarides

Les schizomides sont de petits arachnides tropicaux, de moins d'1 cm, qui sont aveugles et vivent sous les bois, les pierres ou dans la litière de feuilles. Ils sont caractérisés par un prosome divisé en trois parties et la première paire de pattes sont en forme d'antennes. (15)

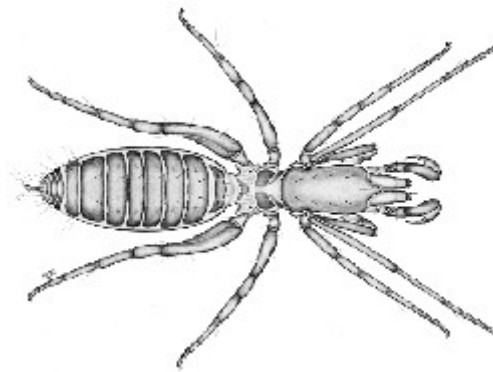


Figure 38 : **Dessin d'un schizomide.**
(154)

I.3.3.5. Amblypyges ou phrynes

Les amblypyges forment un petit ordre d'arachnides tropicaux et subtropicaux, de 4 à 45 mm, identifiable à leur morphologie caractéristique. Leur corps est aplati et comporte un prosome indivisible et un opisthosome segmenté. Le céphalothorax, plus large que long, porte une paire d'yeux médio-dorsaux et deux groupes de petits yeux latéraux, des chélicères normales mais des pédipalpes hypertrophiés se terminant par une pince préhensile. En outre, la première paire de pattes n'est pas locomotrice, mais tactile. Ces pattes sont grêles et ont la forme d'antennes dont elles jouent le rôle. Les amblypyges se distinguent fondamentalement des uropyges par l'absence de flagelle post-abdominal. Leur marche est latérale, comparable à celle des crabes.

Ce sont des animaux nocturnes, lucifuges et cavernicoles, généralement hygrophiles.

Chez les anglo-saxons les amblypyges sont dénommés *tarentulas*, alors qu'en français ce terme désigne une espèce d'araignée, c'est une source de confusions fréquentes dans les traductions. (15)



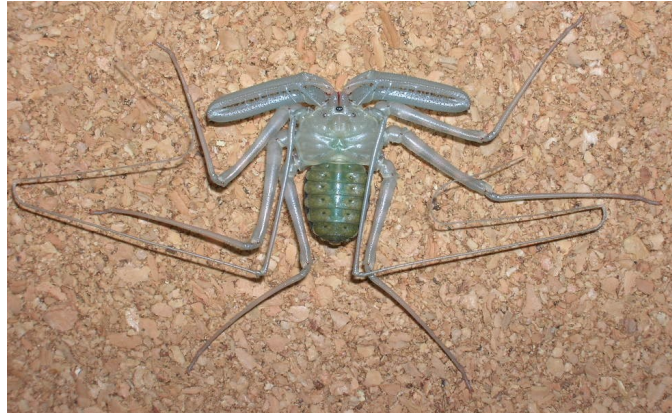


Figure 39 : **Photographie d'un amblypyge. (155)**

I.3.3.6. Uropyges, pédipalpes, télyphores ou télyphonides

Les uropyges forment un petit ordre partageant de nombreux points communs avec les amblypyges : ce sont des arachnides tropicaux et subtropicaux, 2 à 65 mm de long, au céphalothorax parfois segmenté et toujours plus long que large, portant des yeux disposés comme chez les amblypyges ou pouvant être complètement absents, des chélicères peu développées et des pédipalpes hypertrophiés se terminant par une pince préhensibile. La première paire de pattes est également longue, grêle et tactile, mais l'abdomen, également segmenté, est terminé par une courte tige ou long flagelle multi-articulé, comme chez les palpigrades. Les uropyges n'ont pas de glande venimeuse.

La partie postérieure de l'abdomen contient deux glandes volumineuses dont le rôle est défensif. Lorsque l'animal est en danger, il redresse l'extrémité de l'abdomen et projette un liquide riche en acide formique et acétique.

Les uropyges sont des animaux lucifuges et hygrophiles, se cachant de jour sous les pierres, les feuilles et les bois. (15)



Figure 40 : **Photographie d'un uropyge. (156)**

I.3.3.7. Palpigrades ou microtélyphonides

Les palpigrades sont de minuscules arachnides aveugles et pâles, mesurant moins de 2 mm, qui vivent sous les pierres, dans le sol ou les grottes.

L'abdomen segmenté est terminé par un long fouet multi-articulé, le céphalothorax divisé en deux segments, et la première paire de pattes, sensorielles, ne reposent pas au sol, mais les pédipalpes ont un rôle locomoteur et les chélicères sont très développées. (15)

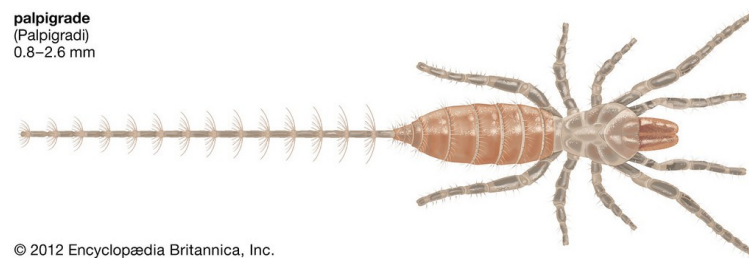


Figure 41 : Dessin d'un palpigrade.

I.3.3.8. Ricinules, ricinulides ou podogones

Les ricinules sont le plus petit ordre d'arachnides. Vivant en Afrique et en Amérique, sous les feuilles mortes et les écorces et recherchant les endroits humides. Ils sont aveugles et se déplacent lentement.

Leur corps massif est recouvert par un tégument foncé, épais et coriace. Le prosome indivisé porte des chélicères en pinces et des pédipalpes plus courts que les pattes, et l'abdomen est segmenté. Comme chez les acariens, leur larve est hexapode. (15)

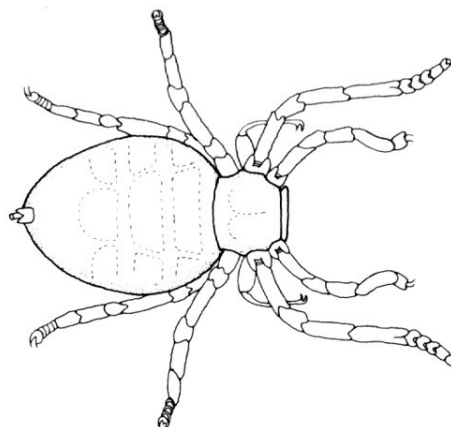


Figure 42 : Dessin d'une ricinule. (15)

I.3.3.9. Opilions ou phalangides

Les opilions ont un corps de 1 à 20 mm, fait d'un céphalothorax et d'un abdomen segmenté soudés. On les reconnaît généralement à leurs longues pattes grêles, qui peuvent s'autonomiser et poursuivre longtemps des mouvements de marche saccadée. Ils portent pour cette raison le nom vernaculaire de faucheurs ou faucheux. Le céphalothorax porte un tubercule médian dont les faces latérales portent chacune un œil, des pédipalpes grêles ou, contrairement forts et épineux, et des chélicères généralement petites.

Les opilions sont carnivores et se nourrissent comme les araignées: les proies, les petits insectes et les myriapodes, sont saisies par les pédipalpes, triturées par les chélicères et imprégnées de suc digestif. Ils ont aussi un régime charognard lorsque l'occasion se présente. Ce sont des animaux nocturnes, trouvant refuge sous les pierres, les bûches et les bois morts et dans la végétation basse. (15)

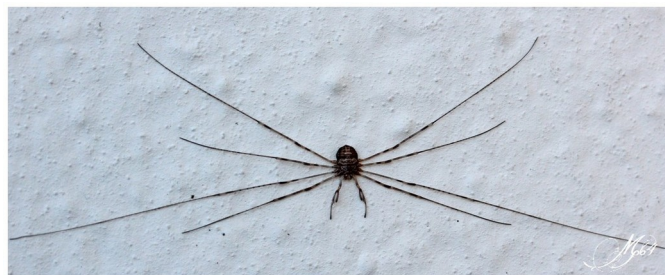


Figure 43 : Photographie d'un opilion. (157)

I.3.3.10. Araignées

Les araignées comportent à elles seules la moitié des espèces d'arachnides. Les araignées se distinguent des autres arachnides par la morphologie suivante : le céphalothorax et l'abdomen sont reliés par un fin pédoncule, l'abdomen ovoïde porte des filières produisant la soie, les chélicères sont des crochets venimeux et les pédipalpes sont transformées, chez le mâle, en organe copulateur. (15)

I.3.3.11. Acariens

Les acariens sont des arachnides de taille petite à microscopique, de formes extrêmement variées, entre autres chez les espèces parasites. Néanmoins, tous présentent des points communs : le prosome et l'opisthosome indivisés sont fusionnés et le corps est protégé par une carapace simple et continue. Les acariens possèdent deux, trois ou quatre paires de pattes articulées, le plus souvent quatre paires au stade adulte et trois paires à l'état larvaire : on parle alors de larves hexapodes. (15)

I.3.4. Rôle des arachnides dans les écosystèmes.

Les araignées et les scorpions sont des prédateurs qui se nourrissent principalement d'insectes et d'autres arachnides. Certaines grosses mygales et certains gros scorpions peuvent aller jusqu'à capturer des petits rongeurs ou oiseaux. Ils sont capables de consommer, en moyenne, de 10 à 20 % de leur propre poids chaque jour. En France, le nombre d'insectes capturés par les araignées sur un hectare en une année peut dépasser 400 millions. Leur rôle écologique est, de ce fait, primordial car elles sont très efficaces en tant que régulatrices de populations de certains insectes ravageurs (emploi en lutte biologique intégrée en Israël, en Asie et aux États-Unis) et fonctionnent comme de très bons insecticides naturels. (17)

II.

Entomophagie traditionnelle et insectes comestibles



II. Entomophagie traditionnelle et insectes comestibles

Nous étudierons ici les principaux insectes comestibles consommés traditionnellement dans le monde dans un premier temps. Dans un second temps, nous ferons l'état des lieux de l'entomophagie en Europe.

II.1. Entomophagie traditionnelle dans le monde

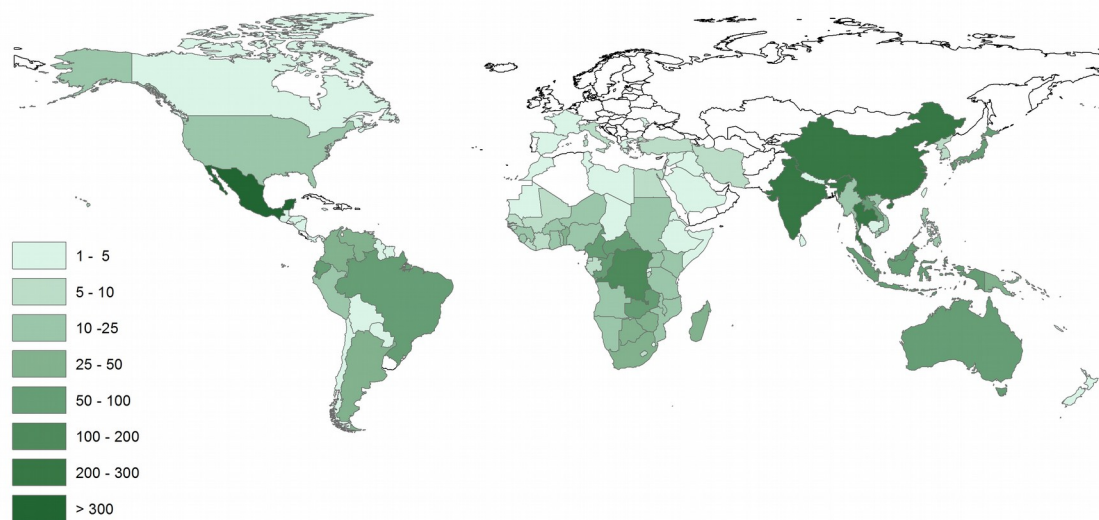
De nombreux peuples consomment un grand nombre d'insectes, cependant la fréquence de consommation des insectes dans le monde est encore peu documentée. Toutefois, on estime que les insectes font partie des repas traditionnels d'au moins deux milliards de personnes.



Figure 44 : **En vert, les pays du monde qui consomment traditionnellement des insectes. (158)**

En outre, quantifier le nombre d'insectes comestibles dans le monde reste très difficile pour plusieurs raisons. Tout d'abord, décrire un insecte selon la classification de Linée n'est pas aisé pour une personne non initiée, rendant difficile une évaluation officielle. Nous pouvons ajouter à cela qu'une même espèce d'insecte possède différents noms vernaculaires variant en fonction des cultures. (9) Cependant, Yde Jongema du Wageningen University and Research (WUR) a entrepris un inventaire au niveau mondial en utilisant la littérature. Sa liste comportait 2 111 espèces d'insectes comestibles en avril 2017 (la liste exhaustive est disponible sur le site du WUR). (18)

Recorded edible insect species, by country



Source: Centre of Geo information by Ron van Lammeren, Wageningen University, based on data compiled by Yde Jongema, 2017

version: 170402

Figure 45 : Nombre d'espèces comestibles enregistré par pays. (18)

II.1.1. Insectes : ressource alimentaire naturelle renouvelable

Les insectes comestibles vivent dans une grande diversité d'habitats : des écosystèmes aquatiques aux terres agricoles en passant par les forêts. Ils peuvent être récoltés dans la nature à l'état sauvage dans la plupart des endroits du monde et représentent une source de nourriture renouvelable. (9,19)

En effet, dans de nombreux pays asiatiques, africains et sud-américains, la collecte des insectes sauvages satisfait les besoins locaux et permet d'enrichir les régimes alimentaires locaux, basé presque exclusivement sur des céréales à faibles valeurs nutritives, comme le sorgho.

Par exemple, dans le Kasaï-Occidental, en République démocratique du Congo, un village de 2006 habitants consommaient 120 tonnes par an d'insectes récoltés, ce qui représentait 59,82 kg par personne et par an, soit 163 g par jour. (20)

Cette récolte traditionnelle d'insectes comestibles peut être saisonnière ou permanente en fonction du mode de vie de l'espèce recherchée. Les insectes ont longtemps été considérés comme une source de nourriture inépuisable, pourtant, on remarque depuis peu, que l'augmentation de leur prélèvement dans la nature, la déforestation, l'urbanisation et l'emploi croissant de pesticides fait peser une pression de plus en plus forte sur les populations d'insectes, si bien qu'aujourd'hui, certaines espèces d'insectes comestibles sont menacées.

En effet, les insectes comestibles sont, pour la plupart, récoltés dans la nature mais aujourd'hui ils peuvent également être élevés en vue de leur consommation. (9)

II.1.2. Élevages d'insectes

Certaines espèces, comme les abeilles ou les vers à soie, sont domestiqués depuis longtemps en raison de la valeur de leurs produits. Les insectes sont aussi élevés en grand nombre pour la lutte biologique, pour la santé et pour la pollinisation. Jusqu'à récemment les insectes comestibles étaient récoltés majoritairement dans la nature à l'état sauvage. (9)

Effectivement, le concept d'élevage des insectes pour l'alimentation humaine est relativement nouveau, et cela même dans les pays où la consommation d'insectes est répandue et ancienne. Dans ce contexte, des élevages familiaux de grillons voient récemment le jour, en grand nombre, au Laos, en Thaïlande et au Vietnam. Néanmoins, certaines espèces, comme les mygales, ne peuvent pas être domestiquées, et donc, peuvent uniquement être récoltées dans la nature. (9)

Les élevages d'insectes présentent de nombreux avantages, notamment pour les populations pauvres des pays en voie de développement.

En effet, les insectes peuvent facilement être élevés avec un investissement technique ou financier limité. L'élevage des insectes ne nécessite que de faibles surfaces et peu d'efforts de commercialisation car ils font déjà partie de certaines cultures alimentaires locales. Ces élevages d'insectes peuvent être conduits en zones urbaines, péri-urbaines et rurales, et constituent une excellente utilisation de l'espace.

Donc, dans les pays du tiers-monde, les éléments les plus démunis de la société, comme les femmes et les populations urbaines et rurales sans terre, peuvent aisément participer à l'élevage des insectes, à leur préparation et à leur vente. Ces activités peuvent améliorer directement leur propre alimentation et leur fournir des revenus en vendant les excédents de production, comme denrée alimentaire de rue. L'élevage peut être réalisé comme un complément au sein d'autres stratégies de subsistance.

De plus, en élevage, ils peuvent être récoltés tout au long de l'année comparativement aux insectes récoltés dans la nature qui peuvent conserver un caractère saisonnier. Pour de nombreux ménages, cet élevage permet une amélioration significative du niveau de vie en assurant un revenu régulier pouvant couvrir les frais scolaires et maintenir la sécurité alimentaire en cas de disette. (9)

Un autre intérêt de l'élevage des insectes comestibles repose sur la grande efficacité des insectes dans la conversion des aliments. Les grillons, par exemple, n'ont besoin que de deux kilogrammes d'aliment pour accroître leur masse corporelle de un kilogramme. En outre, les insectes peuvent être élevés sur des sous-produits organiques, comme le fumier, et peuvent contribuer à réduire la contamination de l'environnement. Par ailleurs, leur élevage est économique et écologique car il nécessite moins d'eau et de terrain que celui d'autres sources protéiques comme le bétail ou les porcs. (9)



Figure 46 : **Ferme d'élevage de grillons en Thaïlande.**

Donc, les élevages sont avantageux pour les pays pauvres car ils demandent peu de place, n'entrent pas directement en compétition avec l'homme et son alimentation, font l'objet d'une demande qui dépasse l'offre, ont des taux de reproduction élevés, créent des rentrées en argent en un temps très court, ont, dans de nombreux cas, une forte, voire très forte, rentabilité économique, sont nourrissants et contribuent à l'alimentation humaine, convertissent efficacement leurs aliments en protéines, sont relativement faciles à gérer, sont facilement transportables, sont souvent faciles à élever et leur élevage ne nécessite pas de formation approfondie. De plus, il semblerait que la consommation alimentaire d'insectes serait moins susceptible d'induire des transmissions de zoonoses comparativement aux bovins ou aux porcins. (9)

Des résultats très positifs ont été obtenus avec les élevages familiaux d'insectes dans les pays d'Asie du Sud-Est en termes d'amélioration des moyens de subsistances. Suite à cela, la Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) souhaite diffuser ce type d'élevages dans l'ensemble des pays sous-développés, notamment en Afrique, en vue d'éradiquer sinon de réduire les crises alimentaires.

II.1.3. Principaux groupes d'insectes consommés

Dans le monde, les insectes les plus communément consommés sont les coléoptères. Ils représentent 31 % des insectes consommés et 40 % de toutes les espèces d'insectes connues. Les adultes et les larves sont tous deux consommés.

La consommation des lépidoptères, presque exclusivement au stade chenille, est très populaire en Afrique subsaharienne, et elle représente environ 18 % des espèces consommées.

Les hyménoptères (abeilles, guêpes et fourmis) viennent en troisième position et représentent 14 % des espèces consommés. Ils sont particulièrement communs en Amérique latine. La plupart sont consommés au stade de larves ou de nymphes.

Ensuite, viennent les orthoptères (sauterelles, criquets et grillons) représentant 13 % des espèces consommées, puis les hémiptères (cigales, cicadelles, cochenilles et punaises)

avec un taux estimé à 10 % de la consommation, les isoptères (termites) (3 %), les odonates (libellules) (3 %), et les diptères (mouches) (2 %).

Les autres espèces d'insectes consommées représentent environ 5 %. (9)

Nous avons répertorié ici les principaux insectes comestibles consommés dans le monde mais cette liste n'a pas pour vocation d'être exhaustive.

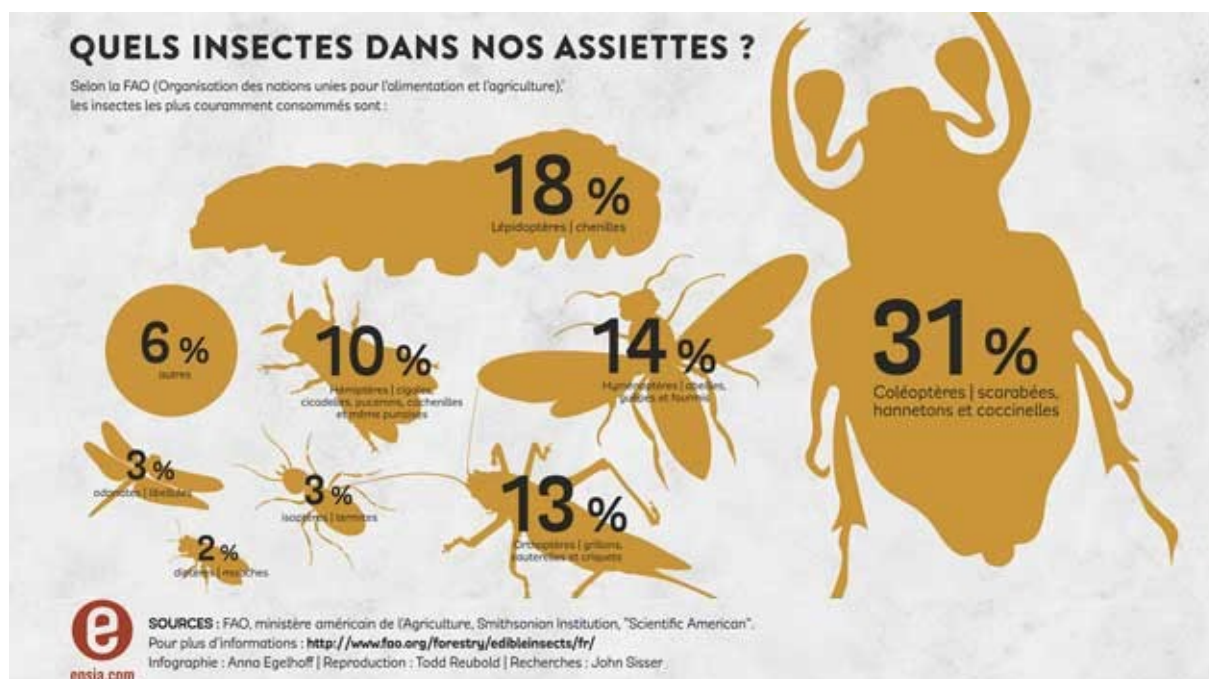


Figure 47 : Insectes comestibles par ordre. (159)

II.1.3.1. Coléoptères

Une grande majorité des larves de coléoptères sont comestibles. Elles ont souvent un aspect de vers blancs.

II.1.3.1.1. Charançon du palmier (*Rhynchophorus sp.*)

Le coléoptère le plus largement consommé sous les tropiques est la larve du charançon du palmier, un insecte gravement nuisible à celui-ci, et qui est répandu de l'Asie du Sud à l'Amérique tropicale en passant par l'Afrique. On retrouvera en Asie l'espèce *R. ferrugineus*, en Afrique *R. phoenicis* et en Amérique latine *R. palmarum*. (9)

En effet, le charançon pond ses œufs dans diverses espèces de palmier, puis une larve de grosse taille va naître et se nourrir des jeunes feuilles ou « cœur du palmier » qui constituent le bourgeon unique de celui-ci. Elle va le consommer jusqu'à le faire dépérir.

Linnée écrivait à propos du charançon du palmier que les larves frites sont délicieuses :

« *Larvæ assate in deliciis habentur* » à propos de *Rynchophorus*, dans son ouvrage de 1758, *Systema natura*.

Leur goût délicieux serait dû à son taux élevé de matières grasses. Sous les tropiques, l'insecte est présent toute l'année dans les zones où l'arbre hôte existe. (21)

Les larves sont traditionnellement détectées dans les palmiers en collant l'oreille et en écoutant le bruit qu'elles font en rongant les fibres. (9)



Figure 48 : **Photographie d'un charançon du palmier adulte (à gauche) et de sa larve (à droite).** (160)

Les larves peuvent faire l'objet d'un semi-élevage en abattant des palmiers. Le palmier abattu est un lieu privilégié pour la croissance des larves du charançon. (9)

Typiquement, les larves de charançon du palmier sont récoltées, lavées et frites pour la consommation. En Asie du Sud-Est, une fois ramassée la larve est engraisée avec des fruits divers afin d'affiner son goût avant d'être consommée. (9,22)

Il n'est pas nécessaire d'ajouter de l'huile car les larves ont une teneur élevée en matières grasses et exsudent de l'huile lors de la friture. Les condiments usuels sont des oignons, du poivre et du sel. Les larves sont aussi grillées au barbecue en brochettes et peuvent être consommée crue et parfois frites enrobées d'une pâte à beignet. Leur mode de préparation va varier en fonction des différentes régions du monde. (9,22)

De plus, depuis peu, un tourteau de ver palmiste a été mis au point pour l'alimentation animale obtenu par pression à froid des vers ou extrait par solvant. (23)

Aujourd'hui, avec le réchauffement climatique, l'écologie du charançon du palmier a atteint la méditerranée et il effectue des ravages sur les palmiers du pourtour méditerranéen, si bien que les palmiers de la Côte d'Azur, du Languedoc-Roussillon et de la Corse sont actuellement sérieusement menacés et risquent de disparaître. (9,24)

Il existe des tentatives d'élevage au Cameroun.



Figure 49 : Photographie d'une assiette de larves du charançon du palmier préparées selon une recette traditionnelle camerounaise. (161)

II.1.3.1.2. Coléoptères aquatiques

Il a été recensé 78 espèces de coléoptères aquatiques comestibles appartenant principalement aux familles *Dytiscidæ*, *Gyrinidæ* et *Hydrophilidæ*. Typiquement, seules les larves de ces espèces sont consommées. (9,25)

II.1.3.1.3. Chahuis

Les chahuis sont le nom mexicain d'un ensemble de larves lignivores retrouvées dans l'arbre mesquite.

Elles appartiennent aux familles des *Cerambycidæ*, *Scarabæidæ*, *Melolonthidæ* et *Passalidæ*.

II.1.3.1.4. Zandettes

Les *zandettes* est le nom créole utilisé pour désigner des larves de longicornes appartenant à diverses espèces de coléoptères de la famille des *Cerambycidæ* consommées sur l'île de la Réunion.

Ce sont des larves xylophages charnues de couleur blanche retrouvées dans les troncs en décomposition de diverses essences locales.

Selon la légende, elles seraient consommées à l'origine par les esclaves marrons, réfugiés dans les hauteurs les plus inaccessibles de l'île, pour fuir leur condition. Cette consommation traditionnelle serait très ancienne et les *zandettes* sont encore aujourd'hui considérées

comme un met raffiné bien que leur récolte soit prohibée pour la sauvegarde des espèces endémiques.

Les *zandettes* peuvent se consommer crues ou frites dans l'huile, accompagnées de rougails ou de brèdes.



Figure 50 : Photographie de *zandettes* frites. (162)

II.1.3.1.5. *Platycoelia lutescens* (scarabée)

Le *Platycoelia lutescens* est un scarabée que l'on trouve sur les marchés de Quito la capitale de l'Équateur pendant les pluies de l'hiver. (9)

Ce scarabée peut être ramassé par centaines dans les collines avoisinant la capitale équatorienne et facilement capturé. Les chasseurs les mettent dans des sacs plastiques ou dans des jarres pour les transporter jusqu'au marché.

Ces insectes sont mis dans de la farine de blé ou de maïs pendant une journée pour qu'ils puissent s'engraisser et purger leur tube digestif. Ensuite, les pattes, les élytres et les ailes sont enlevés avant d'être mis à tremper dans de l'eau salée pendant un ou deux jours dans le but de diminuer leur amertume.

Après avoir été préparés de la sorte, ils sont frits dans de l'huile végétale ou du saindoux puis servis accompagnés d'oignons et de tomates. (26)

II.1.3.1.6. Autres coléoptères

Les adultes de coléoptères sont caractérisés par une carapace souvent très dure comparable à une armure. Ils sont difficilement mangeables et rarement consommés.

Leurs larves et leurs nymphes quant à elles sont très appréciées. (22)

II.1.3.2. Lépidoptères (papillons)

Les papillons sont principalement consommés au stade larvaire, c'est-à-dire au stade de chenilles, mais certains peuvent être consommés au stade adulte.

Les Aborigènes d'Australie mangent les papillons du vers-gris (*Agrotis infusa*) et au Laos les papillons sphinx (*Daphnis sp.* et *Theretra sp.*) sont consommés après avoir retiré les ailes et les pattes. Et au Japon, les papillons adultes étaient consommés par les anciens après avoir secoué leurs ailes. Néanmoins, cette coutume est peu rependue. (9,27)

Les chenilles font partie des groupes d'insectes comestibles les plus diversifiés au monde. Elles contribuent significativement aux moyens de subsistance des populations dans de nombreuses régions du globe. Elles sont une source importante de protéines et de micronutriments. La consommation de chenilles représente 30 % de toutes les espèces d'insectes comestibles en Afrique. (9)

En République démocratique du Congo, les chenilles fournissent jusqu'à 40 % de toutes les protéines animales consommées et un ménage à Kinshasa, la capitale, consomme en moyenne 300 g de chenilles chaque semaine. (9)

Au Mexique, dans l'État de Chiapas, les populations locales consomment jusqu'à 27 espèces différentes de chenilles. (9,28)

Les chenilles présentent l'avantage de pouvoir être séchées pour être conservées et consommées ultérieurement. (9)

II.1.3.2.1. *Witchetty grub* (*Endoxyla leucomochla* et autres larves xylophages)

Witchetty grub est le terme australien utilisé pour désigner la chenille d'un papillon considérée lignivore. C'est une grosse chenille blanche qui vit dans les racines du *witchetty bush*, un buisson que l'on retrouve dans le désert australien.

Cependant, ce nom peut être donné à d'autres papillons considérés de la famille des *Hepialidae* mais aussi aux larves de coléoptères longicornes de la famille des *Cerambycidae*.

Ce terme est en fait donné à la majorité des larves xylophages comestibles que l'on retrouve en Australie. Toutefois, en raison de leur mode de vie, elles possèdent généralement un goût similaire. Ces larves sont consommées historiquement par les aborigènes. (9,22)



Figure 51 : Photographie de *Witchetty grubs*.
(163)

Elles sont rôties sur des cendres chaudes mais peuvent être consommées crues et leur goût rappellerait celui des amandes. Elles sont réputées très riches en protéines. (9)

II.1.3.2.2. Chenille du mopane (*Imbrasia belina*)

La chenille du mopane est incontestablement la chenille la plus consommée et qui présente la plus grande importance économique (9,22).

Cette chenille est endémique dans les formations boisées de mopane, leur arbre hôte (*Colophospermum mopane*), de l'Angola, du Botswana, du Mozambique, de Namibie, d'Afrique du Sud, de Zambie et du Zimbabwe. (9)

On estime que 9,5 milliards de chenilles du mopane sont récoltées chaque année, activité évaluée à 85 millions de dollars américains. La chenille du mopane est bivoltine, la première récolte à lieu entre novembre et janvier, et la seconde entre mars et mai. (29,30)

Ces chenilles ne sont pas seulement une nourriture de subsistance consommée en période de pénurie alimentaire, elles sont aussi un aliment recherché et constituent une part régulière du menu habituel. (9,29)

La récolte, la transformation, la commercialisation et la consommation fait partie intégrante de la culture locale et permet de surcroît la subsistance des groupes sociaux les plus marginalisés. (9,31)

Elles sont récoltées à la main, principalement par les femmes et les enfants, et sont ensuite purgées, bouillies dans de l'eau salée, puis elles sont séchées au soleil. Elles peuvent être également fumées. (9)

Une fois séchées les chenilles peuvent être conservées plusieurs mois et sont une ressource alimentaire précieuse en cas de période difficile. (9)

La commercialisation des chenilles sur le marché local est souvent la motivation principale de sa récolte et le gain financier est comparable, voire supérieur, aux revenus générés par les cultures agricoles conventionnelles. (29,32,33)

La teneur en protéine des chenilles du mopane est de 48 à 61 % et la teneur en matière grasse est de 16 à 20 % dont 40 % sont des acides gras essentiels. Les chenilles du mopane sont aussi une bonne source de calcium, de zinc et de fer. (34,35)

D'autres chenilles sont consommées en Afrique mais à plus petite échelle. (9)



Figure 52 : Photographie de chenilles mopenes séchées et fumées. (164)

II.1.3.2.3. Chenille africaine du papillon (*Bunæopsis aurantiaca*)

Le *Bunæopsis aurantiaca* est un papillon Africain de la famille de *Saturniidæ* dont la chenille est consommée dans la République démocratique du Congo principalement dans la région du Sud-Kivu.

Cette chenille a comme plante hôte l'arbre *Uapaca guineensis*, un arbre connu pour ses planches en bois de qualité. (36)

II.1.3.2.4. Chenille du bambou (*Omphisa fuscidentalis*)

La récolte des chenilles n'est cependant pas une exclusivité africaine.

En Asie, la chenille du bambou est un met populaire encouragé par le département thaïlandais des forêts comme source viable de revenus, elle est très consommée au Laos et en Thaïlande. (9)

La chenille du bambou est la larve d'un papillon de nuit de la famille des *Crambidæ*. Elle vit dans les bambouseraies et les forêts des régions froides du nord-est de la Thaïlande, du nord du Laos, du nord du Myanmar et dans la province chinoise du Yunnan. Elle est vue comme une friandise par les habitants de ces régions.



Figure 53 : Photographie d'un panier de chenilles du bambou. (*Omphisa fuscidentalis*.)



Figure 54 : Photographie de vers du bambou frits (à gauche) et de chrysalides de vers à soie frites (à droite).

La récolte des larves pour la consommation humaine a lieu principalement pendant la période de diapause pendant que les larves se rassemblent dans une seule cavité à l'intérieur du bambou.

La demande, en augmentation permanente, est aujourd'hui très élevée pour cette chenille, si bien qu'il est difficile d'y répondre en Asie.

Les chenilles sont consommées frites et peuvent être aromatisées d'herbes, épices ou condiments.

Elle est constituée de 26 % de protéines et de 51 % de matières grasses. (9)

II.1.3.2.5. Vers du maguey (*Comadia redtencheri* et *Ægiale hesperialis*)

Les vers rouges du maguey (*Comadia redtencheri*) et les vers blancs du maguey (*Ægiale hesperialis*) sont récoltés dans le centre du Mexique sur les feuilles du maguey (*Agave hesperialis*), une espèce d'agave. (9)

Ce sont les chenilles d'un papillon de nuit qui le parasitent.

Elles sont considérées comme des friandises pour les agriculteurs mexicains. En général, ils sont consommés frits ou braisés, avec une sauce épicée et servis dans une tortilla. (9)



Figure 55 : Photographie de vers du maguey frits accompagnés de la préparation pour tacos. (165)

Les vers rouges du maguey et les larves du charançon de l'agave (*Scyphophorus acupunctus*), un coléoptère, sont introduits dans les bouteilles de mezcal (boisson alcoolisée obtenue par distillation à partir des plants de maguey) au Mexique dans l'État de Oaxaca. (9)

Ces larves se nomment localement les *gusanos*, elles sont tellement recherchées que les producteurs de mezcal doivent faire protéger les plantations d'agaves par des gardiens contre les braconniers. (9)

II.1.3.2.6. Ver à soie (*Bombyx mori*)

L'élevage du ver à soie est très ancien dans de nombreuses régions asiatiques, et de même en Europe, où il a été introduit après les croisades. Il est élevé pour la soie qu'il produit.

Les papillons mâles sont utilisés en Asie dans la fabrication de produits alimentaires et médicaux. De plus, les chrysalides sont traditionnellement consommées comme des mets de choix en Asie. En effet, le dévidage des cocons pour récupérer la soie produite nécessite l'ébouillantage de ceux-ci. Les chrysalides qu'ils contiennent sont tuées dans l'opération et traditionnellement consommées par les populations les plus pauvres de Chine et des pays

voisins. (9)



Figure 56 : Photographie de chrysalides de vers à soie frites sur les étals d'un marché à Bangkok, Thaïlande.

À Madagascar, ce sont les chrysalides de *Bombyx* sauvages qui sont ramassées à des fins culinaires, préparées et frites après avoir été ébouillantées. (22)

II.1.3.3. Hyménoptères (guêpes, abeilles et fourmis)

II.1.3.3.1. Fourmis

Les fourmis sont des friandises très recherchées dans de nombreuses régions du monde. (9) Les larves et les nymphes (couvain royal), appelées aussi œufs de fourmis, constituent un aliment très apprécié en Asie.

En Thaïlande, les œufs de fourmis sont commercialisés en boîte de conserve. (9)

Une fourmi tisserande noire (*Polymachis dives*) est largement distribuée dans le Sud-Est subtropical de la Chine, au Bangladesh, en Inde, en Malaisie et au Sri Lanka. Elle constitue un ingrédient nutritionnel dans divers aliments toniques et produits de santé disponibles sur le marché chinois. La Chine a autorisé plus de 30 produits de santé contenant des fourmis. (9)

Au Chiapas, un état du Mexique, deux espèces de fourmis coupeuses de feuilles (*Atta mexicana* et *Atta cephalotus*) sont couramment consommées et commercialisées.

Plus au sud du Mexique les Amérindiens consomment des fourmis également du genre *Atta*. (9)

De même, il existe des fourmis dites « pot-de-miel » qui sont recherchées et consommées par certains peuples. Ce sont des fourmis qui ont pour fonction d'accumuler dans leur abdomen, nommé jabot, un miellat. Ainsi, leur jabot gonflé par leur miel grandit démesurément et elles constituent une réserve de nourriture vivante pour la colonie. Les ouvrières chargées de l'approvisionnement viennent transférer le miellat récolté sur les galles des arbres dans le jabot de ces ouvrières stockeuses. Elles vivent accrochées au plafond de la fourmilière et lorsqu'elles sont sollicitées par les ouvrières, elles régurgitent le miellat au fur et à mesure des besoins de la colonie. (22)

Ces fourmis « pot-de-miel » sont très recherchées par les gourmets et on en trouve entre 500 et 600 par fourmilière. Avant leur consommation, leur abdomen est séparé de la tête et croqué directement, il a une saveur acidulée et sucrée. (22)

Les aborigènes d'Australie repèrent les nids des fourmis *Camponotus inflatus* et creusent le sol à la recherche de leur précieux nectar. Au Mexique, les *Myrmecocystus* sp. font partie des fourmis « pot-de-miel » consommées localement. (9)



Figure 57 : Photographie d'une fourmi « pot-de-miel ». (166)

II.1.3.3.2. Guêpes

Au Japon, les larves de guêpes jaunes (*Vespula* et *Dolichovespula*), appelées localement *hebo*, sont couramment consommées, surtout dans les régions montagneuses. Cette friandise est tellement appréciée que l'approvisionnement local ne suffit pas et le Japon doit en importer d'Australie et du Vietnam. On peut les trouver vendues en conserve. (9,22)

Sur l'île de la Réunion, les larves de guêpes maçonnes (*Poliste olivaceus*) sont très appréciées et constituent ce que les créoles réunionnais nomment le « caviar de l'île de la Réunion ». Elles sont récoltées de manières traditionnelles dans les montagnes sauvages, les lieux les plus reculés de l'île. Ces larves sont si appréciées que la récolte locale est insuffisante, et aujourd'hui, il est possible de trouver des nids de guêpe importés de Madagascar ou d'Afrique. Elles sont consommées frites accompagnées de riz ou de haricots et de rougaille.

Les larves de guêpes sont consommées également en Asie du Sud-Est.



Figure 58 : **Vente traditionnelle de nids de guêpes sur l'île de la Réunion.**

II.1.3.3.3. Abeilles

Un certain nombre d'études a montré que le couvain (œufs, larves et nymphes) et les adultes de nombreuses familles d'abeilles sont comestibles. (37,38)

Une analyse nutritionnelle détaillée montre que le couvain d'abeille est une excellente source d'énergie, d'acides aminés, de minéraux essentiels et de vitamines B. (39)

Avec les guêpes, les abeilles sont des insectes alimentaires les plus importants dans le nord de la Thaïlande. Les larves d'abeilles peuvent être consommées à la manière des larves de guêpes. (9)

II.1.3.4. Orthoptères (sauterelles, criquets et grillons)

II.1.3.4.1. Sauterelles et criquets

Environ 80 espèces de sauterelles sont consommées dans le monde, et la grande majorité des espèces de sauterelles et de criquets sont comestibles. Elles sont consommées dans le monde entier. (9)

En Afrique et au Proche-Orient, les invasions de criquets migrateurs sont catastrophiques. Effectivement, des nuées de millions d'insectes s'abattent sur les cultures et la végétation sauvage ne laissant pas une graine, pas une feuille, pas un fruit après leur passage. Les disettes et les famines qui en suivent sont cependant atténuées par la consommation des criquets eux-mêmes, ressource très riche en calories et leur récolte est particulièrement aisée lorsqu'ils sont en essaims. Certains récits de voyageurs du XIX^e siècle racontent que les Hottentots, peuple pastoral d'Afrique australe, se gavaient de criquets après une invasion à tel point qu'ils prenaient beaucoup de poids en quelques jours. (9,22)

Les sauterelles et les criquets sont généralement récoltés le matin lorsque la température est

plus fraîche car ils sont relativement immobiles. Alors qu'aux heures les plus chaudes de la journée, ils sont plus difficiles à attraper car ils sont trop actifs. (9)

En Afrique, le criquet pèlerin, le criquet migrateur, le criquet nomade et le criquet brun sont consommés. (9)

À Madagascar, après avoir été séchés au soleil pour pouvoir les conserver, ils sont soit croqués tels quels, soit pilés et réduits en poudre pour être ajoutés à diverses préparations, soit ramollis dans de l'eau salée avant d'être frits à la graisse. (22)

En Afrique du Nord, les criquets étaient consommés soit à l'état frais, soit pilés et mélangés au fromage de lait de chamelle ou soit cuits et servis avec le couscous. (22)

Au Niger, on trouve fréquemment des sauterelles en vente sur les marchés ou comme *snacks* sur le bord des routes. En outre, il a été démontré que les sauterelles récoltées dans un champ de millet rapportent plus d'argent, sur le marché local, que le millet de ce même champ. (40)

Par ailleurs, du fait de leur statut d'insectes nuisibles pour l'agriculture, des concentrations relativement élevées de résidus de pesticides organophosphorés ont été détectés dans des criquets ramassés pour être consommés au Koweït. Leur concentration dépassait les taux autorisés pour la consommation humaine. (41)

Au Japon, la récolte de sauterelles (principalement *Oxya yezoensis*) est liée à la récolte de riz. Une fois récoltées, elles sont maintenues vivantes en captivité pendant une nuit afin qu'elles puissent se purger de leurs excréments. Le jour suivant, elles sont frites ou bouillies et les pattes sont arrachées car elles ne sont pas comestibles. Après séchage au soleil, les sauterelles sont cuisinées dans de la sauce soja et du sucre. Elles sont traditionnellement consommées en automne comme accompagnement ou comme amuse-bouche. Toutefois, avec l'industrialisation croissante du pays, la récolte et la consommation de sauterelles ont décliné ces dernières années en raison de l'utilisation accrue d'insecticides et d'un certain désintéressement des consommateurs. (42)

Les sauterelles de rizière sont consommées dans la plupart des pays asiatiques. (9)

En Corée, elles étaient couramment consommées en accompagnement, en ingrédient du repas du midi et comme amuse-bouche. (9)

En Thaïlande, les criquets frits est l'un des insectes comestibles les plus renommés et les plus populaires, et ces insectes ne sont plus considérés comme un problème majeur pour l'agriculture en raison de leur collecte intensive. Certains agriculteurs cultivent même le maïs pour attirer et nourrir ces insectes, plutôt que de le récolter et de le vendre. En effet, les criquets ont une valeur commerciale supérieure à celle du maïs. (9)



Figure 59 : Criquets frits sur les étals d'un marché de Bangkok, Thaïlande.

II.1.3.4.1.1. Chapulines

La chapuline est probablement la sauterelle comestible la plus connue en Amérique latine. Cette petite sauterelle fait partie du régime alimentaire local depuis des siècles. (9)

Elle est toujours consommée dans certaines parties du Mexique, dont l'État de l'Oxaca, qui est particulièrement renommé pour la consommation des chapulines. (9,43)

Elles sont nettoyées et grillées avec un peu d'huile, de piment, d'ail, du citron et du sel pour exalter l'arôme. Puis elles sont consommées telles quelles ou dans des tortillas. (9,22)

Les chapulines occupent une place importante sur les petits marchés locaux ainsi que dans les restaurants et sur les marchés d'exportation. Malgré la valeur nutritionnelle et culturelle des chapulines, des études récentes ont montré que ces sauterelles peuvent contenir des taux élevés et parfois dangereux de plomb. (43)

Les chapulines sont aujourd'hui, parmi d'autres insectes, au menu des restaurants les plus renommés du Mexique et du monde, et des sauterelles séchées et conditionnées peuvent être achetées dans les boutiques gastronomiques les plus réputées. (38)

II.1.3.4.1.2. Sauterelle comestible (*Ruspolia differens*)

La sauterelle comestible (*Ruspolia differens*), aussi connue sous le nom de *Homorocoryphus nitidulus vicinus*, appartient à la famille des *Tettigoniidæ*. Elle est une source commune de nourriture dans de nombreuses régions d'Afrique de l'Est et du Sud. (9)

Dans la région du lac Victoria, elles constituent une part majeure de la culture alimentaire, où elles sont connues sous le nom de « nsenene ». Elles sont considérées comme une friandise et elles sont traditionnellement récoltées par les femmes et les enfants. (9,44)

En Ouganda, une étude de marché a montré que le prix d'un kg de sauterelles atteignait sur le marché local un prix 40 % supérieur à celui du prix d'un kg de viande de bœuf. (45)

II.1.3.4.2. Grillons

En Asie, les grillons (*Gryllus bimaculatus*, *Teleogryllus occipitalis* et *T. mitratus*) sont récoltés dans la nature et couramment consommés comme aliment. Le grillon domestique (*Acheta domesticus*) est élevé et également communément consommé, en particulier en Thaïlande, où il est préféré aux grillons sauvages, en raison de son corps plus tendre. (9)

En Thaïlande, il existe des fermes de grillons dans l'ensemble du pays. Mais seules deux espèces de grillons (*Gryllus bimaculatus* et *Acheta domesticus*) sont élevées de manière économiquement rentable. (9)

Les grillons sont très faciles à élever et leur élevage est facilement industrialisable et font partie des insectes comestibles ayant le plus de perspectives futures dans l'alimentation humaine et animale.

II.1.3.5. Homoptères (cigales, cicadelles et cochenilles)

Au Malawi, plusieurs espèces de cigales (*Ioba*, *Platypleura* et *Pycna*) sont des aliments extrêmement appréciés. Les cigales sont récoltées sur le tronc des arbres à l'aide de longues tiges de roseau ou d'herbes enduites d'une substance collante, tel que le latex obtenu d'un *Ficus*. (9)

Les cigales représentent une ressource alimentaire appréciée aussi bien par les peuples d'Afrique du Sud que ceux du Vietnam et les aborigènes australiens. Elles peuvent être consommées crues ou cuites. (22)

Certains homoptères fournissent des produits qui sont couramment consommés par l'homme, comme le colorant carmin (pigment rouge vif, référencé E120) extrait de la cochenille du cactus (*Dactylopius coccus*) souvent utilisé comme colorant alimentaire, textile ou pharmaceutique. Cette cochenille vit sur le cactus *Opuntia ficus-indica* qui est également cultivé pour son fruit connu sous le nom de figue de Barbarie. (9)

Les hommes consomment aussi le lerp, la sécrétion sucrée, cristallisée, produite par les larves de psylles (*Arytaina mopane*) qui forme un bouclier de protection en forme de cône autour de la larve. On en trouve en Afrique du sud mais le plus grand nombre de psylles producteurs de lerp est trouvé en Australie sur l'Eucalyptus. Les aborigènes australiens récoltent le lerp comme aliment sucré. On trouve également du lerp au Japon. Le lerp est séché au soleil puis mis en boules pour être consommées ultérieurement (9)

II.1.3.6. Hétéroptères (punaises)

À travers le monde il n'est pas rare de trouver des populations qui mangent des nymphes et des adultes de punaises puantes. Dans le sud de l'Afrique, par exemple, la punaise *Encosternum delegorguei* est considérée comme un met délicat. Toutefois, les punaises puantes nécessitent souvent une préparation pour les débarrasser de leur « poison » qui leur

donne un goût amer. (9)



Figure 60 : **Photographie d'une assiette de punaises.** (167)

Les punaises pentatomides sont consommées dans une large partie de l'Afrique subsaharienne, surtout en Afrique australe. Au Soudan, le pentatomide (*Agonoscelis versicolor*), un insecte nuisible au mil pluvial, est consommé grillé. De l'huile est également préparée à partir de cet insecte et elle est utilisée dans la préparation des aliments et pour traiter les chameaux contre la gale. (9)

Toutefois, les pentatomides comestibles sont pour la plupart aquatiques. Le caviar mexicain, l'*ahuahutle*, est composé des œufs de sept espèces d'hémiptères aquatiques. Ces hémiptères sont élevés en élevage extensif en utilisant des pratiques traditionnelles qui consistent à aménager de petits points d'eau. Néanmoins, ce type d'élevage est menacé par la pollution et l'assèchement des zones humides. (38)



Figure 61 : **Photographie du caviar mexicain prêt à la consommation.** (168)

II.1.3.6.1. Punaises d'eau géantes ou nêpes géantes (*Lethocerus indicus*)

En Asie du Sud-Est, principalement en Thaïlande, les punaises d'eau géantes sont considérées comme des mets raffinés. Elles sont capturées avec des pièges flottants munis d'une lampe pour les attirer à la nuit tombée. On les retrouve en grand nombres sur les marchés thaïlandais où elles sont très appréciées si bien qu'un arôme artificiel reproduisant le goût des nêpes existe en Asie.



Figure 62 : **Punaises d'eau géantes frites**
sur les étals d'un marché à Bangkok,
Thaïlande.

II.1.3.6.2. Huiles comestibles issues des punaises du melon et du mil au Soudan

La punaise du melon (*Coridius viduatus*) est largement répandue dans toute la République du Soudan surtout dans les régions où la culture des pastèques est répandue. La punaise du melon est le principal nuisible des cultures des cucurbitacées et provoque des dégâts importants sur les plants en consommant leur sève et pouvant provoquer la mort du plant.

Une huile nommée « um-buga » est extraite des punaises du melon, à leur dernier stade larvaire. Cette huile est une ressource alimentaire majeure dans la région du Soudan. (9)

II.1.3.7. Isoptères (termites)

Dans le monde occidental le termite est vu comme un nuisible en raison de leur capacité à dévorer le bois. Effectivement, les dégâts occasionnés par les termites chaque année sont considérables. C'est grâce à des protozoaires présents dans leur tube digestif que les termites peuvent digérer la cellulose. (9)

Toutefois, les termites sont considérés comme un met raffiné dans de nombreuses régions du monde. Ils sont consommés aussi bien en plat principal qu'en accompagnement, ainsi qu'en amuse-bouche après avoir été désaillés, frits et séchés au soleil. (46)

Ils sont souvent comparés aux fourmis en raison de leur vie sociale et sont parfois appelés « fourmis blanches ». Cependant, ils n'appartiennent pas au même ordre d'insectes. D'ailleurs, les termites sont les seuls insectes sociaux n'appartenant pas aux hyménoptères. (5)

Les espèces les plus communément consommées sont les espèces aux grandes tailles du genre *Macrotermitinæ*. Les termites sont souvent consommés sous la forme ailée qui émerge des trous près de la termitière, après la chute des premières pluies, après la saison sèche, période de leur essaimage. Ces termites ailés sont les futurs rois et reines des nouvelles colonies. De même les soldats sont aussi comestibles. (9)

Les termites sont connus pour construire de très grands nids très élaborés, ils peuvent atteindre jusqu'à 8 mètres de haut et héberger jusqu'à 1 million d'individus, comprenant des ouvriers, des soldats, un roi et une reine. (9)

Les plus gros termites sont consommés en Amazonie.

La reine des termites est un met particulièrement apprécié, souvent réservé aux grandes occasions. Sa valeur nutritionnelle est telle qu'en Ouganda et en Zambie elles sont données aux enfants malades. Toutefois, le prélèvement de la reine est très laborieux et provoque la destruction de la colonie toute entière. (9)

La consommation des soldats est aussi fréquemment observée. Ils sont souvent frits ou pilés et incorporés dans des gâteaux. Parfois, comme par exemple en Ouganda, seules les têtes sont consommées. Contrairement aux formes ailées les soldats peuvent être consommés toute l'année. (9)

Dans certaines sociétés traditionnelles, dans le bassin du Congo par exemple, les chefs se réservaient la propriété et l'exploitation des termitières situées sur le territoire de la tribu. Ce qui témoigne de l'importance de cette source alimentaire dans ces régions. (22)

Les termites sont riches en protéines, acides gras et en divers micronutriments. Frits ou séchés, les termites contiennent 32-38 % de protéines. Les teneurs en acides gras essentiels comme l'acide linoléique sont particulièrement élevées chez les espèces africaines à termitières aérienne Les termites sont aussi riches en acides aminés essentiels comme le tryptophane et en d'autres micronutriments comme le fer et le calcium. (9,47-49)

Les voyageurs ont fait des commentaires élogieux sur le goût des termites. La plupart évoque une saveur douce et grasse rappelant la moelle, la pâte d'amande ou de la crème sucrée. Il est également possible d'extraire une huile des termites qui aurait un goût de noisette. (22)



Figure 63 : **Photographie de la reine d'une termitière africaine.** (169)

II.1.3.8. Diptères

Ils représentent après les coléoptères le deuxième ordre d'insectes le plus important. Les asticots ou larves de mouche n'ont jamais eu de succès du point de vue culinaire auprès des humains. (22)

Au XIX^e, des explorateurs anglais de la région du lac Tanganyika, aujourd'hui entre la République démocratique du Congo et la Tanzanie, ont rapporté que les indigènes ramassaient les adultes d'une espèce de moustique qui apparaissaient à certain moments par milliards d'individus, au bord du lac. Ils les pillaient pour fabriquer une sorte de gâteau. (22)

Au Japon, Fukuoka rapporte que dans les temps anciens les asticots étaient ramassés dans les fosses d'aisances pour préparer des mets délicats. (27)

Au Mexique, les eaux des lacs salés voient pulluler par moment des larves de deux espèces de moucheron, qui étaient traditionnellement consommées par les Indiens. De plus, il existe une préparation de tortilla aux œufs de moustique, qui ont un goût un peu comparable à ceux des crevettes, mais en plus intense. (22)



Figure 64 : Photographie d'une assiette d'œufs de moustique au Mexique. (167)

II.1.3.9. Arachnides (araignées, scorpions et acariens)

De nombreuses araignées et de nombreux scorpions sont comestibles. On retrouve, par exemple, la tarentule du zèbre qui est largement consommée (*Haplopelma albostriatum*) et également de nombreuses mygales et le scorpion doré de Mandchourie.

Une fois récoltées, les araignées sont débarrassées de leurs crochets à venin pour éviter les envenimations mais aussi car ils sont contondants et indigestes. De même, le dard des scorpions est retiré pour les mêmes raisons. Cependant, leur venin est inactivé par la cuisson.



Figure 65 : Photographie d'une assiette de tarentules du zèbre. (167)

Au Cambodge, principalement dans la ville de Skuon, les tarentules du zèbre frites sont vendues en guise de spécialité gastronomique. Elles sont ramassées dans les forêts du pays puis frites dans l'huile et assaisonnées avec des condiments. Leur goût est réputé être entre la morue et le poulet ou entre le crabe et la crevette. Toutefois, cet attrait pour ces tarentules et la déforestation ont contribué à sa raréfaction à tel point que l'espèce est aujourd'hui menacée. (50,51)

Aussi, l'épeire comestible, une grosse espèce d'araignée, très répandue dans les archipels de la Polynésie et très recherchée des insulaires, où elles sont considérées comme un met délicieux.



Figure 66 : Scorpions frites sur les étals d'un marché Thaïlandais.



Figure 67 : Photographie de brochettes de scorpion sur un étal du marché de Bangkok, Thaïlande. (167)

II.2. Insectes comestibles en Europe

Les insectes sont largement consommés dans le monde entier, cependant l'Europe et le monde occidental apparaissent comme les rares régions « non entomophages » de la planète (voir Figure 44, page 70). (9,22)

En France, selon l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES), il n'existe pas de données précises sur la consommation des insectes comestibles, qui, selon elle, est très probablement marginale. Il s'agit aujourd'hui d'un marché de niche pour quelques consommateurs désireux de sensation nouvelles. (52)

II.2.1. Historique

L'absence des insectes dans la gastronomie européenne, nous suggère l'hypothèse qu'ils n'ont jamais été consommés dans cette partie du globe. Cette hypothèse s'avère inexacte car l'entomophagie est mentionnée dans les textes antiques. Tout d'abord, elle est présente dans la Bible qui est un fondement important de notre société. Ensuite, l'entomophagie a aussi existé en Europe dans les temps anciens. En effet, durant l'antiquité, Aristote et Pline l'Ancien rapportent que les hautes sociétés Grecques et Romaines consommaient des cigales et des larves de scarabées. Après les invasions barbares, les insectes semblent disparaître des tables les plus raffinées. Par la suite, l'entomophagie ne s'est jamais réellement imposée en Europe mais a existé de manières anecdotiques. Le sujet reste relativement peu documenté. (9,22)

Le continent européen semble redécouvrir l'entomophagie au XIX^e siècle à travers les récits des explorateurs décrivant les habitudes alimentaires des peuples autochtones que l'opinion générale considère alors comme « non civilisés » voire « sauvages ». À cette même époque, quelques entomologistes ont essayé d'introduire une alimentation entomophage, comme l'américain C.H. Riley et l'anglais Holt, en vue de nourrir les populations pauvres et de lutter contre les invasions croissantes des terres agricoles par les insectes. En France et en Allemagne, par l'intermédiaire de la « soupe aux hannetons », des tentatives similaires ont été proposées. En dépit de ces modestes tentatives, l'entomophagie ne reçut qu'un succès très limité. (9,22)

L'absence des insectes dans l'alimentation des européens est en réalité un « tabou » alimentaire culturel et, aujourd'hui, l'entomophagie, outre son aspect inhabituel, est toujours souvent perçue avec un profond dégoût et associée à des comportements primitifs. Les insectes sont vu comme des aliments de misère et de famine que le développement économique aurait permis d'abandonner à « juste titre ». La civilisation et la consommation d'insectes seraient antinomique. On peut dire avec certitude que la majorité des européens sont réticents à l'idée même de manger des insectes grâce à de nombreux sondages. Cette attitude culturelle a conduit à négliger le potentiel des insectes dans l'alimentation moderne. (9,22)

Pour les européens et les occidentaux, la récolte des insectes a été associée à l'ère des

chasseurs-cueilleurs et comme une forme primitive d'acquisition de nourriture. De plus, l'agriculture sédentaire peut avoir conduit à une perception des insectes comme une nuisance et une menace à l'encontre des réserves et des productions alimentaires. En général, les sources alimentaires non domestiquées sont devenues moins étendues, en raison de leur disponibilité saisonnière et de leur caractère incertain. L'insecte est donc devenu synonyme de « vecteur de maladie et de nuisances » à l'exception des papillons et des coccinelles qui font partie des rares insectes qui ne provoquent pas l'aversion en Occident. En outre, certains missionnaires pendant la période coloniale condamnaient l'entomophagie comme des coutumes païennes. (9,22)

Le dégoût forme la base d'un jugement moral et joue un rôle capital dans le rejet par les populations pour une nourriture, et cela de manière innée. On peut dire que le dégoût est entièrement culturel. La culture, sous l'influence de multiples facteurs, définit ce qui est comestible ou ce qui ne l'est pas et cela indépendamment de la comestibilité avérée d'un aliment potentiel. (9,22)

Pourtant, les insectes sont considérés comme des mets raffinés dans de nombreuses parties du monde, particulièrement sous les tropiques.

C'est pour ces raisons que l'entomophagie n'a que très récemment attiré l'attention du public au niveau européen, notamment grâce à leurs vertus nutritionnelles. En effet, depuis quelques années, on trouve en vente dans des boutiques spécialisées, ou sur internet, des insectes comestibles destinés à l'alimentation humaine sur le marché européen et des pays occidentaux. (9,22)

Ces nouveaux comportements alimentaires jusqu'alors marginaux n'ont pas été pris en compte lors de la rédaction des législations et des règlements européens. Cependant, depuis peu, l'Union européenne commence à s'intéresser à ces nouveaux aliments qui prennent peu à peu de l'ampleur et cherche petit à petit à lui donner un cadre légal.

II.2.2. Cadre légal en Europe

Les lois et les cadres réglementaires européens de l'industrie agroalimentaires se sont énormément développés ces vingt dernières années, cependant, les règlements concernant spécifiquement les insectes en tant que ressources alimentaires pour les êtres humains ou les animaux sont souvent toujours absents. En Europe, l'absence d'une législation claire et de normes pour l'utilisation des insectes dans l'alimentation humaine ou animale, est le principal facteur limitant le développement de l'élevage d'insecte dans ce but. Dans les pays en développement, l'utilisation des insectes dans l'alimentation est plus tolérée ou admise que réglementée. Le secteur de l'alimentation animale semble prendre la tête dans la promotion de normes prenant de plus en plus en compte des insectes, alors que le concept « Novel Food » devient l'instrument principal pour l'établissement de règles et de normes pour l'utilisation d'insectes dans l'alimentation humaine.

La production, le commerce et l'utilisation des insectes comestibles dans l'alimentation humaine et animale font l'objet de multiples domaines de réglementations. (9)

II.2.2.1. Cadre légal dans la production

Actuellement en France, à l'exception des abeilles mellifères, des vers à soie et des drosophiles, les insectes ne sont pas considérés comme des animaux domestiques et leur élevage alimentaire n'est pas officiellement reconnu. Aux yeux de la loi, les insectes en élevage sont donc considérés comme des animaux sauvages captifs, ils relèvent donc de la loi « faune sauvage captive » (articles L. 413-1 à L. 413-5 et articles R. 413-1 à R. 413-50). Leur détention relève d'une réglementation spéciale qui s'applique notamment aux zoos. Un élevage d'insectes est donc normalement soumis à un « certificat de capacité d'élevage » pour l'éleveur, délivré par le Préfet. Il faut noter qu'il n'existe aucune mesure nationale de protection animale spécifique aux insectes élevés en captivité. (22,52,53)

Cependant, de façon simplifiée, en ce qui concerne l'élevage d'agrément d'insectes non domestiques, non protégés, non nuisibles, non dangereux, à des fins personnelles, dans un but non lucratif, en des petits effectifs et ne concernant pas la présentation au public, il n'est pas formellement obligatoire de procéder aux démarches administratives que ce soit des éleveurs amateurs ou des établissements scolaires. (52,53)

Les règlements européens concernant les animaux d'élevage destinés à la production d'aliments ne mentionnent pas les insectes comestibles mais la définition donnée d'un animal d'élevage dans le règlement 1069/2009 les englobe tacitement : « tout animal détenu, engraisé ou élevé par des êtres humains et utilisé pour la production d'aliments ». (22,52)

Un élevage d'insectes destiné à l'alimentation humaine ou animale relève des règles d'hygiène du règlement européen 178/2002 connu sous le nom de « paquet hygiène ». Bien que les insectes ne soient pas cités dans ce texte, l'ANSES estime que :

« le paquet hygiène s'applique à toutes les étapes de la production, de la transformation et de la distribution des denrées alimentaires et des aliments pour animaux, incluant implicitement aussi les insectes ». (22,52)

Les animaux d'élevage ne peuvent être alimentés par du lisier ni par du fumier (règlement 767/2009), ce qui interdit l'utilisation alimentaire d'asticots élevés pour réduire le volume de ces déchets, ni surtout avec des déchets de cuisine et de table (règlement 1069/2009), ce qui interdit notamment le recyclage du pain sec et autres déchets à base de farine qui pourraient nourrir diverses espèces, notamment les vers de farine. (22,52)

II.2.2.2. Cadre légal pour l'alimentation humaine

N'étant pas traditionnellement consommés en Europe, les insectes ne sont pas perçus comme des ingrédients normaux de l'alimentation humaine ou animale, et de ce fait, ils ne tombent que rarement dans les attributions des règlements alimentaires et sont toujours considérés comme des produits étrangers aux aliments dans ces textes.

Aux niveaux nationaux et internationaux, les normes et les règlements attestant de l'utilisation des insectes comme ingrédients dans l'alimentation humaine sont rares. Sur le site internet FAOLEX (site internet qui est une base de données législative, exhaustive et actualisée, de lois nationales des pays du monde et de réglementations sur l'alimentation,

l'agriculture et les ressources naturelles renouvelables, disponible en ligne sur <http://www.fao.org/faolex/fr/>), on ne trouve aucune loi ou règlement concernant directement les insectes destinés à la consommation alimentaire. (9,22)

Au mieux, les références législatives aux insectes dans le contexte alimentaire prescrivent les limites maximales de traces d'insectes autorisées dans les denrées lorsqu'elles sont inévitables. Dans les textes, ils sont donc considérés comme des impuretés dans les aliments. De plus, dans certains aliments stockés, les règlements interdisent explicitement la présence d'insectes vivants. (9,22)

Cependant, selon la FAO, ces « impuretés » dues aux insectes peuvent être, en fait, bénéfiques pour la santé. Par exemple, les populations dans les régions où l'on consomme du riz, ingèrent couramment un grand nombre de larves de charançon du riz (*Sitophilus orizæ*) et il a été suggéré que c'était une source importante de vitamines. (54)

Dans les pays développés, l'absence de législation spécifique pour l'utilisation des insectes comme ingrédients dans l'alimentation humaine, est due, entre autres facteurs, à l'absence d'élevages anciens d'insectes comestibles et à leur développement limité, mais également à l'absence de consommation significative et ancienne d'insectes dans ces pays. (9)

L'insecte comestible, en tant que nouvel aliment, a longtemps relevé du règlement européen 258/97, plus connu sous le nom anglais de « Novel food » (nouveaux aliments). Il stipulait que tout aliment n'ayant pas été consommé significativement en Europe avant 1997 devait faire l'objet d'une procédure d'autorisation avant de pouvoir être mis sur le marché, dans le but de prouver son innocuité. Cette procédure était fastidieuse et très complexe, si bien qu'en 2017 soit 20 ans après l'adoption du règlement « Novel food » aucune procédure concernant des insectes n'avait été validée au niveau européen. (22,55)

Le « Novel food » ne citait dans ses textes que les « parties d'animaux » créant un flou juridique avec des interprétations variées. Il était possible de considérer que les insectes cuisinés entiers n'étaient pas concernés par la nécessité de déposer un dossier d'autorisation. En outre, après avoir défini les nouveaux aliments, le texte mentionne que :

« Le présent règlement s'applique à la mise sur le marché dans la Communauté d'aliments et d'ingrédients alimentaires pour lesquels la consommation humaine est jusqu'ici restée négligeable dans la Communauté. »

Cela permet des interprétations variées du terme « négligeable » créant, ainsi un flou juridique entourant la consommation des insectes, étant donné qu'il existait déjà une consommation et des élevages d'insectes comestibles en Europe avant 1997. (22,55)

Jusqu'à très récemment, l'Administration française, s'en tenant officiellement à une application stricte des textes européens, considérait que seule l'autoproduction et l'autoconsommation étaient autorisées de manière explicite. Cependant, dans les faits, il existait une tolérance relative vis-à-vis de la commercialisation et de l'élevage des insectes comestibles en raison de ce flou juridique. (22,55)

Ainsi l'ANSES a précisé, début 2015, dans son avis sur les risques de la consommation d'insectes que :

« 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 ».

Cet avis était significatif car il reconnaissait implicitement que des insectes pouvaient être

vendus pour l'alimentation humaine mais en conformité « non stricte » avec les règlements alors en vigueur. Ceux-ci étaient flous et permettaient des interprétations variées rendant difficile un consensus sur ce qui était légal ou non. Donc, la commercialisation des insectes, en vue de leur consommation, n'était pas encadré par une réglementation les concernant précisément en raison des lacunes les définissant. Les éleveurs considéraient les insectes comme des animaux d'élevage « classiques » dont l'élevage est encadré par le règlement européen 178/2002 connu sous le nom « paquet hygiène » et leur commercialisation comme des denrées alimentaires « classiques » soumises au règlement européen 852/2004. (22)

C'est pourquoi, bien que la vente des insectes comestibles étaient « virtuellement interdite », il était possible d'en trouver en vente sur internet ou dans certains magasins spécialisés ainsi que dans certains restaurants et traiteurs. (22)

Pour débloquer la situation, une version modifiée du règlement « Novel food » a été adopté fin 2015, paru dans le Journal officiel de l'Union européenne le 11 décembre sous le numéro 2283/2015. Entre autres nouveautés, il cite expressément les insectes : (56)

« le champ d'application du présent règlement devrait, en principe demeurer à celui du règlement (CE) n° 258/97. Toutefois, étant donné l'évolution scientifique et technologique depuis 1997, il y a lieu de revoir, de préciser et de mettre à jour les catégories d'aliments qui constituent de nouveaux aliments. Ces catégories devraient inclure les insectes entiers et leurs parties ».

Et il introduit une procédure d'évaluation plus rapide et plus simple pour les aliments nouveaux en Europe mais consommés depuis au moins une génération dans d'autres régions du monde et dont l'innocuité est attestée. Une appréciation des risques du nouvel aliment ne sera nécessaire que si le dépositaire du dossier ne peut apporter d'éléments montrant qu'il est déjà utilisé en toute sécurité sanitaire ailleurs dans le monde. Et les dossiers ne seront pas traité dans chaque pays, mais au niveau européen, et la décision favorable ou non sera appliqué par tous les pays membres de l'Union européenne. Ce nouveau règlement sera appliqué à compter du 1^{er} janvier 2018. Il laisse aux acteurs du secteur une période transitoire de deux ans pour se mettre en conformité avec ces nouvelles règles, avec cette fois-ci l'obligation de déposer des dossiers pour faire autoriser les insectes comestibles, et se soumettre aux décisions qui ont été prises. (22,55)



Statut des insectes comestibles

Europe 2018

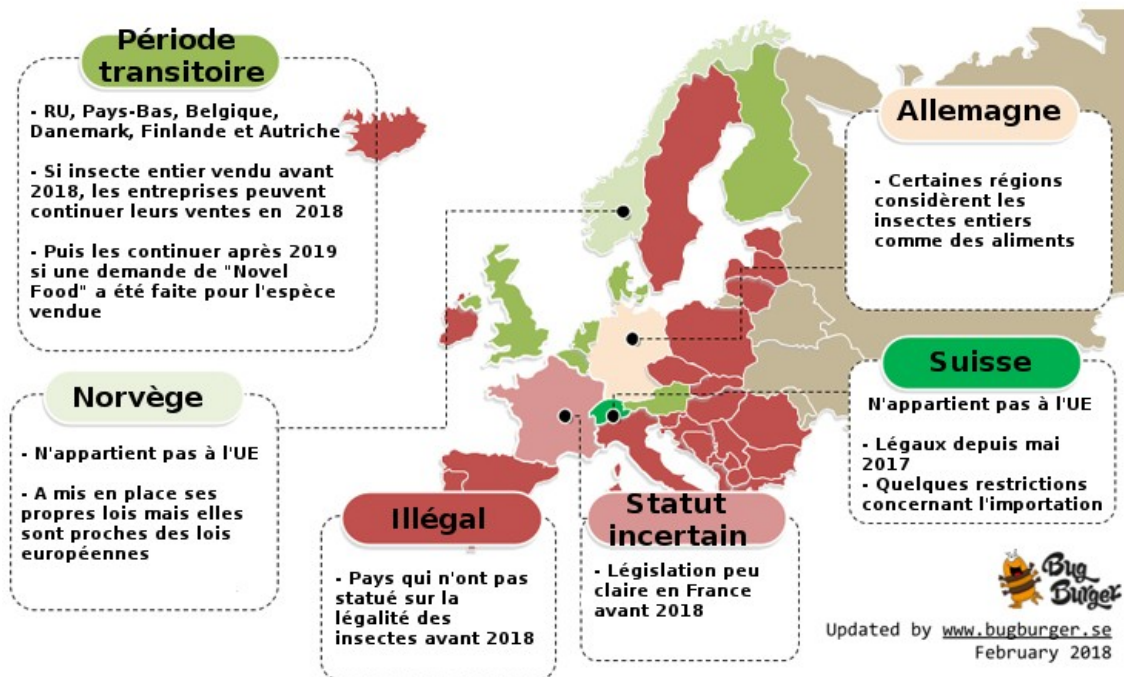


Figure 68 : Statut des insectes comestibles en Europe. (170)

Avant cette version modifiée du règlement « Novel food » les situations en Europe étaient très disparates d'un pays à l'autre et l'interprétation du règlement se faisait au niveau national. Quatre pays avaient autorisé la vente et la consommation des insectes dans un cadre réglementé, devançant ainsi ce nouveau règlement. Ce sont la Belgique, les Pays-Bas, le Danemark et le Royaume Uni. La France avait un certain degré de tolérance grâce au flou juridique. D'autres pays comme l'Italie et l'Allemagne avaient formellement interdit la vente et la consommation des insectes comestibles. (55,57)

La Belgique peut être le pays considéré comme l'un des pays les plus avancés en matière de législation concernant les insectes comestibles. L'autorité de santé publique, sécurité de la chaîne alimentaire et environnement belge (FASFC) a autorisé la commercialisation de dix espèces d'insectes comestibles et précise tous les dérivés d'insectes commercialisables (liste des produits à base d'insectes et insectes autorisés à la vente en vue de leur consommation disponible sur le site de la Santé publique, sécurité de la chaîne alimentaire et environnement belge (47). Le pays possède des lois détaillées pour l'élevage et la vente, cependant la Belgique n'accepte pas la commercialisation des insectes élevés en dehors de l'Union européenne. (57)

Les Pays-Bas possèdent quelques élevages de vers de farine et de criquets destinés à la consommation humaine. La législation du pays n'est cependant pas claire et la *Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit* (NVWA), équivalent de l'ANSES, refuse tous commentaires sur la situation. Mais dans les faits, la commercialisation des insectes comestibles est acceptée. (57)

Le Danemark considère que les insectes entiers ainsi que la farine provenant d'insectes

entiers ne sont pas soumis au règlement « Novel food ». Ainsi, les importations provenant d'élevages non européens sont théoriquement possibles.

La position de la Norvège, pays européen non membre de l'Union européenne, est similaire à celle du Danemark.

L'Allemagne applique strictement le règlement « Novel food », ainsi, les insectes ne peuvent être commercialisés uniquement après une procédure « Novel food » réalisée et approuvée. Dans les faits, aucun insecte comestible ne peut être commercialisé dans le pays, néanmoins aujourd'hui, dans les faits, certaines régions (*länder*) allemandes appliquent une certaine tolérance. (57)

Le Royaume Unis, en voie de quitter l'Union européenne, est favorable à la vente, la consommation et l'importation des insectes comestibles. La position du pays est donc similaire à celle du Danemark.

La Suisse, pays européen non membre de l'Union européenne, a encadré de manière précise les insectes comestibles, comme la Belgique. Elle autorise la vente et la consommation de trois espèces d'insectes depuis décembre 2016 et la législation a été actualisée le 1^{er} mai 2017. Les espèces autorisées sont, tout d'abord le grillon domestique, le criquet migrateur et la larve du ténébrion meunier, plus connue sous le nom de vers de farine. Le gouvernement limite pour le moment ces trois choix d'insectes, qui sont, quand même, les espèces les plus connues et les plus consommées parmi les amateurs d'insectes. Afin d'être commercialisés, les insectes doivent impérativement provenir d'un élevage et faire l'objet d'un traitement strict pour détruire les germes végétatifs. L'office fédéral de la sécurité alimentaire et des affaires vétérinaire (OSAV) définit le traitement bactériologique auquel ils doivent être soumis avant leur commercialisation et dans quelles conditions ils peuvent être mis sur le marché. (57,59,60)

La réglementation concernant les insectes utilisés comme nourriture pour les animaux d'élevage est cependant plus claire. Le règlement 1069/2009 autorise l'utilisation des insectes tels quels pour les animaux à fourrure, les animaux de zoos et autres animaux sauvages en captivité. Ils peuvent aussi servir à nourrir les animaux de compagnie, sous certaines conditions de transformation. (22)

II.2.2.3. Le cas des poudres d'insecte

Les insectes broyés sous forme de poudre sont pour la réglementation européenne en vigueur des « protéines animales transformées » (PAT), plus connues sous le nom de « farines animales ». Le règlement 999/2001, adopté suite à la crise de la vache folle, interdit de donner des PAT aux animaux de boucherie. (22)

Depuis 2013, les PAT, à condition de provenir d'animaux non ruminants, peuvent toutefois être utilisées en pisciculture et vont probablement être autorisés, de nouveau, à l'avenir pour les animaux omnivore. (22)

II.2.2.4. Principaux obstacles à la consommation et à la production des insectes dans les pays occidentaux

Les investisseurs, les éleveurs et les entrepreneurs qui souhaitent mettre en place des élevages d'insectes à l'échelle industrielle pour l'alimentation humaine et animale font faces à des difficultés pour identifier les lois et les règlements appropriés, s'ils existent.

Dans de nombreux pays l'absence de cadre légal pour l'utilisation des insectes dans l'alimentation humaine est considérée par les investisseurs comme un obstacle majeur pour le développement du secteur. (9)

De plus, la consommation d'insectes n'étant pas ancrée dans les habitudes alimentaires des Européens et ces arthropodes sont souvent perçus comme des animaux nuisibles et répugnants, cela suscite l'incompréhension d'un tel régime alimentaire voire le rejet de celui-ci. (9)

II.2.2.4.1. Obstacles majeurs du cadre légal

Les obstacles majeurs légaux à l'élevage des insectes dans l'Union européenne, selon certains producteurs d'insectes pour l'alimentation humaine et animale sont les suivants :

- il existe des règlements sanitaires stricts pour créer des établissements d'élevage mais reste flous concernant les élevages d'insectes ;
- il existe un manque voire une absence de directives sur l'élevage de masse des insectes ;
- dans le catalogue des matières premières pour l'alimentation animales (Règlement n° 609/2013 de la Commission européenne), bien qu'il soit non exhaustif, les farines d'insectes ne sont pas encore mentionnées. En effet, elles sont encore considérées comme des protéines animales transformées ce qui constitue encore un frein supplémentaire pour leur utilisation dans le cadre de l'alimentation animale ;
- un manque de clarté sur l'autorisation ou non des insectes sur le marché par le règlement des nouveaux aliments ;
- l'absence d'informations précises sur les espèces consommées avant le 15 mai 1997 et l'absence de liste les définissant, information nécessaire pour qu'un aliment soit qualifié de nouvel aliment ;

Bien qu'une révision du règlement européen de « Novel food » a été effectuée et est en vigueur depuis le 1^{er} janvier 2018, notre recul est encore insuffisant pour savoir si cette révision va favoriser l'accès au marché des insectes comestibles et lever les précédents obstacles.

Nous pouvons dire, qu'aujourd'hui, la législation et les règlements, bien qu'en évolution dans le secteur de l'élevage et de la consommation, constituent donc dans leur ensemble un obstacle au développement de l'entomophagie dans l'Union européenne. (9)

II.2.2.4.2. Obstacles culturels et économiques

L'alimentation est fortement influencée par les coutumes culturelles ou religieuses au-delà de la comestibilité avérée de l'aliment et de ses vertus nutritionnelles.

En Europe et plus généralement dans les sociétés occidentales, il existe manifestement un dégoût pour l'entomophagie et elle suscite une répulsion instinctive. En effet, la consommation d'insectes est associée aux comportements primitifs et les insectes sont perçus comme des animaux sales voire dangereux. Cette attitude culturelle a conduit à négliger le potentiel des insectes dans l'alimentation moderne. Bien qu'il existe des références historiques à la consommation d'insectes en Europe, l'entomophagie n'a que très récemment attiré du public au niveau mondial. (9,22)

Par conséquent, cet obstacle culturel et l'absence de sensibilisation des consommateurs et des acheteurs sur l'entomophagie conduit à une demande très faible rendant leur commercialisation très difficile.

Les insectes comestibles sur les marchés occidentaux, notamment en raison de cette très faible demande reste encore très chers, en comparaison, par exemple, aux insectes sur le marché thaïlandais. Une poignée d'insecte coûte environ l'équivalent d'un euro sur le marché thaïlandais contre environ 7-8 euros sur le marché européen.

Le coût important et la faible demande en Europe sont des freins économiques important pour le développement de la filière aujourd'hui. (9,22)

Malgré ces nombreux obstacles, la filière des insectes comestibles progresse si bien que la FAO, ainsi que d'autres instances, prédisent un développement très important du secteur dans les années à venir.

II.2.2.5. Provenance des insectes comestibles sur le marché européen

Les insectes comestibles sur le marché européen proviennent soit de l'importation soit d'élevages locaux. Leur commercialisation en vue de leur consommation relève dans les deux cas du règlement « Novel food ».

Les élevages européens élèvent principalement les vers de farine et les vers apparentés, les grillons et les criquets.

Cependant, on trouve sur le marché d'autres insectes, généralement plus gros et tropicaux, qui proviennent principalement d'élevages thaïlandais appartenant souvent à des entreprises européennes qui se chargent de leur préparation et de leur exportation vers le continent européen.

Concernant les insectes sauvages que l'on retrouve sur le marché européen, ils proviennent en majorité d'associations de collecteurs d'insectes comestibles dirigées par des filières européennes et ces principales associations sont en Thaïlande.

À plus petite échelle, il est possible de trouver à Paris sur les marchés des communautés

congolaises et africaines, principalement sur le marché de Château Rouge, des chenilles mopanes séchées importées directement d'Afrique.

Comme pour la consommation et pour l'élevage, les différents pays européens ont chacun leur propre législation concernant les importations d'insectes.

En France, bien que l'on puisse trouver des insectes d'importation à la vente il n'existe aucune législation spécifique les concernant. Ils sont commercialisés comme tout autre insecte comestible qu'ils soient sauvages ou d'élevage. (57,61)

En Belgique, la commercialisation des insectes provenant d'un pays n'appartenant pas à l'Union européenne est prohibée. (58)

Aux Pays-Bas, on retrouve des insectes d'importation commercialisés, cependant la législation ne les mentionne pas expressément. (57)

En Norvège, au Royaume-Unis et au Danemark, les importations d'insectes comestibles sont possibles. (57)

La Suisse autorise l'importation d'insectes comestibles, s'ils appartiennent aux trois espèces autorisées, s'ils proviennent d'élevages et qu'ils ont subi un traitement strict pour détruire les germes végétatifs. (57,59)

II.2.2.6. Élevages d'insectes européens

Les élevages d'insectes sont anciens en Europe mais concernent principalement l'apiculture et la sériciculture. (9)

Une cochenille (*Dactylopius coccus*) est aussi domestiquée depuis longtemps sur le cactus (*Opuntia ficus-indica*) pour en extraire l'acide carminique. Cet acide est utilisé comme colorant pour les aliments humains et dans les industries pharmaceutiques et cosmétiques. (9)

Pour la lutte biologique aussi il existe aussi des élevages anciens d'insectes comme les coccinelles ou les chrysopes pour lutter contre les pucerons. (9)

Anecdotiquement, la mouche verte est aussi élevée pour l'asticothérapie.

Mais les élevages d'insectes comestibles en vue de leur consommation alimentaire sont très récents. (9,22)

L'élevage est surtout réalisé en Europe par des entreprises familiales qui élevaient à l'origine à grande échelle des vers de farine, des grillons et des criquets, principalement pour alimenter les zoos ou les animaux de compagnies ou pour servir d'appât pour la pêche. Leur production pour l'alimentation humaine reste limitée. (9)

Quelques entreprises de tailles industrielles existent ou sont en développement pour produire des insectes en masses. Ces insectes sont élevés pour être consommés en entier ou pour être transformés en aliment pour le bétail. Le but de ces élevages à échelle industrielle est la mise au point de systèmes automatiques qui permettent d'établir des unités de production économiquement très compétitives. (9)

En outre, Cohen a critiqué dans son étude le manque de reconnaissance professionnelle de

l'élevage des insectes, et il souhaiterait la formalisation de leur élevage et que les sciences et technologies alimentaires qui concernent les insectes deviennent des disciplines académiques. Des élevages de qualité sont essentiels pour l'utilisation des insectes comme aliments pour l'homme. (62)

En raison des difficultés et obstacles que rencontre ce secteur, certaines entreprises ont décidé de se rassembler pour former l'*International Platform of Insects for Food and Feed* (IPIFF) qui est une organisation internationale, principalement européenne, à but non lucratif qui a pour vocation de promouvoir les intérêts du secteur de la production des insectes. L'IPIFF comporte des entreprises de 13 pays de l'Union européenne ainsi que d'Israël et de Suisse. (63)

Il existe, en Europe, huit principaux élevages de masse d'insectes comestibles.

Bugging© au Danemark, Micronutris© et Dimini Cricket© en France, Nordic Insect Economy© en Finlande, Korea -- Protifarm© aux Pays-Bas, Dybri© et Instar Farming© au Royaume-Unis et Greenbizz© en Belgique.



Figure 69 : Élevage de vers de farine aux Pays-Bas par l'entreprise Protifarm©.

Un élevage d'insecte comestible est tout à fait réalisable chez les particuliers. Il est possible d'élever à la maison des insectes à faible coût, avec très peu de contraintes et avec un fort rendement. Les insectes sont prolifiques même dans des espaces restreints. Il faudra simplement veiller à apporter aux insectes des aliments de qualité. Toutefois, il se pose une nouvelle fois la barrière psychologique pour ce type d'élevages.

II.2.2.7. Transformation des insectes pour l'alimentation

II.2.2.7.1. Différents types de produits de consommation

Pour le marché européen, les insectes sont souvent tués par congélation pendant 48h. Ils sont ensuite triés, bouillis avant d'être déshydratés par cuisson lente ou lyophilisés.

Ensuite, ils peuvent être transformés ou consommés de trois façons : comme insecte entier ; sous forme moulue ou de pâte ; ou comme un extrait de protéines, de matière grasses ou de chitine pour compléter des produits alimentaires pour les animaux ou pour les Hommes.

Traditionnellement les insectes sont souvent frits ou grillés vivants et consommés. (9)

II.2.2.7.2. Insectes entiers

Dans les pays tropicaux les insectes sont souvent consommés entiers, mais certains insectes, tels que les sauterelles et les criquets nécessitent de retirer certaines parties comme les ailes et les pattes qui sont indigestes. En fonction du plat, les insectes frais peuvent être cuisinés rôtis, frits ou bouillis puis agrémentés de condiments et d'épices ou incorporés dans des plats. (9)

Sur le marché européen, on les retrouve principalement entiers et lyophilisés assaisonnés de sel ou d'épices destinés à être consommés tels quels à l'apéritif. Leur consistance craquante et leur goût salé rappelle les amuse-bouches que l'on sert habituellement dans de tel circonstance comme par exemple les cacahuètes ou les amandes grillées. C'est une approche pour familiariser les européens avec l'entomophagie qui semble avoir un certain succès.

Sur les marchés asiatiques ou africains, on les retrouve vendus dans la rue par des vendeurs ambulants ou sur le marché local, prêts à être consommés comme friandises.

II.2.2.7.3. Granulés, poudres et pâtes

Les insectes comestibles peuvent être concassés ou broyés, on obtient alors une pâte, une farine ou une poudre qui peuvent être incorporés à d'autres aliments pour accroître leur valeur nutritionnelle. De cette manière, on peut réaliser des granulés destinés à l'alimentation animale par exemple pour la volaille et la pisciculture (9)

En Thaïlande, il existe des sauces et pâtes pimentées dans lesquelles sont incorporées des poudres d'insectes pour les aromatiser. C'est le cas des nêpes géantes (*Lethocerus indicus*) dont le parfum est très apprécié. Il existe maintenant un arôme artificiel reproduisant le goût de cet insecte. (9)

Les poudres d'insectes peuvent être utilisées comme ingrédient pour des préparations élaborées en vue d'améliorer leur valeur nutritionnelle en augmentant par exemple la teneur en protéines ou tout simplement pour les aromatiser. L'incorporation d'insectes dans des aliments habituels comme les pâtes, les gâteau ou les barres chocolatées pourrait être une façon de les faire accepter indirectement par le public européen.

II.2.2.7.4. Huiles d'insecte

Les larves d'insectes sont souvent riches en lipides et il est possible, pour certaines espèces, de les transformer en huile ou d'en extraire la matière grasse après les avoir moulues. L'huile ou le beurre obtenu ont une grande valeur nutritionnelle et pourront être utilisés en cosmétique en raison de la grande qualité des lipides des insectes qui ont un grand pouvoir

hydratant.

II.2.2.8. Insectes et arachnides comestibles sur le marché européen

Comme nous l'avons vu, les insectes comestibles commercialisés sur le marché européen peuvent être d'élevage local ou d'importation. Généralement, les insectes sont nettoyés, bouillis et déshydratés. Les insectes importés proviennent en majorité de Thaïlande où sont installées des entreprises européennes qui se chargent de leur préparation.

Ils sont ensuite commercialisés entiers et assaisonnés en vue d'être consommés directement, par exemple à l'apéritif, ou pour être incorporés comme ingrédients dans diverses préparations culinaires. Ils peuvent aussi être réduits en farine et utilisés comme matière première dans des aliments élaborés comme des pâtes ou des biscuits. Il existe également des boissons à base d'insectes.

Sur le marché européen, en vente sur internet ou dans les boutiques spécialisées, on retrouve principalement les vers de farine, les grillons et les criquets. Ces trois espèces représentent la majorité des ventes d'insectes en Europe. Cependant, on retrouve également une multitude d'autres insectes et de produits dérivés.

II.2.2.8.1. Insectes entiers déshydratés

On retrouve des insectes entiers et déshydratés pour être consommés tels quels à l'apéritif ou comme amuse-gueule. Ils existent aromatisés ou épicés afin de les agrémenter, ils existent aussi sucrés et aux fruits pour être consommés comme dessert. Ils peuvent également être incorporés dans des préparations culinaires.

Nous avons répertorié ici les exemples des principaux insectes comestibles entiers qu'il est possible de trouver à la vente sur le marché européen.

II.2.2.8.1.1. Ténébrion ou ver de farine (*Tenebrio molitor*)

Le ténébrion ou vers de farine est un insecte de l'ordre des coléoptères et de la famille des *Tenebrionidæ*. On le retrouve à l'état naturel dans les silos et les produits à base de farine mais aussi communément dans les nids d'oiseau sous les toits. La larve est appelée vers de farine et la forme adulte ne peut pas voler en raison de la soudure de ses élytres. Il est facilement domesticable et il existe de nombreux élevages.

La larve est utilisée dans l'alimentation animale et pour la pêche depuis longtemps et c'est également la larve qui peut être consommée chez les humains.

Ils sont réputés peu gras et contenant la proportion de protéines qu'un steak de bœuf. Lorsqu'ils sont cuisinés salés, les vers de farine ont un goût relevé rappelant celui du poulet

grillé. Et dans les préparations sucrées, ils rappellent plutôt l'amande ou la noisette voire la noix de cajou. Néanmoins, le goût des larves de ténébrions est influencé par le type de farine avec laquelle elles sont nourries.

Les larves des ténébrions peuvent être utilisés de différentes manières. En effet, elles peuvent habilement remplacer les noix, les raisins, voire les morceaux de chocolat dans certaines recettes de biscuits, de gâteaux sucrés, desserts, etc.

Dans les recettes salées, ils peuvent remplacer les lardons, le jambon, etc. dans les cakes, quiches, tartes, etc. ou ils peuvent être frits puis servis tels quels accompagnés d'une salade, de légumes, de riz, etc.

On les retrouve en vente lyophilisés salés ou sucrés, aromatisés de diverses épices pour leur version salée ou de sucreries pour leur version sucrée, destinés à être consommés comme amuse-bouche à l'apéritif ou comme friandises. Ainsi, ils peuvent remplacer avantageusement les amuse-bouches traditionnellement servis à l'apéritif ou les friandises comme les pralines. (5,64–66)



Figure 70 : **Vers de farine lyophilisés et salés prêts à la consommation.**
(171)

II.2.2.8.1.2. Crique

Les crickets appartiennent à l'ordre des orthoptères et à la famille des *Pygomorphidæ* et des *Acrididæ*. Ils sont phytophages et actifs par temps ensoleillé et souvent ils strident en produisant un « chant » caractéristique de l'espèce.

Les crickets peuvent être migrateur dans certaines régions ou avoir un comportement solitaire. Ces migrations sont très rares chez les espèces européennes.

On retrouve des élevages de crickets en Europe destiné à la consommation humaine et animale.

Le cricket comestible a un léger goût de noisette ou d'amande.

Ils peuvent être grillés, frits, rôtis, bouillis, mangés tout de suite, ou alors séchés puis

consommés. Ils peuvent également être préparés avec une pointe de beurre, sucrés, caramélisés ou en beignets.

Toutefois, on conseille de retirer les ailes et les pattes des criquets car elles sont indigestes.

Il existe un grand nombre de recettes de criquet.

Comme les vers de farines, on les retrouve en vente lyophilisés salés ou sucrés, aromatisés de diverses épices pour leur version salée ou de sucreries pour leur version sucrée. (5,67,68)



Figure 71 : **Criquets lyophilisés et salés prêts à la consommation.** (172)

II.2.2.8.1.3. Grillon

Ils appartiennent à l'ordre des orthoptères et à la famille des *Gryllidæ*. Ils émettent des stridulations caractéristiques souvent nocturnes. En Asie, particulièrement en Chine, on retrouve traditionnellement des concours de chant de grillon et les meilleurs chanteurs peuvent se vendre à prix d'or, en effet, les chinois ont pour coutume de maintenir des grillons en cage dans leurs habitations pour apprécier la beauté de leur chant. On retrouve en France des concours similaires et à Lavardens, dans le Gers, il est organisé chaque année le championnat du monde des tuteurs de grillons. (69)

Également en Asie, principalement en Chine, il existe traditionnellement des combats de grillons où des éleveurs font combattre leurs insectes.

Au-delà de ces folklores, les différentes espèces de grillons sont comestibles et sont très appréciés pour leurs qualités gustatives qui rappellent des notes subtiles de noisettes.

De plus, ils sont considérés par beaucoup d'entomophages comme les insectes comestibles les plus savoureux et ont l'aspect de petites crevettes.

Concernant leur valeur nutritionnelle, le grillon est riche en minéraux, en protéines et en calcium.

Les grillons naturels peuvent être consommés à l'apéritif, comme des petits biscuits à croquer, ou incorporés dans de nombreuses recettes de plats exotiques ou traditionnels. Comme les noisettes ou les pignons de pin, ils s'accommodent facilement, ils peuvent s'incorporer dans les pâtisseries, salades, entrées chaudes, plats en sauce, etc. Ils peuvent être incorporés dans un nombre important de plats comme des bouchées croquantes aux grillons, des brochettes de grillons, une salade, des crêpes aux grillons, des cookies, du riz cantonnais aux grillons, etc.

On retrouve des élevages de grillons en Europe destinés à la consommation humaine et animale. (5,70)



Figure 72 : Grillons lyophilisés et salés prêts à la consommation. (173)

II.2.2.8.1.4. Larves buffalo (*Zoophobas morio*)

Les larves buffalo ou vers morio est un coléoptère de la famille des *Tenebrionidæ* proche du ver de farine. Son nom scientifique est le *Zoophobas morio*. Ce sont des vers à bois et se consomme de la même manière que les vers de farine, ils sont cependant légèrement plus gros.

II.2.2.8.1.5. Cigale

Les cigales appartiennent à l'ordre des hémiptères et à la famille des *Cicadidæ*. Elles produisent un chant caractéristique qui est culturellement associé au Sud de la France. Cependant, aucune cigale européenne n'est référencée comme comestible dans l'inventaire du WUR. C'est pourquoi, les cigales comestibles commercialisée en Europe sont des cigales exotiques. (18)

D'un point de vue culinaire on peut employer les cigales à la manière des grillons et des criquets.

II.2.2.8.1.6. Fourmi tisserande (*Oecophylla smaragdina*)

Les fourmis tisserandes sont de la famille de *Formicidæ* qui appartient à l'ordre des hyménoptères.

Elles sont utilisées dans la pharmacopée chinoise depuis des siècles pour aider à améliorer le système immunitaire, réduire la fatigue et augmenter la récupération musculaire. Ces fourmis contiendraient des substances analgésiques et anti-inflammatoires. Elles sont également riches en protéines.

Leur arôme est acidulé et fait penser au citron avec une note de menthe. Elles sont utilisées sèches comme épice pour parfumer les plats. Cependant, elles peuvent également être utilisées en infusion chaude ou froide.

Les œufs de fourmis tisserandes peuvent aussi être consommés. Ils peuvent être frits avec juste un peu de sel et de poivre ou accompagnés d'une sauce à l'ail. On peut même les incorporer dans une omelette, une galette ou une soupe.

En outre, il est possible de réaliser des élevages de fourmis tisserandes mais il n'en existe pas encore en Europe. (71–73)

II.2.2.8.1.7. Punaise d'eau géante (*Lethocerus indicus*)

Les punaise d'eau géantes appartiennent à l'ordre des hémiptères et sont des insectes phares sur le marché thaïlandais où elles sont très appréciées pour son goût unique. Pour les occidentaux, elles font partie des insectes comestibles les plus ragoûtants en raison de son aspect d'énorme cafard, si bien qu'elles sont parfois surnommées « cafards d'eau » bien qu'appartenant à un ordre distinct.

Très friands de cet insecte, les Thaïlandais le réduisent en purée avant de le mélanger avec des condiments pour réaliser une pâte nommée le *nam prik mangda* qui accompagne habituellement les légumes et le riz.

Les punaises d'eau géantes frites peuvent être consommées telles quelles comme une friandise.

On retrouve aussi des espèces comestibles américaines qui étaient consommées par les Aztèques.

Elles ne peuvent pas être maintenues en élevage et elles sont chassées dans les cours d'eau la nuit à l'aide de pièges munis d'une source de lumière pour les attirer. (74)

II.2.2.8.1.8. Scarabée plongeur (*Cybister limbatus*)

Le scarabée plongeur est un coléoptère aquatique que l'on retrouve dans le monde entier. Il est très apprécié pour son goût épicé typique. De plus, ils sont très riches en oméga 3 et en protéines.

Ils peuvent être consommés et cuisinés à la manière des criquets et des grillons. (75)



Figure 73 : Scarabées plongeurs, bouillis et séchés prêt à être consommés. (75)

II.2.2.8.1.9. Tarentule zèbre (*Haplopelma albostriatum*)

Les tarentules zèbres sont particulièrement appréciées au Cambodge où elles sont un met traditionnel très réputé. Elles sont souvent consommées natures et en apéritif.

Après leur récolte, les crochets à venin sont retirés immédiatement pour éviter tout envenimation.

Elles sont simplement frites et assaisonnées et elles présentent des pattes à la texture croustillante, des abdomens moelleux et dans les autres parties une viande blanche et délicate rappelant le poisson ou le crabe.

Les tarentules comestibles peuvent se manger sans accompagnement, mais aussi, elles peuvent être trempées dans une sauce ou mélangée à du riz si on appréhende le goût. (76)

II.2.2.8.1.10. Scorpion doré de Mandchourie (*Mesobuthus martensii*)

Les scorpions comestibles sont très consommés en Chine pour leurs bienfaits médicaux. Les vertus du scorpion sont multiples et contenues dans les trois toxines qui constituent son venin et sont utilisés traditionnellement pour leur action positive sur les problèmes d'urticaire, les convulsions et les crises d'épilepsie, les affections touchant la fonction biliaire, les troubles de la vision, la circulation sanguine et par conséquent la prévention des problèmes cardio-vasculaires.

Malgré leur venin, les scorpions sont presque tous comestibles car la cuisson permet d'inactiver leur venin. Toutefois, leur dard est enlevé immédiatement après leur récolte pour éviter tout envenimation.

Le venin du scorpion de Mandchourie n'est pas mortel pour l'Homme, leur piqûre s'apparente à une piqûre de guêpe.

Le goût du scorpion est proche du pop-corn et de la noisette et il possède une texture croustillante. (77)

II.2.2.8.2. Poudre d'insecte

Il existe des poudres ou farines d'insectes dont certaines dépassent les 70 % de protéines, cependant cette teneur dépend des insectes utilisés pour la réaliser. Les poudres d'insectes ont la propriété d'être facilement digestibles et disponibles pour l'organisme. Ces farines sont destinées à être incorporées dans des préparations culinaires mais elles peuvent très bien être consommées directement. On retrouve par exemple des poudres de ténébrions, de grillons ou de scorpion, elles existent aussi en mélange.



Figure 74 : **Farine de ténébrions meuniers** (174)

II.2.2.8.3. Produits dérivés

On retrouve sur le marché européen des produits transformés à base d'insecte. Comme par exemple, des pâtes, des barres chocolatées, des confiseries et des gâteaux.

II.2.2.8.3.1. Tablettes de chocolat aux insectes

Il existe des tablettes de chocolat où des insectes entiers, en fragments ou en poudre ont été incorporés dans la préparation.

De plus, on retrouve des insectes, par exemple des scorpions, enrobés de chocolat et incorporés dans des sucettes sucrées.

II.2.2.8.3.2. Pâtes aux insectes

On trouve des pâtes où des insectes en poudre ont été ajoutés dans la préparation, elles se

révèlent être un atout nutritionnel pour les sportifs en raison de la présence importante à la fois de sucres lents et de protéines, sans oublier les micronutriments.

II.2.2.8.3.3. Biscuits aux insectes

À la manière des pâtes, des biscuits où des farines d'insectes ont été incorporées sont commercialisées, ils ont l'avantage, tout comme les pâtes, de camoufler la présence d'insectes dans la préparation, étant donné que c'est souvent l'aspect visuel qui est la principale cause du dégoût ressenti par les occidentaux.

II.2.2.8.3.4. Barres énergétiques aux insectes

Il existe des barres énergétiques aux céréales et aux fruits secs où il a été ajouté des poudres d'insectes, ce qui permet d'augmenter leur teneur en protéines. Elles sont destinées aux sportifs pendant l'effort.

II.2.2.8.3.5. Buqadilla

C'est une préparation alimentaire de type mexicain épicée à base de légumineuse et de 40 % de vers de farine. Cette collation durable, au goût agréable, à la texture moelleuse, saine et exotique, est un exemple d'aliments à base d'insecte bien accepté par les consommateurs hollandais. (9)

II.2.2.8.3.6. Steak d'insectes

Il existe depuis longtemps des steaks végétariens à base de farine de légumineuses, par exemple, à base de farine de soja, ayant l'aspect visuel du steak haché de bœuf rappelant également sa texture en bouche.

Aujourd'hui, des steaks similaires sont confectionnés avec en plus de la poudre d'insectes incorporée dans la recette. Ce qui permet d'enrichir la teneur nutritionnelle du steak, notamment en protéines et pouvant même dépasser celle d'un steak de bœuf.

Des hamburgers, avec des steaks enrichis aux insectes sont commercialisés dans certains pays d'Europe et ils sont disponibles aux rayons frais et surgelé.



Figure 75 : Hamburger contenant un steak à base d'insectes dans un supermarché hollandais. (175)

II.2.2.8.4. Boissons alcoolisées aux insectes

Il existe de la vodka aux insectes, où des insectes sont simplement mis entiers à macérer à l'intérieur de la bouteille. On retrouve de la vodka aux scorpions, chenilles, fourmis noires, termites et vers à soie.

Le mescal est une boisson mexicaine alcoolisée obtenue par la distillation de jus d'agaves fermenté, traditionnellement une chenille maguey est mis dans la bouteille, néanmoins, aujourd'hui certaines distilleries remplacent la chenille par un scorpion. Toutefois, l'insecte est incorporé uniquement dans le but de différencier le mescal de la tequila.

II.2.2.8.5. Huile d'insecte

On retrouve des huiles à base d'insecte destinées à être utilisées comme matière grasse alimentaire tout comme le beurre ou tout autre huile végétale. De plus, ces huiles peuvent être utilisées dans des formulations cosmétiques.

Par exemple, l'entreprise Entomofarm® commercialise de l'huile de ténébrions 100 % naturelle pour l'alimentation et la cosmétiques. Elle est obtenue par transformation mécanique, elle est réputée riche en oméga 6 et possédant de grandes vertus nutritionnelles. Elle peut être utilisée en cosmétique car elle possède un fort pouvoir hydratant et un profil lipidique intéressant. (78)

De plus, l'entreprise Protifarm® commercialise une huile similaire mais obtenue à partir de larves buffalo. (79)

III.

Valeurs nutritionnelles des insectes

III. Valeurs nutritionnelles des insectes

Les valeurs nutritionnelles des insectes comestibles sont très variables, en raison de la grande diversité des espèces. Ces valeurs peuvent également varier au sein d'une même espèce en fonction du stade de développement de l'insecte mais aussi en fonction de leur habitat ou encore de leur alimentation. De plus, la valeur nutritionnelle des 2 000 espèces comestibles n'a pas encore été intégralement analysée. (9,22)

Les composants principaux des insectes sont les protéines, les lipides et les fibres mais ils contiennent également des minéraux et des vitamines. Toutefois, leur teneur en glucide est généralement assez pauvre.

Une étude (80) a compilé les compositions nutritionnelles de 236 insectes comestibles, bien qu'il existe des différences significatives entre les différents insectes, ils fournissent des quantités satisfaisantes d'énergie et de protéines, couvrent les besoins humains en acides aminés, sont riches en acides gras poly et mono-insaturés, et sont riches en micronutriments tels que le cuivre, le fer, le magnésium, le manganèse, le phosphore, le sélénium et le zinc ainsi qu'en vitamines comme la riboflavine, l'acide pantothénique, la biotine et même chez certains insectes l'acide folique. (9)

Cependant, les publications sur le sujet restent encore peu nombreuses et les travaux effectués concernent, aujourd'hui, qu'un nombre limité d'espèces. Les résultats obtenus sont donc à considérer avec les précautions nécessaires.

III.1. Apports énergétiques alimentaires

L'autorité européenne de sécurité des aliments recommande une ration quotidienne de 2 000 kCal pour un adulte moyen.

L'apport énergétique des insectes comestibles dépend comme tout aliment avant tout de leur composition. Les larves et les chrysalides ont généralement un apport énergétique plus important que les adultes, en raison de leur forte teneur en matières grasses, alors que les adultes sont souvent plus riches en protéines, qui ont une valeur énergétique plus faible. (81)

Elorduy et al. ont analysé 78 espèces d'insectes de l'État Oaxaca au Mexique, et ont déterminé que les apports caloriques allaient de 293 à 762 kilocalories pour 100g de matières sèches. (9,82)

Localisation	Nom commun	Nom scientifique	Valeur énergétique (kCal/100g de poids frais)
Australie	Criquet australien, cru	<i>Chortoicetes terminifera</i>	499
Australie	Fourmi tisserande verte, crue	<i>Oecophylla smaragdina</i>	1272
Québec	Mélanople à pattes rouges, entière crue	<i>Melanoplus femurrubrum</i>	160
Illinois (É.U.)	Ver jaune de farine, cru	<i>Tenebrio molitor</i>	206
Illinois (É.U.)	Ténébrion meunier, adulte cru	<i>Tenebrio molitor</i>	138
Côte Ivoire	Termite, adulte désaillé séché farine	<i>Macrotermes subhyalinus</i>	535
Congo	Chenille mopane, crue	<i>Colophospermum mopane</i>	409
Mexique	Fourmi coupeuse de feuilles, adulte crue	<i>Atta mexicana</i>	404
Mexique	Fourmi pot de miel, adulte crue	<i>Myrmecocystus melliger</i>	116
Thaïlande	Grillon provençal, cru	<i>Gryllus bimaculatus</i>	120
Thaïlande	Nèpe géante, crue	<i>Lethocerus indicus</i>	165
Thaïlande	Criquet d'Indonésie, cru	<i>Oxya japonica</i>	149
Thaïlande	Criquet brun tacheté, cru	<i>Cyrtacanthacris tartarica</i>	89
Thaïlande	Ver à soie, chrysalide crue	<i>Bombyx mori</i>	94
Thaïlande	Charançon du palmier, larve crue	<i>Rynchophorus sp.</i>	479
Pays-Bas	Criquet migrateur, adulte cru	<i>Locusta migratoria</i>	179
Europe	Couvain d'abeille, larves œufs nymphes crus	<i>Apis mellifera</i>	499
États-Unis	Viande de porc	<i>Sus scrofa</i>	186
États-Unis	Viande de bœuf	<i>Bos Taurus</i>	108

Tableau 3: Valeurs énergétiques de certaines espèces d'insectes, de la viande de porc et de bœuf. (9,22)

On remarque en général que les insectes ont une valeur énergétique importante, comparable voire supérieure à celle de la viande des mammifères.

Ce fort apport énergétique est très avantageux pour les pays touchés par la sous-

alimentation en vue de l'éradiquer. En revanche, pour les pays occidentaux où sévit bien souvent la surnutrition, cette valeur énergétique importante est à prendre en compte car l'obésité est en augmentation. (22)

III.2. Protéines

Pour l'imaginaire collectif la source de protéines est souvent la viandes. Cependant, un nutritionniste dirait que c'est un raccourci assez simple (22). En effet, il existe d'autres sources de protéines et les insectes apparaissent comme une source de protéines d'avenir. Là encore, il existe encore peu d'études cependant les recherches menées s'accordent à dire que les insectes ont de fortes teneurs en protéines.

Bednářová a étudié la teneur en protéine de sept espèces d'insectes. Elles variaient 50,7 à 62,2 % de matière sèche sauf pour le papillon (*G. Mellonella*) qui avait une teneur plus faible de 38,4 %. (83)

Xiaoming et al. ont évalué la teneur en protéines de 100 espèces appartenant à divers ordres d'insectes. La valeur en protéines varie de 13 à 77 % de matière sèche et ils ont montré qu'il y a de grandes variations entre les ordres d'insectes, mais aussi au sein d'un même ordre. (9,84)

Bukkens a montré que les chenilles mopanes avaient une teneur en protéine plus faible lorsqu'elles étaient grillées que lorsqu'elles étaient séchées (respectivement 48 et 57 %). Il en était de même pour les termites. En effet, le mode de cuisson ou de préparation peut faire varier les valeurs nutritionnelle des insectes. (85)

Les teneurs en protéines des insectes varient fortement en fonction des espèces mais dépendent également de l'alimentation qui leur est fournie. Au Nigeria, les sauterelles qui sont nourries avec du son ont une teneur en protéine presque deux fois supérieure à celle nourries avec du maïs. Sans oublier que la teneur en protéines dépend aussi de leur stade de développement, les adultes ont en général une teneur plus élevée en protéines que celle des stades larvaires ou nymphaux. (86)

Au Mexique, les teneurs en protéines de 78 espèces étudiées varient de 15 à 81 % de la matière sèche et la digestibilité des protéines varie de 76 à 98 %. (9,82)

Groupe animal	Espèces et noms communs	Stade comestible	Teneur en protéines (g/100g de poids frais)
Insectes	Crickets et sauterelles	Larves	14-18
		Adultes	13-28
	Chapulines du Mexique	Adultes	35-40
	Vers à soie	Chenille	10-17
	Grillons	Adultes	8-25
	Termites	Adultes	13-28
	Charançons du palmier	Larves	7-36
	Vers de farine	Larves	14-15
	Cicadelles	Adultes	56
	Mouches domestiques	Larves	54
		Adultes	61
	Libellules	Larves	56
	Abeilles	Larves et nymphes	41-50
	Punaises	Adultes	44
	Fourmis tisserandes	Adultes	53
Bovins	Bœuf	Bœuf cru	19-26
Réptiles	Tortue	Chair cuite	25-27
Produits halieutiques crus	Poisson	Adultes	16-28
	Crustacés		17-27
	Mollusques		15-18
Volaille	Poulet sans peau	Adulte	21

Tableau 4: **Comparaison des teneurs moyennes en protéines des insectes et autres animaux comestibles.** (9,87,88)

Le tableau ci-dessus nous montre que la teneur en protéines des insectes est généralement élevée mais surtout très disparates. L'utilisation des insectes dans l'alimentation humaine peut donc améliorer sa qualité nutritive en ajoutant une source de protéines animales. (9)

On remarque que du point de vue des protéines, les insectes valent le bœuf, le poulet et le porc. Et ils constituent un aliment de remplacement à peu près équivalent aux viandes. (22)

Cependant, on n'oubliera pas que la digestibilité des protéines contenues dans un aliment est primordiale ainsi que leur teneur en acides aminés essentiels. (22)

III.3. Acides aminés

On a vu que certaines espèces d'insectes sont très riches en protéines et donc en acides aminés. (81,85)

Les acides aminés essentiels pour l'Homme sont le tryptophane, la lysine, la méthionine, la phénylalanine, la thréonine, la valine, la leucine et l'isoleucine. L'arginine et l'histidine sont également essentiels chez les enfants.

Les types d'acides aminés présents chez les insectes varient beaucoup en fonction des espèces, certaines ont des taux importants en phénylalanine et en tyrosine. (81)

Par exemple, plusieurs chenilles de la famille des *Saturniidæ* et les larves du charançon du palmier ont des teneurs en lysine supérieures à 100 mg pour 100g de protéines brutes mais sont pauvres en tryptophane et acides aminés aromatiques. (85)

En outre, certaines espèces de chenille sont très riches en lysine. (85)

De plus, les analyses de Xiaoming et al. sur une centaine d'espèces d'insectes ont montré que la teneur en acides aminés essentiels représentent 46-96 % de l'ensemble des acides aminés présents. (84)

Acides aminés	Criquet	Fourmis (genre <i>Atta</i>)	Ver du maguey	Ver de farine	Ver à soie	Viande de bœuf
Isoleucine	4,2	5,1	4,5	4,6	3,9	5,1
Leucine	8,5	7,5	6,1	8,6	5,8	7,8
Lysine	5,7	5,1	5	5,4	6,1	8,2
Méthionine	4,2	4	3,1	1,5	3	2,4
Phénylalanine	7,7	7,5	7	4	4,4	4,2
Thréonine	3,9	4,1	4,1	4	4,8	4,5
Tryptophane	0,6	0,6	0,8	0,6	1,4	4,5
Valine	5,6	6	5,1	6	4,9	5,3

Tableau 5: Teneurs en acides aminés essentiels de quelques insectes et de la viande de bœuf (g/100g de poids sec). (89,90)

Les insectes ont des compositions en acides aminés extrêmement variable en fonction des espèces et de leurs stades de développement. Il est donc difficile de faire des généralités. Mais ils peuvent être intéressants pour compléter des régimes alimentaires pauvres en certains acides aminés en sélectionnant les espèces qui en sont riches.

III.4. Teneurs en matières grasses

La matière grasse est le macronutriment qui à la plus forte valeur énergétique.

Les insectes comestibles contiennent en moyenne entre 10 % et 60 % de matières grasses. La teneur en matières grasses est supérieure chez les larves que chez les adultes. Et les chenilles font partie des insectes les plus riches en matières grasses. (81)

Tzompa-Sosa et al. ont évalué la teneur totale en matière grasse d'un grand nombre de chenilles et elles se trouvent entre 8,6 et 15,5 g pour 100 g de matière sèche alors que les matières grasses représentent entre 3,8 et 5,3 g pour 100 g chez les criquets. (91)

La matière grasse est présente de diverses formes chez les insectes. (91)

De plus, les insectes ont une concentration relativement importante en acide gras C18 (acides linoléiques, linoléniques et oléiques) ainsi qu'en acide palmitique. Ces concentrations vont varier en fonction des différentes espèces d'insectes mais aussi en fonction de leur alimentation. (91,92)

Le cholestérol est le plus important stérol contenu dans les insectes (81). Ekpo et al. ont montré que chez les termites et les chenilles mopane, le cholestérol représentait en moyenne 3,6 % de la fraction lipidique (93). En outre, on retrouve d'autres stérols chez les insectes comme le campesterol, le stigmasterol et le bêta-sitostérol. (94)

Les larves australiennes du *witchetty* sont l'exemple d'espèces d'insectes comestibles à forte teneur en matière grasse (38 % de matière sèche). Elles sont très riches en acide oléique qui est un acide gras oméga 9 mono-insaturé. (95)

Certains insectes comestibles sont une importante source de matière grasse. Womeni et al. ont étudié la teneur et la composition des huiles extraites de différents insectes. Leurs huiles sont riches en acides gras polyinsaturés et contiennent fréquemment les acides essentiels linoléiques et alpha-linolénique (96). La valeur nutritionnelle de ces deux acides gras essentiels est bien connue, principalement pour le développement sain des nourrissons et jeunes enfants. (9)

Les insectes pourraient pallier les carences en acide oméga 3 et 6 en particulier dans les pays en développement. (9)

Nom commun	Teneur en matières grasses (g/100g)	Dont graisses saturées (%)
Poulet	7,2	25
Porc	12,4	28
Bœuf	9,2	40
Ver de farine	12,3	24
Chenille mopane	15,2	38
Larve charançon du palmier	25,3	39
Chrysalide du ver à soie	8,26	42
Grillon	5,06	45
Couvain d'abeille	3,64	75

Tableau 6: **Comparaison de la teneur en matières grasses de viandes et d'insectes.** (97)

Espèce d'insectes comestibles	Teneur en matières grasses (en % de la matière sèche)	Composition des principaux acides gras (% de la teneur en huile)
Charançon africain du palmier	54	A. palmitoléique 38 % A. linoléique 45 %
Sauterelle comestible	67	A. palmitoléique 28 % A. linoléique 46 % A. alpha-linoléique 16 %
Criquet puant	9	A. palmitoléique 24 % A. oléique 11 % A. linoléique 21 % A. alpha-linolénique 15 % A. gamma-linolénique 15 %
Termites	49	A. palmitique 30 % A. oléique 48 % A. stéarique 9 %
Chenille de saturnidé	24	A. palmitique 8 % A. oléique 9 % A. linoléique 7 % A. alpha-linolénique 38 %

Tableau 7: **Teneurs en matières grasses et en quelques acides gras sélectionnés au hasard de plusieurs espèces d'insectes comestibles consommées au Cameroun.** (96)

III.5. Glucides

La plupart des études ont montré que les insectes sont pauvres en glucides avec un maximum de 10 % de la masse totale. (84)

La fourmis pot-de-miel fait figure d'exception avec une teneur en sucre de 77,7 % de poids sec. (82)

III.6. Micronutriments

Les micronutriments comprennent les minéraux et les vitamines et jouent un rôle important dans la valeur nutritionnelle d'un aliment. Nous avons précisé que chez les insectes, le stade de développement et la nourriture ingérée influencent fortement leurs valeurs nutritionnelles, ils est donc impossible de donner une teneur global en micronutriments chez les insectes. De plus, les teneurs en minéraux et en vitamines des insectes comestibles, décrites dans la littérature, varient fortement entre les espèces et les ordres. (9)

III.6.1. Éléments minéraux

Les éléments minéraux jouent un rôle essentiel dans les processus biologiques. L'apport journalier recommandé est généralement la référence pour quantifier l'apport journalier de minéraux dans l'alimentation. (9)

Les insectes peuvent présenter un intérêt nutritionnel concernant les minéraux comme le fer, le zinc, le potassium, le sodium, le calcium, le phosphore, le magnésium, le manganèse et le cuivre. (81)

La chenille mopane est un des insectes les plus très riche en minéraux. (22)

Éléments minéraux	Apports recommandés pour un homme âgé de 25 ans (mg/jour)	Chenille mopane (mg/100g de poids sec)
Potassium	4700	1032
Chlore	2300	-
Sodium	1500	1024
Calcium	1000	174
Phosphore	700	543
Magnésium	400	160
Zinc	11	14
Fer	8	31
Manganèse	2,3	3,95
Cuivre	0,9	0,91
Iode	0,15	-
Sélénium	0,055	-
Molybdène	0,045	-

Tableau 8: **Doses journalières recommandées de minéraux essentiels comparées aux teneurs constatées chez la chenille mopane.** (92)

Les insectes sont une excellente source de fer. La plupart des insectes comestibles ont des teneurs de cet élément équivalentes ou supérieures à celle de la viande de bœuf. (92)

Concernant le zinc, les insectes sont également une source importante de cet élément minéraux. En effet, la viande de bœuf a des teneurs en zinc de 12,5 mg pour 100g de poids sec alors que les larves du charançon du palmier en contiennent 26,5 mg pour 100g. (92)

III.6.2. Vitamines

Les vitamines sont essentielles pour stimuler les processus métaboliques et renforcer les fonctions du système immunitaire et sont présentes dans la plupart des insectes comestibles.

En effet, ils contiennent beaucoup de vitamines hydrophiles ou lipophiles

Pour les insectes étudiés la teneur en vitamine B1 est de 0,11 à 8,9 mg pour 100g. Les vers de farines ainsi que les grillons sont riches en vitamine B12 (0,47 µg/100g). Néanmoins, certaines espèces d'insecte n'ont pas de vitamine B12. (92,98)

Les teneurs en vitamines C des insectes sont comparables à celle de la viande c'est-à-dire assez pauvre. Les insectes contiennent peu de vitamines A (97)

Le rétinol et le bêta-carotène sont présents dans certaines chenilles du genre *Imbrasia*, respectivement 32-48 µg/100g et 6,8-8,2 µg/100g. Chez les vers de farine et les criquets domestiques, le taux de rétinol est inférieur à 20 µg/100 g et le taux de bêta-carotène est de moins de 100µg/100 g. Les termites contiennent des quantités significatives de vitamine A mais en général les insectes ne contiennent pas beaucoup. (92,98)

La vitamine E est présente dans les larves du charançon du palmier avec 35 mg d'alpha-tocophérol et 9 mg de bêta et gamma-tocophérol pour 100g (92,98). On la retrouve également dans les vers à soie 9,65 mg/100g. (99)

Les insectes contiennent un taux de thiamine de 0,1 à 4 mg pour 100 g de poids sec. La riboflavine de 0,11 à 8,9 mg.

La vitamine B12 est trouvée en abondance dans le ver de farine et le criquet domestique 0,47 µg et 5,4 µg

Les escamoles et les œufs de fourmis sont de bonnes sources en vitamine A, D et E.

Les insectes ne contiennent cependant pas, dans la majorité des cas, de vitamine K, de provitamine D, vitamine A, de niacine et de thiamine. (22)

III.6.3. Fibres

Les insectes contiennent des quantités significatives de fibres. La forme la plus courante de fibres chez les insectes est la chitine, une fibre insoluble présente dans leur exosquelette. La chitine présente également des propriétés immunostimulantes et antiallergiques. (9,100)

Finke a mesuré la teneur en chitine chez les insectes élevés commercialement pour l'alimentation des animaux et a trouvé des valeurs comprises entre 2,7 mg et 49,8 mg par kg de poids frais et 11,6 mg à 137,2 mg par kg de matière sèche. (100)

Bednářová et al. ont analysé la teneur en fibre de sept espèces d'insectes différentes. Le criquet migrateur africain est l'insecte qui en contenait le plus. (83)

La chitine est considérée indigeste et insoluble, cependant on peut retrouver des chitinases (enzyme pouvant dégrader la chitine) dans les sucs gastriques des humains. Une étude a montré que l'on retrouve une absence de chitinase chez 20 % des personnes étudiées. Cependant, cette enzyme est certainement inactive. (101)

Certains auteurs soutiennent que la chitine est une fibre diététique rendant intéressant d'un point de vue nutritionnel les insectes comestibles ayant une forte teneur en fibres (chitine) en particulier les espèces ayant une carapace très dure. (92,102)

Lee et al. ont montré que la chitine avait une activité antivirale et antitumorale. (103)

Nom commun	Nom latin	Stade de développement	Teneur en fibre (% du poids sec)
Ver à soie	<i>Bombyx mori</i>	Chrysalide	14
Abeilles	<i>Apis mellifera</i>	Couvain	11
Criquet migrateur	<i>Locusta migratoria</i>	Chrysalide	27
Fausse teigne de la cire	<i>Galleria mellonella</i>	Chenille	21
Grillon des steppes	<i>Grillus assimilis</i>	Chrysalide	8
Ver de farine	<i>Tenebrio molitor</i>	Larve	18
Ver buffalo	<i>Zophobas atratus</i>	Larve	17

Tableau 9: **Teneurs en fibres (cellulose, hémicellulose et lignine) dans le poids sec de certains insectes.** (83)

III.6.4. Facteurs antinutritionnels

Les facteurs antinutritionnels sont des composés qui inhibent, modifient ou limitent l'absorption des nutriments présents dans l'alimentation comme, par exemple, certaines vitamines ou minéraux.

On retrouve plusieurs facteurs antinutritionnels chez les insectes. L'acide phytique qui diminue la biodisponibilité en complexant le phosphore en phytates. Les oxalates qui absorbés en grandes quantités provoquent des irritations du tractus digestif, des troubles de la circulation sanguine et des dommages rénaux. L'acide cyanhydrique hautement toxique car provoquent l'anoxie. Les tannins toxiques à fortes doses en faisant précipiter les protéines. La thiaminase qui provoque une déficience en vitamine B1. La chitine peut se lier aux lipides et former un gel limitant l'absorption des minéraux et des vitamines. (52)

IV.

Avantages de la consommation des insectes

IV. Avantage de la consommation des insectes

Les insectes peuvent être considérés comme des aliments du régime alimentaire normal des Hommes au même titre, par exemple, que les fruits de mer ou les crustacés, dont ils se rapprochent, bien qu'ils aient des valeurs nutritionnelles différentes.

En outre, l'entomophagie peut être promue en raison de trois avantages : la santé, l'environnement et comme moyen de subsistance pour les populations les plus pauvres.

De plus, on constate qu'en outre la barrière psychologique et les préjugés culturels, les insectes ne présentent pas d'inconvénients à être consommés, on pourrait même se risquer à dire qu'ils présentent uniquement des avantages.

IV.1. Santé

D'un point de vue nutritionnel, le préjugé commun contre la consommation des insectes se révèle infondé.

Les insectes sont des alternatives alimentaires saines pouvant s'intégrer aux aliments de base tels que la volaille, le porc, les bovins et même les poissons.

En effet, les insectes sont une ressource alimentaire saine et nourrissante, riche en matière grasse, protéines, vitamines, fibres et minéraux. Par exemple, les teneurs en oméga-3 insaturés et en acides gras du ver de farine sont comparables à celle du poisson et les teneurs en protéines, vitamines et sels minéraux du ver de farine sont comparables à celle du poisson et de la viande. (9)

Les insectes du fait de leur valeur nutritionnelle et de leur abondance demeurent une source hautement significative de nourriture pour les populations humaines.

Les risques de transmission de zoonoses provenant des insectes aux êtres humains sont presque nuls, d'autant plus dans les élevages contrôlés. Le risque principal reste les allergies alimentaires mais ce risque reste relativement faible étant donné la faible prévalence de ce type d'allergie chez l'Homme.

Malgré un manque d'études et de recul dans le monde occidental sur l'entomophagie, la consommation traditionnelle et ancestrale d'insectes chez certaines populations confirme le caractère sain et sûr de cette alimentation, ces peuples consomment régulièrement des insectes et n'ont pas d'effets secondaires dangereux ou de prévalences anormales de maladie corrélées à cette pratique.

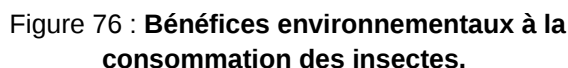
L'ajout des insectes dans le cadre d'un régime alimentaire varié permet de diversifier l'alimentation et contribue à une alimentation saine et équilibrée.

Chez les sportifs, les insectes, en raison de leur forte teneur en protéines, peuvent contribuer à une alimentation hyperprotéinée souvent recherchée dans le but d'améliorer les performances sportives. C'est une alternative saine et naturelle aux compléments alimentaires protéinés souvent consommés par les sportifs. Les poudres d'insectes riches en

IV.2. Environnement

Pour nourrir une population mondiale croissante et des consommateurs de plus en plus exigeants, l'humanité devra nécessairement accroître sa production alimentaire mais surtout sa production en protéines animales. Ceci va inévitablement augmenter la pression, déjà forte, sur les ressources naturelles déjà limitée de la planète comme les terres, les océans, les fertilisants, l'eau et l'énergie. Si la production agricole reste sous sa forme actuelle, les émissions de gaz à effet de serre, ainsi que les déforestations et la dégradation de l'environnement va continuer de manière exponentielle. Ces problèmes environnementaux, particulièrement ceux liés à l'élevage du bétail, deviennent de plus en plus critiques et sont responsables du dérèglement climatique actuel. (9)

Face à ces problématiques environnementales les insectes présentes de nombreux avantages.



IV.2.1. Émissions de gaz à effets de serre et production d'ammoniaque

Les insectes produits pour l'alimentation émettent considérablement moins de gaz à effet de serre que la plupart du bétail.

En effet, l'élevage du bétail est responsable de 18 % des gaz à effet de serre, une part plus grande que celle des transports (105). La première source d'émission de gaz à effet de serre dans l'agriculture provient de la fermentation entérique, c'est-à-dire, du méthane provenant des rots et des flatulences issus de la digestion des ruminants (106). La seconde source d'émissions de GES provient des engrais et la troisième sont les rizières. De plus, les déchets de l'élevage (urine et fumier) contribuent également à la pollution de l'environnement étant responsable de l'acidification et la nitrification des sols. (9,22)

Parmi les insectes, seuls les cafards, les termites et les scarabées produisent du méthane qui provient de la fermentation des bactéries dans leur intestin postérieur (107). Cependant, les insectes estimés valables pour la consommation humaine dans le monde occidental comprennent les espèces telles que le ver de farine, les grillons et les criquets qui comparés aux porcs et aux bœufs émettent 100 fois moins de GES (108). Donc, les élevages d'insectes émettent relativement peu de gaz à effet de serre mais aussi peu d'ammoniaque.

En effet, les émissions d'ammoniac liées à l'élevage des insectes sont bien moins importantes que celles provoquées par l'élevage conventionnel, notamment celui des porcs. Le stockage et l'épandage du fumier et du lisier contribuent à l'émission de grandes quantités d'ammoniaque qui a des effets acidifiants sur les écosystèmes.

En outre, les insectes peuvent être nourris avec des déjections organiques et déchets réduisant ainsi la contamination de l'environnement tout en valorisant les déchets. En effet, certaines espèces telles que la mouche du soldat noire (*Hermitia illucens*), la mouche domestique, le ver de farine sont très efficace dans la conversion de déchets organiques car elles pourraient convertir 1,3 milliard de tonnes de déchets organiques par an (109). Cependant, ceci n'est pas encore autorisé, en raison de risques inconnus de contaminants et de pathogènes potentiels mais le potentiel écologique est important. (9)

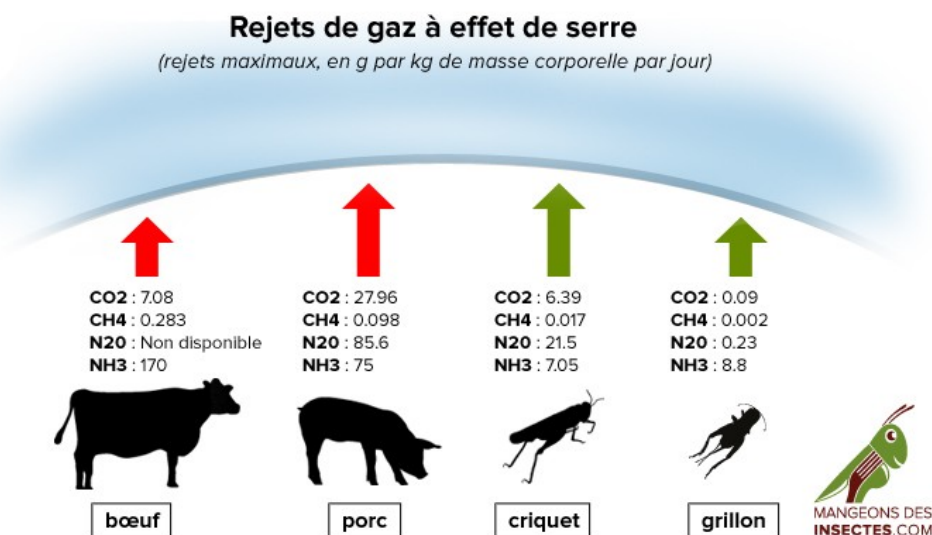


Figure 77 : Rejets de gaz à effet de serre par animaux et par jour. (158)

IV.2.2. Besoin en terres arables

Selon la FAO, l'élevage du bétail mobilise 70 % des terres agricoles. Avec une demande globale pour les produits de l'élevage qui devrait plus que doubler d'ici 2050, répondre à cette demande va demander des solutions innovantes.

Aujourd'hui, les structures d'élevage à grande échelle du bétail et des poissons sont économiquement viables, au moins à court terme, en raison de leur forte productivité. Cependant, ces élevages entraînent des coûts environnementaux énormes qui perturbent les équilibres biologiques et soulèvent la question du bien-être animal. En outre, tout accroissement de la production d'animaux de boucherie demandera plus d'aliments et de terres cultivable pour les produire et provoquera nécessairement une déforestation supplémentaire. L'Amazonie est un bon exemple pour illustrer ces propos. En effet, maintenant 70 % de la surface de l'ancienne forêt est occupée par des pâturages et des cultures fourragères.

L'élevage des insectes n'est pas nécessairement lié à la terre et l'augmentation de la production ne requiert pas de défrichement de nouvelles terres. En effet, leur petite taille et leur croissance très rapides permet de produire des quantités significatives de protéines sur de très petites surfaces et même dans des élevages hors-sols. De plus, leur forte conversion alimentaire permet de réduire les surfaces fourragères. (9,22)

IV.2.3. Conversion alimentaire

En raison de leur sang froid, les insectes convertissent très efficacement leurs aliments en protéines, et nécessitent beaucoup moins d'aliment pour leur croissance.

Nous avons vu que parallèlement à la demande en viande, les besoins en aliments pour animaux, céréales et protéines augmentent. Ces besoins en aliments augmentent de manière exponentielle car il faut beaucoup plus de protéines végétales pour produire une quantité équivalente en protéines animales. Pimentel a calculé que pour produire 1 kg de protéines animales de haute qualité, le bétail doit être nourri en moyenne avec 6 kg de protéines végétales. Les taux de conversion varient fortement en fonction de la classe de l'animal et des techniques de production utilisées. Les insectes quant à eux ont besoin de beaucoup moins d'aliments. En effet, il faudra 3 kg de protéines végétales pour 1 kg de viande de poulet, 5 kg pour 1 kg de viande de porc et 10 kg pour 1 kg de viande de bovin (110). Par exemple, 1 kg de grillons vivant ne demande guère plus de 1,7 kg d'aliments (111), ces chiffres sont calculés pour le poids comestible, ce qui avantage d'autant plus les insectes car on considère qu'ils sont à 80 % comestibles et digestes pour le grillon, à comparer avec les 55 % du poulet et du porc et les 40 % pour le bétail. En effet, presque l'intégralité du corps d'un insecte peut être consommé, parfois à l'exception des pattes et des ailes, alors que le bétail et la volaille comporte des parties non comestibles comme par exemple les os, les cornes, les sabots, les plumes, etc. (9)

Les insectes ont donc une capacité très élevée de conversion des aliments.

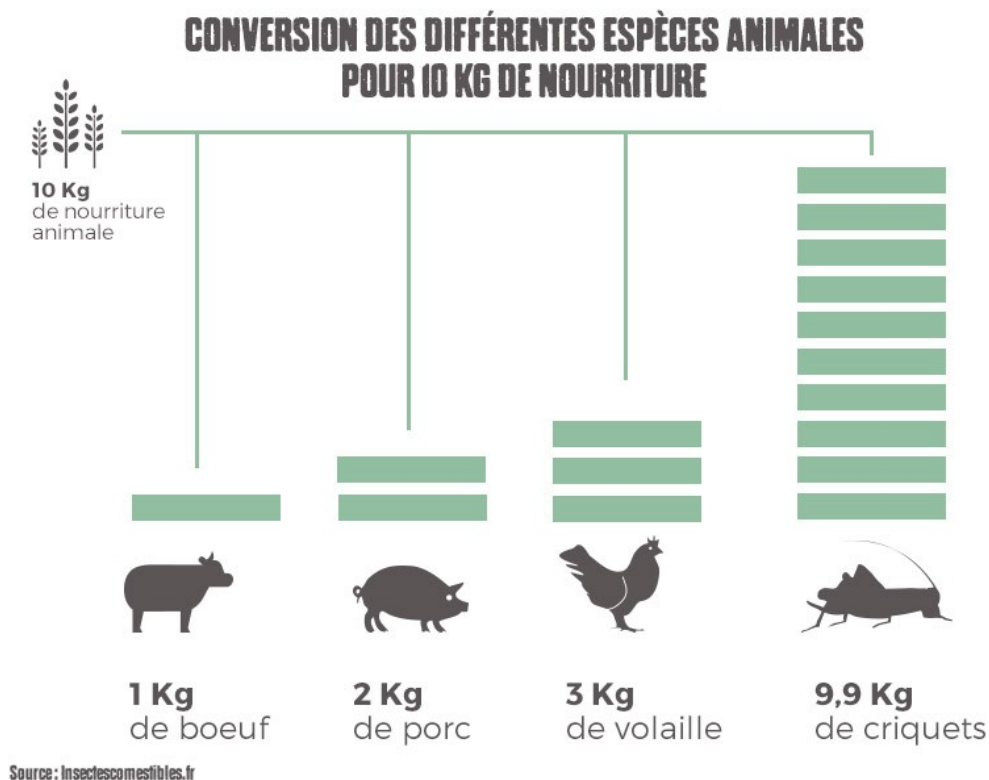


Figure 78 : **Conversion de 10 kg d'aliments végétaux en poids de l'animal.** (176)

IV.2.4. Besoins en eau

On estime que sur la totalité de l'eau présente sur la Terre, seulement 2,8 % est de l'eau douce et que seule 0,7 % est considérée comme disponible pour les besoins l'humanité. Étant donné que la grande majorité de l'eau douce est contenue dans les glaciers la rendant indisponible.

Un nombre croissant d'indices suggère que le manque d'eau, limite déjà la production agricole dans certaines régions du monde. On estime qu'en 2025, les deux tiers de la population mondiale fera face à des difficultés d'approvisionnement en eau. L'eau va devenir de plus en plus rare et chère en raison de l'accroissement de la population mondiale et du réchauffement climatique.

Une grande partie de l'eau potable est déjà utilisée pour les cultures et l'élevage diminuant d'autant plus la quantité disponible pour les Hommes.

Face à ces pénuries, les élevages d'insectes s'avèrent être une solution prometteuse car ils demandent significativement moins d'eau que le bétail. Par comparaison, pour produire 1 kg de viande de bœuf, il faut 15 000 litres d'eau alors que pour 1 kg de criquets comestibles il faut moins d'1 litre.

Leur élevage permet donc d'économiser des quantités importantes d'eau tout en produisant un grand nombre de protéines animales.

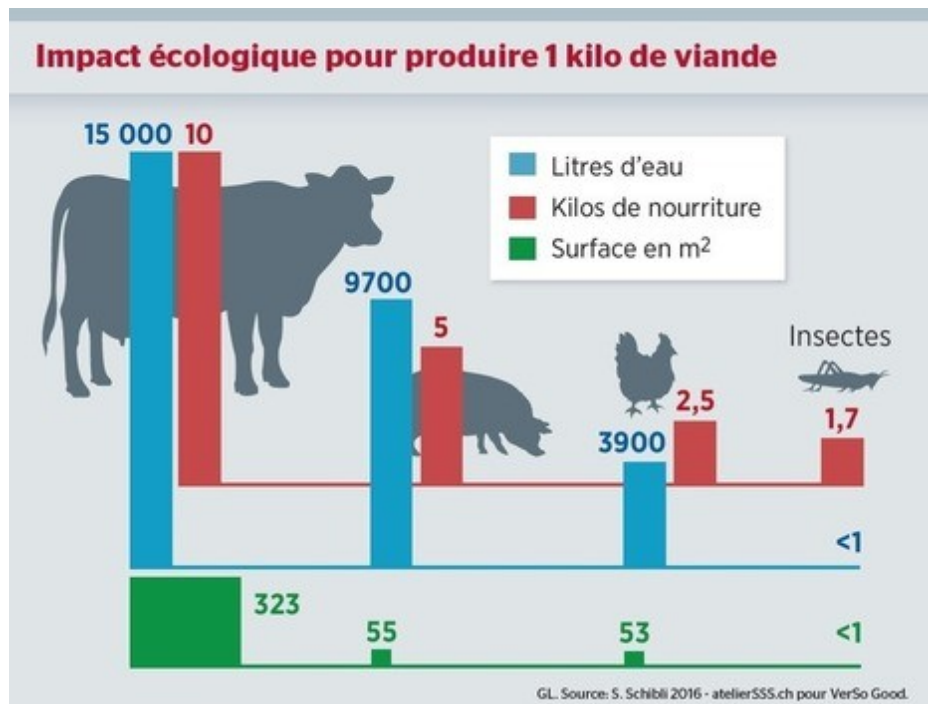


Figure 79 : Impact écologique pour produire un kilo de viande. (177)

IV.2.5. Question du bien-être animal

Concernant les insectes, il y a peu de questions relatives au bien-être animal car la douleur ressentie par les insectes est inconnue. Contrairement, aux plus gros animaux d'élevage qui sont aujourd'hui reconnus comme des êtres sensibles et dotés d'une conscience. La question de la souffrance physique et morale des animaux de boucherie est une préoccupation d'actualité. Les insectes, plus primitifs, ne semble pas ressentir de souffrances comparables.

Comme de nombreux mammifères en élevage intensif, les insectes sont élevés classiquement dans de petits espaces confinés.

Nous ne connaissons pas, aujourd'hui, jusqu'à quel point la douleur et l'inconfort sont ressentis par les insectes, bien que des travaux de recherche sur ce sujet aient été entrepris sur la mouche du vinaigre, insecte utilisé comme organisme modèle pour étudier la nociception et il a été montré que les gènes de la nociception chez les insectes étaient identiques à ceux des mammifères suggérant qu'elle existe au moins chez certains insectes. (112)

De même, nous ignorons encore si les insectes agissent par simple réflexe ou s'ils mobilisent des circuits neuronaux plus élevés. On retiendra que, jusqu'à ce que les preuves irréfutables que les insectes ressentent la douleur soient rassemblées, il a été suggéré que, par précaution, les insectes bénéficient du doute sur ce point. Ainsi, des méthodes de mise à mort des insectes limitant leur souffrance comprenant la congélation ou des méthodes instantanées comme le déchiquetage doivent être utilisées. (113)

IV.2.6. Risque de zoonose

Nous savons depuis longtemps, que l'élevage intensif avec de fortes concentrations d'animaux est le point de départ de nombreux problèmes sanitaires et, nous le savons aussi, il est le déclencheur de l'apparition de résistances antimicrobiennes par l'usage intensif d'antibiotiques. Les maladies sont responsables de pertes à grande échelle d'animaux soit par mortalité élevées, soit du fait des politiques d'abattage. Certaines de ces maladies sont des zoonoses comme la grippe aviaire hautement pathogène, la fièvre aphteuse, l'encéphalopathie spongiforme bovine et la fièvre Q. (9)

Par contre, les élevages d'insectes présentent un faible risque de transmission d'infections zoonotiques. Du fait que les insectes soient phylogénétiquement beaucoup plus éloignés des humains que le bétail conventionnel, on estime que le risque de zoonose est minimal.

Néanmoins, il a été montré que les insectes sont des vecteurs potentiels de pathogènes médicalement importants, dont les œufs d'helminthes gastro-intestinaux qu'ils peuvent contracter en se nourrissant de fèces humaines. Ce risque est normalement limité dans le cadre des élevages.

Le risque d'infections zoonotiques pourrait augmenter avec la mauvaise gestion des déchets, le manque d'hygiène dans la manipulation des insectes, et les contacts directs entre les insectes d'élevage et les insectes sauvages. Toutefois, des recherches plus approfondies sont encore nécessaires dans ce domaine.

IV.3. Moyen de subsistance pour le tiers monde

La récolte et l'élevage des insectes demandent peu d'investissements techniques et financiers et sont accessibles même aux plus pauvres éléments de la société des pays du tiers monde, tels que les femmes et les populations sans terre.

Les populations les plus précaires, vivant souvent en zone rurale, ont accès à cette ressource alimentaire naturelle. Les insectes peuvent être directement et facilement récoltés dans la nature et fournissent une source de revenus aisément accessibles particulièrement en zones forestières et permettent une amélioration des moyens de subsistance.

Le mini-élevage offre des opportunités de revenus aussi bien pour les ruraux que pour les citadins. L'élevage des insectes peut être aussi bien de faible technicité que très sophistiqué, en fonction de l'investissement consenti.

Les insectes sont une source majeure de protéines animales et leur faible coût d'élevage les rend accessibles aux personnes les plus démunies.

Bien que, la majorité des insectes soient consommés car ils sont appréciés, ils fournissent aussi de précieuses réserves de nourriture lors des pénuries alimentaires saisonnières. Ils sont en plus une source de revenus supplémentaires pour les dépenses de première nécessité comme la nourriture, les fournitures scolaires et agricoles.

Les insectes fournissent donc d'importantes opportunités de subsistance pour de

nombreuses populations dans les pays en développement.

Selon la FAO, les insectes pourraient permettre de réduire les asymétries et les inégalités sociales, économiques et régionales qui prévalent encore dans de nombreuses régions du monde. Cela permettrait aux populations les plus démunies de sortir de l'extrême pauvreté et de leur assurer une sécurité alimentaire.

Les mini-élevages familiaux d'insectes ont l'avantage de pouvoir être réalisés avec des investissements presque nuls et ne nécessitent pas de connaissances approfondies. En effet ils sont très faciles à mettre en place et à entretenir et fournissent des quantités importantes de protéines animales en peu de temps, grâce au caractère prolifique des insectes, et consomment peu de protéines végétales et d'eau. Certains insectes peuvent être nourris avec des déchets de cuisine ou des plantes sauvages. Ce qui leur permet de ne pas entrer directement en compétition avec l'alimentation humaine. De plus, leur faible consommation en eau permet leur élevage dans les régions les plus arides, où l'eau est peu abondante voire très rare, en économisant l'eau qui pourra être consommé ou utilisé pour d'autres usages comme les cultures agricoles.

Les élevages d'insectes nécessitent aussi peu de terres voire pas du tout. Ces élevages sont encore une fois accessibles à des populations non propriétaires.

La rentabilité des insectes est, de surcroît, très bonne et les surplus de production peuvent être vendus sur le marché local.

Des telles mesures ont été mises en place au Laos par la FAO, qui conclue que grâce aux mini-élevages familiaux le pays a atteint une sécurité alimentaire sans précédent et a éradiqué la famine tout en assurant un revenu supplémentaire pour améliorer les moyens de subsistance des populations.

V.

Sécurité alimentaire et conseils du pharmacien d'officine

v. Sécurité alimentaire et conseils du pharmacien d'officine

V.1. Consommation des insectes et sécurité alimentaire

Du fait de la nature biologique des insectes comestibles et qu'ils soient destinés à la consommation humaine, plusieurs aspects doivent être pris en compte, comme l'innocuité microbienne, la toxicité, la saveur et la présence de composant inorganiques, comme pour tout aliment humain. (9)

Les insectes comme tous les aliments nécessitent des précautions de conservation. Comme beaucoup de produits carnés, ils sont riches en nutriments et ont un fort taux d'humidité, ce qui constitue un milieu favorable pour les micro-organismes et leur prolifération. (9)

Les méthodes traditionnelles de préparation, telles que la cuisson est souvent utilisée pour améliorer le goût et l'appétence des insectes comestibles, et ont l'avantage additionnel d'améliorer la sécurité de l'aliment. (9)

Bien qu'il ait été établi qu'aucun problème significatif de santé ne soit apparu suite à la consommation d'insectes comestibles, la confiance des consommateurs est fortement corrélée à la sécurité perçue d'un produit donné. (9)

L'application de pesticides sur des insectes destinés à la consommation alimentaire soulève les mêmes questions que pour tout autre aliment concernant la santé. En raison de l'usage intensif de pesticides dans l'agriculture, les insectes prélevés dans les champs sont susceptibles de contenir plus de pesticides et de métaux lourds que ceux ramassés dans les forêts denses. (9)

Enfin, les allergies induites par l'ingestion d'insectes sont rares, mais elles existent. Quelques cas de réactions allergiques aux insectes ont été signalés dont quelques unes avec le pronostic vital engagé. (9)

V.1.1. Sécurité microbiologique

Comme tous être vivants, les insectes abritent de nombreux micro-organismes sur leur peau, leurs intestins, leurs voies respiratoires, etc... et ne sont pas à l'abri de contracter des pathologies dues à des bactéries, des virus et des champignons. Mais, les très grandes différences génétiques et physiologiques entre les humains et les insectes font que les maladies de ces arthropodes ne sont pas transmissibles aux Hommes. Par exemple, le bacille de Thuringe est un pathogène chez les insectes mais est inoffensif chez les humains. (9,22,52)

En revanche, des bactéries pouvant causer des maladies chez l'Homme ou produire des toxines peuvent proliférer dans les élevages ou sur les insectes si les mesures d'hygiène sont insuffisantes. (22,52)

Les insectes récoltés dans la nature ont montré la présence rare, mais possible, de bactéries pathogènes comme la présence de salmonelles, de staphylocoques ou d'*Escherischia coli*. Cependant, les élevages de vers de farine ou de grillons n'ont pas révélés la présence de germes pathogènes. (22,52)

Certains prions pourraient être transmis à l'Homme via les insectes mais ce n'est qu'une suspicion. Cette suspicion vient des essais en laboratoire qui ont montré qu'il était possible de transmettre à des hamsters la tremblante des petits ruminants en leur faisant consommer des asticots nourris avec de la viande de ruminant contaminée par ces prions. (22,52)

Jusqu'à présent aucun virus d'insecte n'a contaminé l'être humain suite à leur consommation ou leur manipulation. (22,52)

La contamination microbienne peut apparaître lors de la transformation ou de la conservation des insectes. De la même manière que tous les aliments destinés à l'alimentation humaine. (9,22,52)

Les processus de transformation et la consommation des insectes et des produits qui en sont dérivés doivent suivre les mêmes règles de santé, d'hygiène et d'assainissement que celles appliquées pour tout autre produit de consommation humaine ou animale, de façon à assurer la sécurité des aliments. (9,22,52)

De plus, des effets sanitaires particuliers doivent être pris en compte lorsque les insectes sont élevés sur des déchets tels que le fumier ou les déchets d'abattoir. (9)

V.1.2. Toxicité

Sur le million d'espèces d'insectes connues, seules environ 2 000 sont reconnues comestibles en raison notamment des substances potentiellement toxiques qu'elles peuvent sécréter. (22)

En effet, certaines espèces d'insectes synthétisent des substances toxiques de défense ou répulsives d'origine endocrine comme l'acide formique sécrété par les fourmis ou les quinones émises sous forme de jets par les coléoptères bombardiers. De plus, certaines larves noircissent par un processus de mélanisation et deviennent impropres à la consommation du fait de l'apparition de produits toxiques. (52)

On distingue deux types d'insectes toxiques les insectes phanérottoxiques et les insectes cryptotoxiques. Les premiers présentent des dispositifs venimeux externes comme un dard, des pièces buccales ou des soies. Les seconds synthétisent ou stockent des éléments chimiques toxiques et la toxicité n'apparaîtra que si l'insecte est consommé. Effectivement certains insectes phytophages peuvent accumuler les toxines des plantes qu'ils consomment et ainsi obtenir les mêmes propriétés toxiques que leur plante hôte. (52)

Les larves de *Trogoderma sp.*, de l'ordre des coléoptères, peuvent provoquer des traumatismes par envenimation liée à leurs soies. Et un cas de colite ulcéreuse a été signalé chez un enfant de 4 mois nourri de céréales infestée par ces larves. (114)

Aussi, il existe certaines espèces considérées comme toxiques qui sont consommées après que des mesures de précaution aient été prises. Certains insectes doivent être préparés

d'une manière particulière afin de les rendre comestibles, c'est le cas du *Zonocerus variegatus* du Cameroun et du Nigeria dont on doit renouveler l'eau de cuisson à la manière de certains champignons pour les débarrasser de leur toxicité (115). De plus, la punaise puante d'Afrique du Sud peut être consommée après avoir été débarrassée du liquide caustique qu'elle contient par pression du thorax (116,117).

En outre, en Italie dans la région de Carnia, les enfants ont l'habitude de manger le jabot sucré d'une espèce de papillon vivement coloré. Ces papillons contiennent des glucosides cyanogénique qui libèrent du cyanure d'hydrogène lors de leur dégradation. Cependant cette substance toxique est présente en très faible quantité. Il n'y a pas de cas d'intoxication référencé. (9,118)

De plus, certaines caractéristiques d'insectes comestibles peuvent parfois être dangereuse. Par exemple, la consommation de chenilles dont les poils contiennent des substances toxiques, peut être très dangereuse. Par conséquent les poils doivent simplement être enlevés par brûlage. (9,119)

Certains insectes prélevés dans la nature doivent être mis à jeûner quelques jours, à la manière des escargots, afin de débarrasser leurs intestins des résidus de plantes potentiellement toxiques pour les Hommes. (22,52)

Il y a peu de mentions, cependant, d'effets indésirables dus à la consommation d'insectes. (9)

V.1.3. Indigestibilité

Certaines substances contenues dans les insectes ne sont pas toxiques à proprement parler, mais en diminuent la digestibilité.

Il a été observé en République démocratique du Congo qu'une consommation pléthorique de sauterelles et de criquets provoquait des constipations en raison de la présence d'épines sur leur pattes qui s'accrochent à l'intestin et peuvent aussi causer des irritations et des petites blessures sur les parois du tube digestif. La cuticule de certains hannetons tropicaux n'est pas digeste et une grande consommation peut entraîner des occlusions intestinales. C'est pourquoi sur le conditionnement de certains insectes il est recommandé de retirer les pattes et les ailes, mention qui a été de plus, rendue obligatoire par les autorités sanitaires belge le cas échéant bien qu'une faible consommation ne présente que peu de risques. (9,22,120)

En outre, dans l'est de Java en Indonésie, des patients qui avaient ingéré des grandes quantités de hannetons grillés dont les restes chitineux indigestes s'étaient accumulés en diverses parties de l'intestin et avaient provoqué des occlusions totales, ont dû être opérés chirurgicalement. (9,121)

L'ANSES a édité une liste de ces molécules indigestes dont la présence a été prouvées chez les insectes. Les insectes sur le marché devront être exempts de ces substances ou présentes en dessous de seuils très faibles. (22,52)

V.1.4. Contamination inorganique

Des métaux lourds et des molécules toxiques comme des pesticides toxiques pour l'environnement et l'être humain ont été retrouvés dans les cellules des différentes parties du corps des insectes où ils sont bio-accumulés par ingestion avec leur nourriture, par exemple il a été démontré que les pesticides sont facilement bio-accumulés par les criquets. (9,41)

Une étude sur les larves du ver de farine a montré que ces insectes accumulent le cadmium et le plomb dans leur corps lorsqu'ils se nourrissent de matières organiques dans des sols contenant ces métaux (122). Cependant, une autre étude a montré qu'après chaque mue les larves perdent un peu de cadmium et même une grande quantité de métal est perdue lors de la métamorphose (123).

L'absorption de pesticide par les insectes comestibles tels que les criquets et les sauterelles, peut créer des problèmes s'ils sont consommés en grandes quantités. Ces risques constituent une préoccupation majeure dans le cas de consommation d'insectes récoltés traditionnellement dans la nature, où le contrôle de traitements chimiques est difficile. (9)

En effet, dans son avis l'ANSES cite quelques études qui ont montré une présence de taux élevés de plomb dans des grillons grillés vendus au Mexique et d'arsenic dans des chenilles consommées en Australie. Ces métaux lourds proviennent de l'alimentation de ces insectes. (22,52)

L'élevage des insectes présente encore un autre bénéfice potentiel, car les risques chimiques peuvent être mieux contrôlés. C'est pourquoi l'ANSES recommande que les insectes réservés à l'alimentation humaine et animale proviennent d'élevages où la qualité et l'innocuité de la nourriture soit contrôlée. Toutefois, il faut donc contrôler strictement la teneur en pesticide de la nourriture proposée aux insectes car leur accumulation est susceptible de présenter des risques pour l'alimentation humaine et animale dans la mesure où ces molécules ne sont généralement pas éliminées par les traitements thermiques. (9,22,52)

Comme dans tous les autres élevages conventionnels d'animaux, l'usage de médicaments vétérinaires sera inéluctable pour réduire la mortalité associée aux infections bactériennes ou parasitaires. La présence de résidus de médicaments dans les tissus d'insectes est envisageable. En effet, une étude sur la maladie du ver à soie traitée par le chloramphénicol montre que cet antibiotique n'est pas inactivé dans le tube digestif du ver à soie, antibiotique déjà interdit dans la production animale. Des contrôles devront être mis en place. (52,124)

V.1.5. Allergies

Comme la plupart des aliments protéiques les insectes et les arachnides comestibles peuvent induire des allergies alimentaires chez les personnes sensibles. Ces allergènes peuvent provoquer eczéma, dermatite, rhinite, conjonctivite, congestion, angio-œdème et asthme bronchique, pouvant aller jusqu'au choc anaphylactique. Il existe des allergies spécifiques à une espèce d'insecte mais aussi des allergies croisées entre les différentes espèces pouvant s'étendre jusqu'à l'ensemble des insectes. (9,52,125)

En effet, il existe un certain nombre de preuves documentées d'allergies induites par

l'ingestion d'insectes et des cas de chocs anaphylactiques sont recensés. Les insectes incriminés étaient le ver de farine, le criquet, la sauterelle, le ver buffalo, le ver à soie, le ver de palmier et la chenille mopane. Des cas d'anaphylaxie alimentaire survenant après l'ingestion accidentelle d'acariens contaminant les farines de céréales sont recensés et sont nommés *pancake syndrome*. (9,22,52,125)

En outre, un touriste français en Chine, qui avait des antécédents de rhinites allergiques, a été victime d'un choc anaphylactique après avoir consommé de pupes de ver à soie pour la première fois, et on estime qu'en Chine, chaque année, plus d'un millier de réactions anaphylactiques sont enregistrés après la consommation de pupes rôties, toutefois l'allergène n'a pas été identifié.(125)

En 2012, un touriste chinois en Malaisie a été victime d'une allergie alimentaire sévère après l'ingestion d'une vingtaine de vers de palmier rôties. (52)

Aux États-Unis, il a été rapporté deux cas de choc anaphylactique d'immigrants népalais qui avait consommé des pupes de ver à soie, il n'avait pas d'antécédent allergique et ils ont consommé des pupes pour la première fois. (125)

Des personnes ont été victime d'urticaire cutanés après la consommation de vers de farine et de pupes de ver à soie. (125)

Les personnes allergiques aux crustacés ou aux fruits de mer sont susceptibles d'être allergique aux insectes. Effectivement, il existe des allergènes communs aux arthropodes, insectes, arachnides et crustacés. De même, les allergènes des mollusques et des helminthes sont très proches, il existe donc des réactions allergiques croisées. Cependant, il existe des allergies spécifiques où certaines personnes seront allergiques soit aux crustacés, soit aux insectes. (9,52)

Néanmoins, l'ANSES recommande aux personnes qui ont une allergie préexistante aux acariens, aux fruits de mer ou aux crustacés de s'abstenir de consommer des insectes en raison du risque de réactions allergiques croisées. (22,52)

On estime qu'environ 1 à 2 % de la population est allergique aux insectes ou aux crustacés.

De nombreuses études suggèrent que la chitine, constituant de la cuticule des insectes, est un allergène, néanmoins les allergènes présents dans les insectes comestibles sont mal connus et ont fait l'objet de très peu d'études. Cependant, des allergènes retrouvés chez les arthropodes et responsables d'allergies croisées ont été étudiés et sont la tropomyosine, la tubuline, l'actine, le fructose-bisphosphate aldolase, la myosine chaîne légère et la troponine-T. (125)

La chitine se rencontre aussi communément dans les organismes inférieurs tels que les champignons, les crustacés et les insectes, mais elle est absente chez les mammifères. (9,125)

V.2. Conseils du pharmacien d'officine

Face à un nouvel engouement pour l'entomophagie, le pharmacien d'officine doit informer les patients concernant les risques potentiels que présentent ce régime alimentaire mais

aussi ses avantages.

Nous avons vu que les insectes comestibles présentent de nombreux avantages pour la santé en raison de leurs valeurs nutritionnelles à savoir un taux important de fibres, de protéines et de micronutriments avec peu de glucides et de lipides insaturés. Ils peuvent apporter une nouvelle source de protéines animales dans l'alimentation et diversifier d'autant plus le régime alimentaire. Et pour les sportifs, le fort taux énergétique et de protéines peut être intéressant lors leurs performances. De plus, la production des insectes à un faible coût environnemental en comparaison à la production de viande conventionnelle.

Les personnes désireuses de consommer des insectes, par curiosité ou pour leurs valeurs nutritionnelles, devront cependant suivre certaines précautions. En effet, l'ANSES recommande la prudence envers l'entomophagie en raison du peu de données scientifiques concernant cette pratique.

En tout premier lieu, les personnes qui ont une allergie préalable aux crustacés ou aux fruits de mer devront s'abstenir de consommer des insectes en raison du risque d'allergies croisées. En effet, les arthropodes possèdent des allergènes en commun mais aussi des allergènes proches de ceux des mollusques. La littérature scientifique a rapporté ainsi plusieurs « case report » témoignant et établissant ce lien direct en ce qui concerne le risque allergique. En cas d'allergie, le risque de choc anaphylactique n'est pas négligeable et l'on retrouve dans plusieurs articles des cas de personnes hospitalisées après avoir consommé des insectes comestibles.

Il est aussi conseillé de s'abstenir de consommer des insectes sauvages collectés dans des milieux naturels en raison du risque de contamination biologique ou inorganique qui ne peut être mesuré. De ce fait, il est préférable de s'en tenir à des insectes provenant d'élevages présentant une garantie de traçabilité et pouvant bénéficier d'une démarche HACCP complète (méthode et principes de gestion de la sécurité sanitaire des aliments), c'est le cas des élevages européens où les normes d'hygiène sont les plus strictes. Par ailleurs, il est déconseillé de récolter des insectes dans la nature soi-même pour les mêmes raisons et aussi en raison du risque de confusions possible.

Comme pour tous les autres aliments, il est indispensable de consommer des insectes sains et dont la préparation et la conservation a été optimale. Il convient donc de s'abstenir de consommer des insectes comestibles qui seraient avariés. Les insectes qui présenteraient des marques de mauvaise conservation, comme des marques de putréfaction ou des mauvaises odeurs, ne doivent pas être consommés. Donc, comme pour tout produit alimentaire, il est donc indispensable de s'assurer de la qualité du produit.

En outre, il est préférable de ne pas consommer les insectes crus, puisque la cuisson représente une sécurité supplémentaire en l'absence de garanties sur la sécurité microbiologique des insectes.

Les parties non comestibles des insectes doivent être retirées avant la consommation. Ces parties non comestibles sont généralement les pattes, les ailes, les élytres, le rostre et le dard. Il est également conseillé aux entreprises commercialisant des insectes comestibles d'indiquer sur l'étiquetage les parties à retirer avant la consommation de ceux-ci. Les pattes, les ailes et les élytres sont réputées indigestes, alors que le dard et le rostre peuvent induire des blessures après ingestion. Par exemple, bien que le venin des scorpions soit inactivé par la cuisson il est préférable de retirer leur dard car l'aiguillon très rigide peut induire des

blessures dans le tractus digestif. Chez les araignées comestibles les crochets à venin sont également retirés mais normalement cela est fait dès le moment de leur récolte.

Il est conseillé de consommer des insectes avec un étiquetage adéquat et exhaustif. Informant non seulement les consommateurs sur la provenance et sur la traçabilité de l'insecte comestible mais aussi sur les parties dures et indigestes que l'on doit retirer avant la consommation. La présence d'allergènes doit être signalée et une mention du risque d'allergies croisées avec les crustacés ou les fruits de mer doit être présente afin d'éviter tout risque d'accidents allergiques, qui peuvent être graves. Une communication claire et transparente est indispensable pour la consommation humaine sur l'étiquetage et doit être une condition à respecter de la part des sociétés les commercialisant.

De plus, les personnes souhaitant réaliser un élevage d'insectes comestibles à domicile devront s'assurer de la qualité des aliments donnés aux insectes et de la bonne hygiène de l'élevage. Il est possible de trouver des ouvrages expliquant la conduite à tenir pour mener à bien un élevage.

Une fois ces précautions prises en compte et respectée, il est donc possible de consommer des insectes sans plus de risque que les aliments classiques, toutefois, en raison du peu d'étude et de recul, il est conseillé de garder une certaine prudence. Bien qu'il existe encore peu d'études sur le sujet, le recul sur l'entomophagie reste important car les insectes sont consommés de manière ininterrompue dans les pays tropicaux. En effet, les populations locales entomophages ne présentent pas de problème de santé particulier lié à cette pratique.

Nous ajouterons que l'entomophagie ne dispense pas d'une alimentation saine et équilibrée et la consommation de cinq fruits et légumes par jour ainsi que d'éviter de manger trop gras, trop sucré ou trop salé et de pratiquer une activité physique régulière.

Conclusion

Conclusion

Les insectes et les arachnides longtemps absents des habitudes alimentaires occidentales suscitent depuis peu un intérêt croissant et deviennent de plus en plus consommés.

Ce sont de petits arthropodes présents dans nos environnements quotidiens et peuplant le monde entier à l'exception des profondeurs des mers et des régions polaires ce qui fait d'eux des ressources alimentaires très facilement disponibles. Ils présentent des anatomies et des modes de vies très variés, et peuvent, par exemple, être aquatiques, forestiers, fouisseurs, anthropophiles, parasites, vivre en colonies... Cependant, la grande majorité des arachnides est terrestres. Les entomologistes estiment qu'ils existeraient entre 5 et 80 millions d'espèces et représenteraient jusqu'à 80 % des espèces vivantes sur la Terre. Quant aux arachnides, il en a été recensé environ 80 000 espèces.

En dépit de leur ressemblances apparentes, les insectes et les arachnides n'appartiennent pas au même sous-embranchement phylogénétique. Et ils se différencient notamment par leur nombre de pattes. En effet, les insectes possèdent trois paires de pattes contre quatre chez les arachnides.

L'entomophagie est présente traditionnellement à travers le monde principalement dans les pays tropicaux et chaque jour une quantité importante d'insectes et d'arachnides est consommées dans ces pays. Les populations locales les consomment principalement car ils constituent dans leur culture des mets de choix bien qu'ils peuvent également permettre de survivre dans les périodes de pénuries alimentaires.

En Europe et plus généralement en Occident, les insectes comestibles ne sont arrivés que très récemment et les règlements européens n'ont pas tenu compte de l'entomophagie autant dans le domaine de la production que dans leur commercialisation. Les insectes ont donc relevé du règlement « Novel Food » qui permet la mise en place de nouveau aliment sur le marché. Cependant, les États de l'Union européenne ont mis en application ce règlement et son application de façon très disparate et un flou juridique demeure. Depuis le premier janvier 2018, une modification de ce règlement a pour vocation de clarifier la situation des insectes comestibles cependant nous n'avons pas le recul nécessaire pour savoir s'il va permettre une facilitation de la commercialisation et de la consommation des insectes. En dépit de ce flou juridique, des élevages d'insectes voient le jour en Europe et en France et il est possible de trouver à la vente des insectes comestibles provenant de ces élevages ou d'importation sur internet ou dans des boutiques spécialisées.

Les valeurs nutritionnelles des insectes sont très variables en fonction des espèces et des stades de développement. Mais, globalement leur valeur énergétique est très élevée. Cependant, les insectes sont principalement des sources de protéines animales ou de lipides insaturés et se révèlent être une alternative saine à la viande. Ils présentent aussi des taux intéressants en micronutriments comme les minéraux ou les vitamines et ont des taux de glucides généralement bas.

Les insectes en plus de leurs valeurs nutritionnelles intéressantes s'avèrent être des aliments écologiques et peu nocif pour les écosystèmes. En effet, la production et l'élevage des insectes libèrent peu de gaz à effet de serre et d'ammoniaque en comparaison avec les élevages traditionnels et la production de viande conventionnelle. De plus, les élevages

d'insectes demandent peu de terre agricole en raison de la possibilité de les élever dans des espaces restreint et de leur forte conversion alimentaire qui permet d'économiser les terres arables. On pourra ajouter que les élevages d'insectes ont besoin de peu d'eau et que le risque de zoonose est très limité en raison de la différence majeure phylogénique des arthropodes et des humains.

L'élevage et la production d'insectes doit cependant respecter les mêmes règles que la production des aliments conventionnels. Les risques bactériologiques doivent être contrôlés ainsi que la qualité et l'innocuité du produit fini. Concernant les insectes prélevés dans la nature, il est difficile de garantir leur réel innocuité sachant que nous savons que les insectes sont des bioaccumulateurs de métaux lourds et de pesticides présents dans leur alimentation. En outre, certains insectes peuvent être toxiques mais ils ne sont naturellement pas proposés à la vente et certains insectes présentent des parties indigestes qu'il conviendra de retirer avant consommation. Le principal risque de l'entomophagie reste les allergies qui peuvent être croisées avec les crustacés et les fruits de mer en raison de la présence d'allergènes communs. Les personnes allergiques devront donc s'abstenir d'en consommer.

Aujourd'hui, l'entomophagie en Europe reste relativement nouvelle et nous avons peu de recul sur cette pratique. Bien que les insectes soient consommés depuis la nuit des temps et de manière quotidienne dans certaines régions du monde, les études à leur sujet restent encore très limitées. Toutefois, les institutions et les chercheurs s'intéressent de plus en plus aux insectes comestibles en raison, non seulement, de leurs valeurs nutritionnelles et de leur valeur économique, mais aussi, en raison qu'ils s'avèrent être une alternative prometteuse à la consommation de viande. Sachant que la population mondiale croît de façon exponentielle ainsi que la demande en protéines animales et que la pression sur les écosystèmes est de plus en plus forte et que les surfaces agricoles sont de plus en plus limitées et que l'eau potable se raréfie.

Des études approfondies sur les insectes comestibles sont encore nécessaires ainsi que le développement de leur cadre légal pour le développement de ces nouveaux comportements alimentaires.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

1. ..Camus G. La classification du vivant, mode d'emploi [Internet]. Planet-Vie. 2007 [cité 30 avr 2018]. Disponible sur: <https://planet-vie.ens.fr/article/1925/classification-vivant-mode-emploi>
2. ..Ruggiero MA, Gordon DP, Orrell TM, Bailly N, Bourgoin T, Brusca RC, et al. A Higher Level Classification of All Living Organisms. PLOS ONE [Internet]. 29 avr 2015 [cité 24 mai 2018];10(4). Disponible sur: <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0119248>
3. ..Catalogue of life: 2017 annual checklist [Internet]. Catalogue of life. 2018 [cité 20 mai 2018]. Disponible sur: <http://www.catalogueoflife.org/annual-checklist/2017/>
4. ..Rey A, éditeur. Dictionnaire historique de la langue française: contenant les mots français en usage et quelques autres délaissés. Paris: Le Robert; 2016.
5. ..Chinery M. Insectes de France et d'Europe occidentale. Paris: Flammarion; 2012.
6. ..Roth M. Initiation à la morphologie: la systématique et la biologie des insectes. 1974.
7. ..Capinera JL, éditeur. Encyclopedia of entomology. 2. ed. Dordrecht: Springer Science+Business Media B.V; 2008. (Springer reference).
8. ..Duvallet G. Entomologie médicale et vétérinaire [Internet]. 2017 [cité 24 mai 2018]. Disponible sur: <http://sbiproxy.uqac.ca/login?url=http://international.scholarvox.com/book/88850609>
9. ..Huis A van, éditeur. Insectes comestibles: perspectives pour la sécurité alimentaire et l'alimentation animale. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2014. 207 p. (Etude FAO forêts).
10. Amevoin K, Ayieko MA, Bassan S, van Broekhoven S, Dzerefos C, Kinyunu JN, et al. Insectes comestibles en Afrique [Internet]. Wageningen: Agromisa; 2015. Disponible sur: https://publications.cta.int/media/publications/downloads/1847_PDF_YpCjYEu.pdf
11. Ingram M, Nabhan G, Buchmann S. Our Forgotten Pollinators: protecting the birds and bees (1998). Glob Pestic Campaign [Internet]. déc 1996 [cité 31 mai 2018];6(4). Disponible sur: <https://www.apiservices.biz/en/articles/sort-by-popularity/810-our-forgotten-pollinators-protecting-the-birds-and-bees-1998>
12. Wilson JRU, Ajuonu O, Center TD, Hill MP, Julien MH, Katagira FF, et al. The decline of water hyacinth on Lake Victoria was due to biological control by *Neochetina* spp. Aquat Bot. 1 juill 2007;87(1):90-3.
13. Elvin CM, Carr AG, Huson MG, Maxwell JM, Pearson RD, Vuocolo T, et al. Synthesis and properties of crosslinked recombinant pro-resilin. Nature. 13 oct 2005;437:999.
14. Turner S. Beyond biomimicry: What termites can tell us about realizing the living building. Proc 1st Int Conf Ind Intell Constr. 1 janv 2008;
15. Arachnides [Internet]. Athénée Fernand Blum. [cité 31 mai 2018]. Disponible sur: <http://www.afblum.be/bioafb/arachnid/arachnid.htm>
16. Morphologie - Les araignées [Internet]. Université d'Angers. [cité 31 mai 2018]. Disponible sur: <http://blog.univ-angers.fr/araignees/morphologie/>

17. Rollard C. Araignées ou Aranéides, Rôle des araignées - Encyclopædia Universalis [Internet]. Encyclopaedia universalis. [cité 1 juin 2018]. Disponible sur: <https://www.universalis.fr/encyclopedia/araignees-araneides/8-role-des-araignees/>
18. List of edible insects of the world (April 1, 2017) [Internet]. WUR. 2012 [cité 1 juin 2018]. Disponible sur: <https://www.wur.nl/en/Research-Results/Chair-groups/Plant-Sciences/Laboratory-of-Entomology/Edible-insects/Worldwide-species-list.htm>
19. Ramos-Elorduy J. Energy Supplied by Edible Insects from Mexico and their Nutritional and Ecological Importance. *Ecol Food Nutr*. 29 mai 2008;47(3):280-97.
20. Kitsa K. Contribution des insectes comestibles à l'amélioration de la ration alimentaire au Kasai-Occidental. *Zaire-Afr*. 1989;29(239).
21. O. Fasoranti J, O. Ajiboye D. Some Edible Insects of Kwara State, Nigeria. *Am Entomol*. 1 janv 1993;39:113-6.
22. Albouy V, Chardigny J-M. Des insectes au menu? ce qui va changer dans mon alimentation au quotidien [Internet]. Versailles: Quae; 2016 [cité 1 juin 2018]. Disponible sur: <http://res.banq.qc.ca/login?url=http://www.biblioaccess.com/31/Catalog/Book/692872>
23. Tourteau de palmiste NEW [Internet]. idele.fr. [cité 6 juin 2018]. Disponible sur: <http://idele.fr/presse/publication/idelesolr/recommends/tourteau-de-palmiste.html>
24. Fraval A. Le délectable tueur de palmier [Internet]. INRA; 2007. (Insectes). Report No.: 146. Disponible sur: <https://www7.inra.fr/opie-insectes/pdf/i146fraval4.pdf>
25. Ramos-Elorduy J, Moreno JMP, Camacho VHM. Edible aquatic Coleoptera of the world with an emphasis on Mexico. *J Ethnobiol Ethnomedicine*. 20 avr 2009;5:11.
26. Smith A, Paucar-Cabrera A. Taxonomic Review of *Platycoelia lutescens* (Scarabaeidae: Rutelinae: Anoplognathini) and a Description of its Use as Food by the People of the Ecuadorian Highlands. *Ann Entomol Soc Am*. 23 janv 2009;408-14.
27. Fukuoka M. La révolution d'un seul brin de paille: une introduction à l'agriculture sauvage. Paris: G. Trédaniel; 2015.
28. Ramos-Elorduy J, Moreno JM, Vázquez AI, Landero I, Oliva-Rivera H, Camacho VH. Edible Lepidoptera in Mexico: Geographic distribution, ethnicity, economic and nutritional importance for rural people. *J Ethnobiol Ethnomedicine*. 6 janv 2011;7:2.
29. Stack J, Dorward A, Gondo T, Frost P, Taylor F, Kurebgaseka N. Mopane worm utilisation and rural livelihoods in Southern Africa. :38.
30. Ghazoul J. Mopane Woodlands and the Mopane Worm: Enhancing rural livelihoods and resource sustainability [Internet]. London: Forestry Research Programme; 2006 01. Report No.: R 7822. Disponible sur: <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/57a08c42e5274a31e00010da/R7822-FTR.pdf>
31. Illgner P, Nel E. The Geography of Edible Insects in Sub-Saharan Africa: a study of the Mopane Caterpillar. *Geogr J*. 166(4):336-51.
32. Munthali SM, Mughogho DEC. Economic incentives for conservation: beekeeping and Saturniidae caterpillar utilization by rural communities. *Biodivers Conserv*. 1 sept 1992;1(3):143-54.

33. Chidumayo EN. A shifting cultivation land use system under population pressure in Zambia. *Agrofor Syst.* 1 mars 1987;5(1):15-25.
34. Glew RH, Jackson D, Sena L, VanderJagt DJ, Pastuszyn A, Millson M. *Gonimbrasia belina* (Lepidoptera: Saturniidae): a Nutritional Food Source Rich in Protein, Fatty Acids, and Minerals. *Am Entomol.* 1 oct 1999;45(4):250-3.
35. Headings ME, Rahnema S. The nutritional value of mopane worms, *Gonimbrasia belina* (Lepidoptera: Saturniidae) for human consumption. Wooster: Agricultural Technical Institute - The Ohio state university; 2002 nov. Report No.: 1083.
36. Amisi MF, Héritier US, Paul M, Georges AL, Innocent BK, Pascal IM. Valorisation de la chenille comestible *Bunaeopsis aurantiaca* dans la gestion communautaire des forêts du Sud-Kivu (République Démocratique du Congo). 2 déc 2013 [cité 6 juin 2018]; Disponible sur: <http://journals.openedition.org/vertigo/13929>
37. Banjo AD, Lawal OA, Songonuga EA. The nutritional value of fourteen species of edible insects in southwestern Nigeria. *Afr J Biotechnol.* 2006;5(3):298-301.
38. Ramos Elorduy J, Pino JM. Algunos ejemplos de aprovechamiento comercial de varios insectos comestibles y medicinales. *Entomol Mex.* 2006;(1):524-33.
39. Finke MD. Nutrient Composition of Bee Brood and its Potential as Human Food. *Ecol Food Nutr.* 2005;44(4):257-70.
40. Huis A van. Insects as Food in sub-Saharan Africa. *Int J Trop Insect Sci.* sept 2003;23(3):163-85.
41. Saeed T, Dagga F, Saraf M. Analysis of residual pesticides present in edible locusts captured in Kuwait. *Arab Gulf J Sci Res.* 1993;11(1):1-5.
42. Nonaka k. Feasting on insects. (Special issue : trends on the edible insects in Korea and Abroad). *Entomol Res.* 2009;39(5):304-12.
43. Cohen JH, Sanchez NDM, Montiel-Ishinoet DD. Chapulines and food choices in rural Oxaca. *Gastron J Food Cult.* 2009;9(1):61-5.
44. Kinyuru JN, Kenji GM, Muhoho SN. Nutritional potential of longhorn grasshopper (*Ruspolia differens*) consumed in Siaya District, Kenya. *J Agric Sci Technol.* 2010;12(1):1-24.
45. Agea JG, Biryomumaisho D, Buyinza M, Nabanoga GN. Commercialization of *Ruspolia nitidula* (Nsenene grasshoppers) in Central Uganda. *Afr J Food Agric Dev Econ.* 2008;14(3):319-32.
46. Kinyuru JN, Kenji GM, Njoroge MS. Process développement, nutrition and sensory qualities of wheat buns enriched with edible termites (*Macrotermes subhyalinus*) from lake Victoria region, Kenya. *Afr J Food Agric Nutr Dev Econ.* 2009;9(8):1739-50.
47. Santos Oliveira JF, Passos de Carvalho J, Bruno de Sousa RFX, Madalena Simao. The nutritional value of four species of insects consumed in Angola. 1976;(5):91-7.
48. Nkouka E. Les insectes comestibles dans les sociétés d'Afrique Centrale. *Rev Sci Cult CICIBAASC LEIDEN.* 1987;6(1):171-8.
49. Tihon L, Pagezy H. Les interrelations homme faune propos des termites au point de vue alimentaire. *Bull Agric Congo Belge.* (37):865-8.

50. Rhymer R. Tuck into a tarantula [Internet]. Disponible sur: <http://www.rhymer.net/custE.htm>
51. In Cambodia, tarantulas may not be on the menu for much longer [Internet]. South China Morning Post. 2018 [cité 7 juin 2018]. Disponible sur: <http://www.scmp.com/news/asia/southeast-asia/article/2140534/cambodia-tarantulas-may-not-be-menu-much-longer-due>
52. AVIS de l'Anses relatif à « la valorisation des insectes dans l'alimentation et l'état des lieux des connaissances scientifiques sur les risques sanitaires en lien avec la consommation des insectes » [Internet]. Anses. 2015 [cité 4 juin 2018]. Disponible sur: <https://www.anses.fr/fr/content/avis-de-l%E2%80%99anses-relatif-%C3%A0-la-valorisation-des-insectes-dans-l%E2%80%99alimentation-et-l%E2%80%99%C3%A9tat-des>
53. Règlementation relative aux élevages d'insectes [Internet]. Office pour les insectes et leur environnement. 2017. Disponible sur: <http://www.insectes.org/reglementation/elevage-insectes.html>
54. Taylor RL. Butterflies in my stomach: Or, insects in human nutrition. Woodbridge Press Publishing Company; 1975. 224 p.
55. Lotta DF. Authorizing Edible Insects under the Novel Food Regulation. :22.
56. Règlement (UE) 2015/2283 du Parlement européen et du Conseil du 25 novembre 2015 relatif aux nouveaux aliments, modifiant le règlement (UE) n° 1169/2011 du Parlement européen et du Conseil et abrogeant le règlement (CE) n° 258/97 du Parlement européen et du Conseil et le règlement (CE) n° 1852/2001 de la Commission (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE) [Internet]. OJ L, 32015R2283 déc 11, 2015. Disponible sur: <http://data.europa.eu/eli/reg/2015/2283/oj/fra>
57. Reverbi M. Exploring the legal status of edible insects around the world [Internet]. Food Navigator. 2017. Disponible sur: foodnavigator-asia.com/Article/2017/02/01/Exploring-the-legal-status-of-edible-insects-around-the-world
58. Question-réponses sur l'application de la réglementation « novel food » aux insectes destinés à l'alimentation humaine et son évolution dans les prochaines années. Site de la santé publique, sécurité de la chaîne alimentaire et environnement - Belgique. 2016.
59. Fessard R. Nouvelle loi, les insectes comestibles en Suisse sont désormais autorisés [Internet]. Insectes comestibles, le blog. [cité 4 juin 2018]. Disponible sur: <http://www.insectescomestibles.fr/blog/insectes-arrivent-suisse/>
60. Les insectes comme denrée alimentaire [Internet]. Office fédéral de la sécurité alimentaire et des affaires vétérinaires. 2017 [cité 4 juin 2018]. Disponible sur: <https://www.blv.admin.ch/blv/fr/home/lebensmittel-und-ernaehrung/lebensmittelsicherheit/einzelne-lebensmittel/insekten.html>
61. Règlementation de la commercialisation des insectes comestibles [Internet]. Sénat. 2016 [cité 4 juin 2018]. Disponible sur: <https://www.senat.fr/questions/base/2016/qSEQ160521626.html>
62. Cohen AC. Formalizing insect rearing and artificial diet technology. Am Entomol. 2001;47(4):199.

63. IPIFF [Internet]. IPIFF. [cité 4 juin 2018]. Disponible sur: <http://www.ipiff.org/>
64. Vers de farine | Faite l'expérience des insectes comestibles [Internet]. [cité 10 juin 2018]. Disponible sur: <http://www.europe-entomophagie.com/fr/insectes-comestibles/72-vers-de-farine-natures.html>
65. LE MOLITOR - AIL & FINES HERBES [Internet]. Jiminis. [cité 10 juin 2018]. Disponible sur: <https://www.jiminis.com/nos-molitors/9-molitor-ail-fines-herbes.html>
66. Cuisiner des vers [Internet]. Manger des insectes : l'entomophagie en cuisine. 2008 [cité 10 juin 2018]. Disponible sur: <http://www.manger-insectes.fr/recettes/cuisiner-des-vers>
67. LE CRIQUET - CURRY FRUITÉ [Internet]. Jiminis. [cité 10 juin 2018]. Disponible sur: <https://www.jiminis.com/nos-criquets/8-criquet-curry-fruite.html>
68. Criquets comestibles : comment les manger et plein d'autres infos [Internet]. Insectéo | Le blog. 2016 [cité 10 juin 2018]. Disponible sur: <http://www.insecteo.com/conseils/criquets-guide/>
69. Roumagnac L. Tuteur de grillons, un vrai sport de pelouse... [Internet]. Léon ROUMAGNAC. 2010 [cité 10 juin 2018]. Disponible sur: <https://mirabel81.wordpress.com/2010/04/16/tuteur-de-grillons-un-vrai-sport-de-pelouse/>
70. Grillons Nature | Sachet d'insectes comestibles [Internet]. [cité 10 juin 2018]. Disponible sur: <http://www.europe-entomophagie.com/fr/insectes-comestibles/74-grillons-deshydrates.html>
71. J'ai mangé des fourmis vertes! [Internet]. Le blog sur l'Australie - Trippin'Australia. 2012 [cité 10 juin 2018]. Disponible sur: <http://www.trippinaustralia.com/jai-mange-des-fourmis-vertes>
72. Fourmis comestibles | A la découverte des fourmis tisserandes [Internet]. [cité 10 juin 2018]. Disponible sur: <http://www.insectescomestibles.fr/th/29-fourmis-deshydratees.html>
73. Fourmis tisserandes | Fourmis comestibles [Internet]. [cité 10 juin 2018]. Disponible sur: <https://www.multivores.com/fr/home/97-fourmis-comestibles.html>
74. Punaise d'eau géante (Belostomatidae) - Insectes comestibles à vendre [Internet]. Edible Insects For Sale. [cité 10 juin 2018]. Disponible sur: <https://www.next-food.net/fr/produit/punaise-deau-geante-belostomatidae/>
75. Scarabée Plongeur (Cybister limbatus) - Insectes comestibles à vendre [Internet]. Edible Insects For Sale. [cité 10 juin 2018]. Disponible sur: <https://www.next-food.net/fr/produit/scarabee-plongeur-cybister-limbatus/>
76. Tarentules Comestibles (Haplopelma Albostriatum) - Insectes comestibles à vendre [Internet]. Edible Insects For Sale. [cité 10 juin 2018]. Disponible sur: <https://www.next-food.net/fr/produit/tarentulas-haplopelma-albostriatum/>
77. Scorpion comestible | Animal mythique et dangereux- Insecte comestible - Europe Entomophagie [Internet]. [cité 10 juin 2018]. Disponible sur: <http://www.europe-entomophagie.com/blog/scorpion-vous-avez-dit-scorpion/>
78. Huile d'insectes - Huile de ténébrion - Huile de vers de farine 100% naturelle [Internet]. Entomofarm. 2016 [cité 4 juin 2018]. Disponible sur: <http://entomo.farm/huile-insectes-tenebrion-meunier-vers-farine/>

79. Proti-Farm. Insect Oil – Advantages and Opportunities [Internet]. Proti-Farm. 2016 [cité 4 juin 2018]. Disponible sur: <https://protifarm.com/insect-oil-advantages-opportunities/>
80. Rumpold BA, Schlüter OK. Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Mol Nutr Food Res*. mai 2013;57(5):802-23.
81. Kouřimská L, Adámková A. Nutritional and sensory quality of edible insects. *NFS J*. 1 oct 2016;4:22-6.
82. Ramos-Elorduy J, Moreno JMP, Prado EE, Perez MA, Otero JL, de Guevara OL. Nutritional Value of Edible Insects from the State of Oaxaca, Mexico. *J Food Compos Anal*. 1 juin 1997;10(2):142-57.
83. Bednářová M, Borkovcová M, Mlček J, Rop O, Zeman L. Edible insects - species suitable for entomophagy under condition of Czech Republic. *Acta Univ Agric Silvicae Mendel Brun*. 2013;61(3):587-93.
84. XiaoMing C, Ying F, Hong Z, ZhiYong C. Review of the nutritive value of edible insects. For Insects Food Hum Bite Back Proc Workshop Asia-Pac Resour Their Potential Dev Chiang Mai Thail 19-21 Febr 2008. 2010;85-92.
85. Bukkens S. The nutritional value of edible insects: Ecology of Food and Nutrition. *Ecol Food Nutr*. 1997;36:2-4.
86. Ademolu K o., Idowu A b., Olatunde G o. Nutritional Value Assessment of Variegated Grasshopper, *Zonocerus variegatus* (L.) (Acridoidea: Pygomorphidae), During Post-Embryonic Development. *Afr Entomol*. 1 sept 2010;18(2):360-4.
87. Durst PB, FAO, éditeurs. Forest insects as food: humans bite back; proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and their potential for development, 19-21 February 2008, Chiang Mai, Thailand. Bangkok, Thailand: Food and Agriculture Organization of the United Nations, Regional Office for Asia and the Pacific; 2010. 231 p. (RAP publication).
88. Dobermann D, Swift JA, Field LM. Opportunities and hurdles of edible insects for food and feed. *Nutr Bull*. 42(4):293-308.
89. Makkar HPS. Review: Feed demand landscape and implications of food-not feed strategy for food security and climate change. *animal*. déc 2017;1-11.
90. CORDONNIER J-L. acides aminés indispensables. :7.
91. Tzompa-Sosa DA, Yi L, van Valenberg HJF, van Boekel MAJS, Lakemond CMM. Insect lipid profile: aqueous versus organic solvent-based extraction methods. *Food Res Int*. 1 août 2014;62:1087-94.
92. Bukkens S. Insects in the human diet: Nutritional aspects. janv 2005 [cité 4 juin 2018]; Disponible sur: https://www.researchgate.net/publication/285158596_Insects_in_the_human_diet_Nutritional_aspects
93. Ekpo KE, Onigbinde AO, Asia IO. Pharmaceutical potentials of the oils of some popular insects consumed in southern Nigeria. :7.
94. Sabolová M, Adámková A, Kouřimská L, Chrpová D, Pánek J. Minor lipophilic compounds in edible insects. *Potravinárstvo Slovak J Food Sci*. 5 juill 2016;10(1):400-6.

95. Naughton JM, O'Dea K, Sinclair J. Animal foods in traditional Australian aboriginal diets: Polyunsaturated and low in fat. *Lipids*. nov 1986;21(11):684-90.
96. Womeni HM, Linder M, Tiencheu B, Mbiapo FT, Villeneuve P, Fanni J, et al. Oils of insects and larvae consumed in Africa: potential sources of polyunsaturated fatty acids. *Ol Corps Gras Lipides*. 1 juill 2009;16(4-5-6):230-5.
97. Payne CL, Scarborough P, Rayner M, Nonaka K. Are edible insects more or less « healthy » than commonly consumed meats? A comparison using two nutrient profiling models developed to combat over- and undernutrition. *Eur J Clin Nutr*. mars 2016;70(3):285-91.
98. Finke MD. Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores. *Zoo Biol*. 27 juin 2002;21(3):269-85.
99. Tong L, Yu X, Liu H. Insect food for astronauts: gas exchange in silkworms fed on mulberry and lettuce and the nutritional value of these insects for human consumption during deep space flights. *Bull Entomol Res*. oct 2011;101(5):613-22.
100. Finke MD. Estimate of chitin in raw whole insects. *Zoo Biol*. mars 2007;26(2):105-15.
101. Paoletti MG, Norberto L, Damini R, Musumeci S. Human gastric juice contains chitinase that can degrade chitin. *Ann Nutr Metab*. 2007;51(3):244-51.
102. Muzzarelli RAA, Università degli studi di Ancona, Società Italiana di Biochimica, International Symposium on Chitin Enzymology, éditeurs. *Chitin enzymology*. Grottammare: Atec Ed; 2001. 614 p.
103. Lee KP, Simpson SJ, Wilson K. Dietary protein-quality influences melanization and immune function in an insect. *Funct Ecol*. 22(6):1052-61.
104. Sachs JD. Rethinking Macroeconomics [Internet]. Rochester, NY: Social Science Research Network; 2013 janv [cité 5 juin 2018]. Report No.: ID 2209442. Disponible sur: <https://papers.ssrn.com/abstract=2209442>
105. Steinfeld H, Gerber P, Wassenaar T, Castel V, Rosales M, de Haan C. Livestock's long shadow. 2006 [cité 5 juin 2018]; Disponible sur: <http://www.fao.org/docrep/010/a0701e/a0701e00.HTM>
106. Gerber PJ, Food and Agriculture Organization of the United Nations, éditeurs. Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2013. 115 p.
107. Egert M, Wagner B, Lemke T, Brune A, Friedrich MW. Microbial community structure in midgut and hindgut of the humus-feeding larva of *Pachnoda ephippiata* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Appl Environ Microbiol*. nov 2003;69(11):6659-68.
108. Oonincx D, de Boer I. Environmental Impact of the Production of Mealworms as a Protein Source for Humans - A Life Cycle Assessment. 19 déc 2012 [cité 5 juin 2018]; Disponible sur: <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0051145>
109. Veldkamp T. Insects as a sustainable feed ingredient in pig and poultry diets - a feasibility study. :62.
110. Smil V. Worldwide transformation of diets, burdens of meat production and

- opportunities for novel food proteins. *Enzyme Microb Technol.* 13 mars 2002;30(3):305-11.
111. COLLAVO A, GLEW RH, HUANG Y-S, CHUANG L-T, BOSSE R, PAOLETTI MG. House Cricket Small-scale Farming. *janv* 2005;27.
 112. Neely GG, Keene AC, Duchek P, Chang EC, Wang Q-P, Aksoy YA, et al. TrpA1 regulates thermal nociception in *Drosophila*. *PloS One.* 2011;6(8):e24343.
 113. Eisemann CH, Jorgensen WK, Merritt DJ, Rice MJ, Cribb BW, Webb PD, et al. Do insects feel pain? — A biological view. *Experientia.* févr 1984;40(2):164-7.
 114. Okumura GT. A report of cantharidiasis and allergy caused by *Trogoderma* (Coleoptera: Dermestidae). *Calif Vector Views* [Internet]. 1967 [cité 28 juin 2018];14(3). Disponible sur: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19701000245>
 115. Morris B. *Insects and human life*. 1st ed. Oxford; New York: Berg; 2004. 317 p.
 116. Bodenheimer FS. *Insects as human food a chapter of the ecology of man*. [Internet]. The Hague: W. Junk; 1951 [cité 4 juin 2018]. Disponible sur: <http://books.google.com/books?id=tIMgAQAAMAAJ>
 117. Faure JC. Pentatomid bugs as human food. *J Ent Soc Afr.* 1944;(7):110-2.
 118. Zagrobelny M, Dreon AL, Gomiero T, Marcazzan GL, Glaring MA, Møller BL, et al. Toxic Moths: Source of a Truly Safe Delicacy. *J Ethnobiol.* mars 2009;29(1):64-76.
 119. Tchibozo S, Malaisse F, Mergen P. Insectes consommés par l'Homme en Afrique occidentale francophone /Edible insects by Human in Western French Africa. *Rev Int Géologie Géographie Décologie Trop.* 1 janv 2016;40:105-14.
 120. Bouvier G. Quelques questions d'entomologie vétérinaire et lutte contre certains arthropodes en Afrique tropicale. *Acta Trop.* 1945;(2):42-59.
 121. Kuyten P. Darmafsluiting veroorzaakt door het eten van kevers. *Entomol Ber.* 1960;20(8):143.
 122. Vijver M, Jager T, Posthuma L, Peijnenburg W. Metal uptake from soils and soil-sediment mixtures by larvae of *Tenebrio molitor* (L.) (Coleoptera). *Ecotoxicol Environ Saf.* mars 2003;54(3):277-89.
 123. Lindqvist L, Block M. Excretion of cadmium during moulting and metamorphosis in *Tenebrio molitor* (Coleoptera; Tenebrionidae). *Comp Biochem Physiol C Pharmacol Toxicol Endocrinol.* 1 juin 1995;111(2):325-8.
 124. Cappellozza S, Saviane A, Tettamanti G, Squadrin M, Vendramin E, Paolucci P, et al. Identification of *Enterococcus mundtii* as a pathogenic agent involved in the « flacherie » disease in *Bombyx mori* L. larvae reared on artificial diet. *J Invertebr Pathol.* mars 2011;106(3):386-93.
 125. Ribeiro JC, Cunha LM, Sousa-Pinto B, Fonseca J. Allergic risks of consuming edible insects: A systematic review. *Mol Nutr Food Res.* janv 2018;62(1):1700030.
 126. Aubert D. A new pragmatic megaclassification of life. *médecine/sciences.* 2016;32(5):497-9.
 127. Nowak J. Morphologie et plan d'organisation [Internet]. *entomoLOGIC*. [cité 31 mai

- 2018]. Disponible sur: <http://entomologic.jimdo.com/les-insectes/morphologie-et-plan-d-organisation/>
128. Abeilles - Anatomie - La tête - Les yeux [Internet]. Encyclopédie universelle de la langue française. [cité 31 mai 2018]. Disponible sur: <http://www.encyclopedie-universelle.net/abeille1/abeille-anatomie-tete-yeux.html>
 129. Insect - Mouthparts [Internet]. Britannica kids students. [cité 25 mai 2018]. Disponible sur: <https://kids.britannica.com/students/article/insect/275066/285150-toc>
 130. Nouara M. Développement des insectes [Internet]. NatGéo. 2015 [cité 31 mai 2018]. Disponible sur: <http://vetoforu.blogspot.com/2015/04/developpement.html>
 131. Le lepisme ou poisson d'argent [Internet]. CAP Services. [cité 31 mai 2018]. Disponible sur: <http://www.centre-anti-parasitaires.fr/les-nuisibles/les-autres-nuisibles/le-lepisme-ou-poisson-dargent/>
 132. Diplura - Campodea fragilis Meinert [Internet]. Sugu enciklopēdija. [cité 31 mai 2018]. Disponible sur: <https://www.latvijasdaba.lv/kukaini/campodea-fragilis-meinert/>
 133. Janssens F. Checklist of the Collembola [Internet]. Checklist of the Collembola. [cité 31 mai 2018]. Disponible sur: <http://uahost.uantwerpen.be/collembola/images/gallery.htm>
 134. Meyer JR. General Entomology - Resource Library - Compendium [ephemeroptera] [Internet]. NC state university. 2016 [cité 31 mai 2018]. Disponible sur: <https://projects.ncsu.edu/cals/course/ent425/library/compendium/ephemeroptera.html>
 135. Dellerie F. Demoiselle et Libellule [Internet]. Art Majeur. 2018 [cité 31 mai 2018]. Disponible sur: <https://www.artmajeur.com/fr/art-gallery/florence-dellerie/20672/demoiselle-libellule/7634767>
 136. Leuctridae - Rolled-winged Stoneflies [Internet]. Discover Life. [cité 31 mai 2018]. Disponible sur: http://www.discoverlife.org/mp/20q?act=x_ant&path=Insecta/Plecoptera/Leuctridae&name=Leuctridae&common_name=Rolled-winged+Stoneflies
 137. Les orthoptères: sauterelles, grillons et criquets [Internet]. Animateur Nature. [cité 31 mai 2018]. Disponible sur: https://www.animateur-nature.com/Pages_orthopteres/guide_orthopteres_1.html
 138. Thématique Phasme [Internet]. Topexpos Documentaires. 2015 [cité 31 mai 2018]. Disponible sur: <http://documentaires.topexpos.fr/thematique/phasme.php>
 139. Dermaptera - Entomologists' glossary [Internet]. Amateur Entomologists' Society. [cité 31 mai 2018]. Disponible sur: <https://www.amentsoc.org/insects/glossary/terms/dermaptera>
 140. Jacquemin G. Embia ramburi [Internet]. Galerie insecte. 2016 [cité 31 mai 2018]. Disponible sur: <https://www.galerie-insecte.org/galerie/esp-page.php?gen=Embia&esp=ramburi>
 141. Opinions on Blattoptera [Internet]. Write opinions. [cité 31 mai 2018]. Disponible sur: <http://www.writeopinions.com/blattoptera>
 142. La mante religieuse, gros insecte pas méchant [Internet]. Le Monde. [cité 31 mai 2018]. Disponible sur: <https://jardinage.lemonde.fr/dossier-1027-mante-religieuse-gros->

insecte-pas-mechant.html

143. Termitiere de 5m de haut! [Internet]. Travel blog. [cité 31 mai 2018]. Disponible sur: <https://www.travelblog.org/Photos/6259819>
144. Poux de corps [Internet]. Poux et Lentes. 2017 [cité 31 mai 2018]. Disponible sur: <https://www.les-poux.info/poux-de-corps-maladies-traitements-prevention/>
145. Les puces: sur l'animal mais surtout dans la maison! [Internet]. Cabinet vétérinaire du passage du Loup. 2016 [cité 31 mai 2018]. Disponible sur: <https://www.vetoloup.com/les-puces-des-parasites-tres-frequents/>
146. La punaise verte ponctuée [Internet]. Quel est cet animal? 2014 [cité 31 mai 2018]. Disponible sur: <https://www.quelestcetanimal.com/hemipteres/la-punaise-verte-ponctuee/>
147. La cigale: un insecte comestible! [Internet]. Insectes comestibles, le blog. 2016 [cité 31 mai 2018]. Disponible sur: <http://www.insectescomestibles.fr/blog/cigale-insecte-comestible/>
148. Thrips - insect order [Internet]. Britannica. [cité 31 mai 2018]. Disponible sur: <https://www.britannica.com/animal/thrips>
149. Les mécoptères: des mouches scorpions [Internet]. Myrmecofourmis. [cité 31 mai 2018]. Disponible sur: <http://www.myrmecofourmis.fr/Les-mecopteres-des-mouches-scorpions>
150. Fiche descriptive de la phrygane. [Internet]. REA de DECclic. [cité 31 mai 2018]. Disponible sur: http://rea.deccllic.qc.ca/dec_virtuel/Biologie/101-NYA-05/Cellule_et_evolution/3.Evolution_et_ecologie/Ecosysteme/tricopteres/cdtricoptere.htm
151. Dubois P. Les Araignées de France - Morphologie [Internet]. Côté Nature. [cité 31 mai 2018]. Disponible sur: http://pdubois.free.fr/a_morphologie.php
152. Kuveskar S. Etats-Unis: United Airlines évacue un vol à cause d'un scorpion en cabine [Internet]. Le Parisien. 2017 [cité 31 mai 2018]. Disponible sur: <http://www.leparisien.fr/insolite/etats-unis-united-airlines-evacue-un-vol-a-cause-d-un-scorpion-en-cabine-12-05-2017-6943329.php>
153. Pseudoscorpions [Internet]. Espace pour la vie. [cité 31 mai 2018]. Disponible sur: <http://espacepurlavie.ca/insectes-arthropodes/pseudoscorpions>
154. Masta S. Arachids - Portland State University [Internet]. Susan E. Masta - Associate Professor - Department of Biology. [cité 1 juin 2018]. Disponible sur: <http://web.pdx.edu/~smasta/ArachnidInfo.html>
155. Arthropodes - photographies [Internet]. Scorpupark. [cité 1 juin 2018]. Disponible sur: <http://scorpupark.e-monsite.com/album/arthropodes-sur-scorpupark/>
156. Uropyge: définition et explications [Internet]. Aquaportail. [cité 1 juin 2018]. Disponible sur: <https://www.aquaportail.com/definition-10660-uropyge.html>
157. Martine. Les opilions ou faucheux [Internet]. La nature en macro. [cité 1 juin 2018]. Disponible sur: <http://smart64.over-blog.fr/article-les-opilions-ou-faucheux-115550390.html>
158. 7 milliards d'individus en 2012, 2050, 9 milliards. Comment nourrir tout ce monde

- alors que 850 millions de personnes souffrent de la faim dans le monde ? [Internet]. 2016 [cité 5 juin 2018]. Disponible sur: <http://d.20-bal.com/biolog/3362/index.html>
159. Agromedia C. Découvrez le goût des insectes comestibles [Internet]. Agro Media. [cité 1 juin 2018]. Disponible sur: <http://www.agro-media.fr/dossier/decouvrez-le-gout-des-insectes-comestibles-17236.html>
 160. Charançon rouge du palmier, *Rhynchophorus ferrugineus*: traitement et lutte [Internet]. Au Jardin. [cité 1 juin 2018]. Disponible sur: <https://www.aujardin.info/fiches/rhynchophorus-ferrugineus.php>
 161. Hewson J. Miam, des larves ! [Internet]. Nouvelles des forêt. 2015 [cité 1 juin 2018]. Disponible sur: <https://forestsnews.cifor.org/33328/lamour-du-cameroun-pour-les-larves-ne-pourrait-se-porter-mieux?fnl=fr>
 162. hum qui en veut ? zandette zandette [Internet]. la réunion lé là. 2008 [cité 1 juin 2018]. Disponible sur: <http://boy-974.skyrock.com/1657094140-hum-qui-en-veut-zandette-zandette.html>
 163. foodnavigator-asia.com. Witchetty grubs still on the menu for nine out of 10 Aborigines [Internet]. foodnavigator-asia.com. [cité 1 juin 2018]. Disponible sur: <https://www.foodnavigator-asia.com/Article/2017/03/29/Witchetty-grubs-still-on-the-menu-for-nine-out-of-10-Aborigines>
 164. Cuisine africaine chenilles au poisson fumé [Internet]. Kabibi Magazine. 2017 [cité 1 juin 2018]. Disponible sur: <http://www.kabibimag.com/2017/11/04/cuisine-africaine-chenilles-au-poisson-fume/>
 165. CO MI DA [Internet]. Le blog de mastacheaumexique. 2011 [cité 2 juin 2018]. Disponible sur: <http://mastacheaumexique.over-blog.com/article-co-mi-da-91829062.html>
 166. La fourmi pot de miel [Internet]. Futura science. [cité 2 juin 2018]. Disponible sur: <https://www.futura-sciences.com/sciences/photos/magazine-science-science-insolite-695/photos-fourmi-pot-miel-5088/>
 167. Studnicka O. 101 Repas étranges et dégoûtants dans le Monde [Internet]. Chambre237. 2014 [cité 2 juin 2018]. Disponible sur: <https://www.chambre237.com/101-repas-etranges-et-degoutants-dans-le-monde/>
 168. Caviar mexicain - Escamoles (oeufs de fourmis) [Internet]. Louis au Mexique. [cité 2 juin 2018]. Disponible sur: [http://noviaguapa.free.fr/album/Etat%20d%20Hidalgo/Specialites%20regionales/slides/06-Caviar%20mexicain%20-%20Escamoles%20\(oeufs%20de%20fourmis\).html](http://noviaguapa.free.fr/album/Etat%20d%20Hidalgo/Specialites%20regionales/slides/06-Caviar%20mexicain%20-%20Escamoles%20(oeufs%20de%20fourmis).html)
 169. Termites [Internet]. CALLISTO System. [cité 2 juin 2018]. Disponible sur: <https://www.callistosystem.com/nos-activites/termites-bois-traitement/termites-galerie-photos/>
 170. Engstrom A. Edible insect status in europe 2018 [Internet]. Entonation. 2018. Disponible sur: <https://entonation.com/1888-2/>
 171. Vers de farine, insectes comestibles Europe, insectes à manger [Internet]. Insectes food. [cité 4 juin 2018]. Disponible sur: <http://www.insectes-food.com/insectes-comestibles-europe/-5-vers-de-farine.html>
 172. Criquets, insectes comestibles Europe, insectes à manger [Internet]. Insectes food.

[cité 4 juin 2018]. Disponible sur: <http://www.insectes-food.com/insectes-comestibles-europe-/6-criquets.html>

173. Grillons, grillons à manger, insectes comestibles Thaïlande, insectes à manger [Internet]. Insectes food. [cité 4 juin 2018]. Disponible sur: <http://www.insectes-food.com/insectes-comestibles-asie/9-grillons.html>
174. Farine d'insectes comestibles - Bugood Food Belgique [Internet]. BugoodFood - Insectes comestibles. [cité 4 juill 2018]. Disponible sur: <http://www.bugoodfood.be/insectes-commestibles/farine-insectes-comestibles/>
175. «Manger des insectes est bon pour l'empreinte écologique» [Internet]. Metro. 2018 [cité 5 juill 2018]. Disponible sur: <https://fr.metrotime.be/2018/01/26/actualite/manger-insectes-lempreinte-ecologique/>
176. Entomophagie: 5 raisons de vous y mettre [Internet]. Insectes comestibles, le blog. [cité 5 juin 2018]. Disponible sur: <http://www.insectescomestibles.fr/blog/entomophagie-pourquoi-pratiquer/>
177. Les insectes comestibles s'invitent au su... [Internet]. [cité 5 juin 2018]. Disponible sur: <https://www.scoop.it/t/news-4ento-en-francais/p/4083236738/2017/08/17/les-insectes-comestibles-s-invitent-au-supermarche>

Serment de Galien

Je jure en présence de mes Maîtres de la Faculté 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, mes devoirs envers le malade et sa dignité humaine, de respecter le secret professionnel.

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



Les nouveaux comportements alimentaires : la consommation des insectes et des arachnides

Aujourd'hui, la consommation des insectes et des arachnides est de plus en plus présente en Occident et on assiste à un nouvel engouement concernant l'entomophagie. Cette pratique existe depuis la nuit des temps et les insectes sont au menu quotidien de nombreuses populations du monde notamment dans les pays tropicaux. La législation européenne concernant les insectes comestibles en est encore à ses balbutiements et nous sommes face à un flou juridique puisque les états membres de l'Union européenne interprètent de manière disparate le règlement « *novel food* ». Les insectes sont des aliments sains et ont des valeurs nutritionnelles intéressantes en raison de leur forte valeur énergétique, leur forte teneur en protéines et leur teneur en glucides très basse. La production et l'élevage des insectes présentent l'avantage d'être écologiques et économiques dans un monde où la pression sur les écosystèmes est très forte. De plus, les insectes sont un moyen d'assurer la sécurité alimentaire dans les pays du tiers-monde. La consommation d'insectes présente peu de risques hormis les risques classiques que l'on retrouve avec les aliments traditionnels et le risque allergique croisé avec les crustacés et les fruits de mer. Les études sur les insectes restent très limitées et le seul recul que nous ayons est la consommation ancienne et traditionnelle dans certains pays.

Mots-clés : Insecte comestibles, Valeur nutritionnelle, Sécurité alimentaire, Alimentation

New eating behaviors : the consumption of insects and arachnids

Nowadays, the consumption of insects and arachnids is a spreading trend across Western countries and a real craze for entomophagy is blooming. This practice has existed since the dawn of time and countless people around the world eat insects as a part of a daily diet especially in the tropics. European legislation on edible insects is still in its infancy and from a legal standpoint, things remains unclear as European Union state may interpret the « *novel food* » regulation differently. Insects are healthy food and their nutritional value is certain due to their high energy value, high protein content and very low carbohydrate content. Insects' breeding and production provide both ecological and economical advantages in a world facing strong pressure on ecosystems. Moreover, insects are a mean of ensuring food security in Third World countries. The consumption of insects presents minor risk apart from the standard risks associated with traditional food, along with the potential allergic reactions with crustaceans and seafood. The studies on insects is still very limited and the only hindsight that we have results from the observation of traditional consumption in some countries.

Keywords : Edible insect, Nutritional value, Food safety, Food

