



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université des Frères Mentouri Constantine
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة الاخوة منتوري قسنطينة
كلية علوم الطبيعة و الحياة

Département : Biologie Animale.

قسم : بيولوجيا الحيوان

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Biologie et Contrôle des populations d'insectes

Intitulé :

insectes d'intérêt socio-économique

Présenté et soutenu par : BENAÏSSA FATIMA ZAHRA

Le 18/06/2022

MCILI KHOUDJA

Jury d'évaluation :

Encadreur : Dr MADACI BRAHIM

(M.C.B - Université Frères Mentouri, Constantine 1).

Examineur 1 : Dr BENKENANA NAÏMA
Constantine 1).

(PROFESSEUR - Université Frères Mentouri,

Examineur 2 : Dr BETINA SARA

(M.C.B - Université Frères Mentouri, Constantine 1).

Année universitaire
2021- 2022

REMERCIEMENTS

Nous remercions DIEU le tout puissant de nous avoir donné la foi, la santé, et le courage pour réaliser ce modeste travail.

Un immense merci à notre Encadreur **dr Madaci Brahim** pour son aide, sa disponibilité, ses précieux conseils, et surtout pour sa gentillesse et sa patience.

Au Président et au membre de jury, pour nous avoir fait l'honneur d'accepter de juger notre modeste travail,

Sincères remerciements.

Un grand Merci à toutes les personnes qui nous ont aidé, de près ou de loin, pour la réalisation de ce modeste travail.

Dédicace

Benaissa Fatima Zahra

Je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents sources d'affection de courage et d'inspiration qui ont autant sacrifié pour me voir atteindre ce jour.

Et à toute ma famille qui m'ont aidé et soutenue.

Remerciement spécial à mon promoteur

Dr Madaci Brahim

A tous les Enseignants de la biologie et contrôle des populations d'insectes Et à Toute personne qui m'a aidé de près ou de loin

sommaire

Résumés.....	1
--------------	---

Introduction	4
---------------------------	---

CHAPITRE 1 : GENERALITE

1-GENERALITE SUR LES INSEC.....	8
---------------------------------	---

1-1QUE SONT LES INSECTES	8
--------------------------------	---

1-2 INSECTES D'ELEVAGE	8
------------------------------	---

1-2-1 DÉFINITIONS ET CONCEPTS	4
-------------------------------------	---

2- ÉLEVAGE D'INSECTES	9
-----------------------------	---

2-1-ÉLEVAGE D'INSECTES POUR LA CONSOMMATION HUMAI.....	9
--	---

2-1-1 LES ZONES TEMPEREES	9
---------------------------------	---

2-2 ELEVAGE D'INSECTES POUR L'ALIMENTATIO.....	10
--	----

2-3 RECOMMANDATIONS SUR L'ÉLEVAGE D'INSECTES.....	10
---	----

2-3-1 COLLECTE D'ESPECES ET DE SOUCHES POUR L'ALIMENTATION HUMAINE ET ANIMALE	10
---	----

3-LES INSECTES COMME ALIMENTS POUR ANIMAUX.....	11
---	----

3-1-APERCU.....	11
-----------------	----

3-2 OLAILLES ET POISSONS NOURRIS AVEC DES INSECTES.....	12
---	----

3.2.1 LA VOLAILLE.....	13
------------------------	----

3.4 POISSON.....	14
------------------	----

CHAPITRE2 : LE ROLE DES INSECTES SOCIO-ECONOMIQUES

1 LE RÔLE DES INSECTES SOCIO-ÉCONOMIQUE.....	16
--	----

1-1 RÔLEBÉNÉFIQUE DES INSECTES SOCIO ECONOMIQUES POUR LA NATURE ET L'HOMME.....	16
---	----

1-1-1BÉNÉFICES POUR LA NATURE.....	16
------------------------------------	----

1-1-2 RÔLES BÉNÉFIQUES DES INSECTES POUR L'HOMME.....	17
---	----

2- L'ENTOMOPHAGIE DANS LE MONDE.....	18
--------------------------------------	----

2. 1 NOMBRE D'ESPÈCES D'INSECTES COMESTIBLES IDENTIFIES.....	18
--	----

2-2PRINCIPAUX GROUPES D'INSECTES COMESTIBLE.....	19
--	----

Chapitre 3

Culture religion et histoire de l'insectes socio-économique dans le monde

1. POURQUOI LES INSECTES NE SONT-ILS PAS CONSOMMÉS DANS LES PAYS OCCIDENTAUX ?.....	29
1.1. POURQUOI LES INSECTES SONT-ILS DAVANTAGE CONSOMMÉS SOUS LES TROPIQUES QUE DANS LES RÉGIONS TEMPÉRÉES DU MONDE	30
2.POURQUOI LES INSECTES N'ONT-ILS JAMAIS ÉTÉ DOMESTIQUÉS POUR LA NOURRITURE ?.....	31
3- INSECTES DANS L'ALIMENTATION.....	33
3-1 LE RÔLE DES INSECTES DANS LES RÉGIMES ALIMENTAIRES: RÉGIMES TRADITIONNELS	33
QUELLE EST L'IMPORTANCE DES INSECTES COMESTIBLES POUR L'APPORT EN PROTÉINES DANS LES RÉGIMES ALIMENTAIRES TRADITIONNELS ?.....	34
3-3 RÉGIME DURABLE.....	36
3-4 LES INSECTES COMESTIBLES DANS LES PROGRAMMES DE SECOURS D'URGENCE.....	36
4-SÉCURITÉ ET CONSERVATION DES ALIMENTS.....	38
4-1CONSERVATION ET STOCKAGE	39
4-2 CARACTÉRISTIQUES DES INSECTES, SÉCURITÉ ALIMENTAIRE ET COMPOSÉS ANTIMICROBIENS.....	41
4-2-1SÉCURITÉ MICROBIENNE	41
4-2-3CONTAMINATION INORGANIQUE.....	43

4-3 ALLERGIES.....	44
4-3-1 RÉACTIONS ALLERGIQUES AUX INSECTES COMESTIBLES.....	44

Chapitre IV:

insectes ravageurs des denrées stockées en algerie

1-LES PRINCIPAUX INSECTES RAVAGEURS DES DENREES STOCKEES EN ALGERIE.....	47
1-2 PRINCIPAUX INSECTES RAVAGEURS DES LÉGUMINEUSES ALIMENTAIRES EN ALGÈRE:INSECTES DE SOL.....	53
2-2.1 LA LUTTE CONTRE CES BIOAGRESSEURS PAR DES MÉTHODES NON CHIMIQUES COMME.....	54
2-2-2LA LUTTE CONTRE CES BIOAGRESSEURS PAR MÉTHODES CHIMIQUES.....	54

partie pratique

1-LES CHRYSOMELIDAE.....	57
1-1DEFINITION.....	57
1-2CRITERES DE DETERMINATION DES CHRYSOMELIDAE.....	57
LE ROLE DES CHRYSOMELIDAE.....	57
2/LES HISTERIDAE.....	57
3/LES PAPILLONS.....	58
3-1 DEFINITION.....	58
3-2QUEL EST LE ROLE DU PAPILLON ?.....	58
4/LES FORFICULES.....	58
4-1 DEFINITION	58
4-2EST-CE QUE LES PINCES OREILLES SONT DANGEREUX ?.....	58
4-3POURQUOI LES PINCES OREILLES DANS LA MAISON ?.....	58
4-4COMMENT SE DEBARRASSER DE PINCES OREILLES ?.....	58
Conclusion.....	60
Références Bibliographique.....	62

Liste des figures

Figure 01 :. L'utilisation proportionnelle de différents types d'aliments par les pisciculteurs ougandais

Figure 02 :. Nombre d'espèces d'insectes, par commande, consommées dans le monde.

Figure 03 : Nombre enregistré d'espèces d'insectes comestibles, par pays..:

Figure 04 : Scorpions à vendre.

Figure 05: Collactions et bonbons à vendre, Canada.

Figure 06 : Développer des aliments pour les systèmes aquacoles à partir de larves de mouches Soldats noires.

Figure 07 : Chenilles à vendre à Kinshasa, République Démocratique de Congo.

Figure 08 : Essais d'alimentation ave du magmeal fabriqué à partir de la mouche domestique commun.

Figure 09: Femelle de *Callosobruchus maculatus* sur une feuille.

Figure10 :emplacement des pièges

Figure11 :collecte des pièges

Figure12 :l'étiquage

Résumé :

Cet memoir évalue les insectes d'intérêt socio-économique et le potentiel des insectes en tant qu'aliments pour l'alimentation humaine et animale et rassemble les informations et les recherches existantes sur les insectes comestibles. L'évaluation est basée sur les données les plus récentes et les plus complètes disponibles auprès de diverses sources et experts dans notre pays (Algérie) et du monde entier.

Les insectes en tant qu'aliments pour l'alimentation humaine et animale apparaissent comme une question particulièrement pertinente au XXI^e siècle en raison de la hausse du coût des protéines animales, de l'insécurité alimentaire et fourragère, des pressions environnementales, de la croissance démographique et de la demande croissante de protéines parmi les classes moyennes. Ainsi, des solutions alternatives aux sources d'élevage et d'alimentation conventionnelles doivent être trouvées de toute urgence. La consommation d'insectes, ou entomophagie, contribue donc positivement à l'environnement, à la santé et aux moyens de subsistance.

Cette publication est née d'un petit effort en 2021 au Département de biologie animal documenter le rôle des insectes dans les pratiques de subsistance traditionnelles en algerie special et en Afrique centrale général et pour évaluer l'impact de la récolte des insectes dans leurs habitats naturels sur la durabilité des forêts.

LE ROLE DES INSECTES :

On estime que les insectes font partie de l'alimentation traditionnelle d'au moins 2 milliards de personnes. Plus de 1 900 espèces auraient été utilisées comme nourriture. Les insectes fournissent une foule de services écologiques qui sont fondamentaux pour la survie de l'humanité. Ils jouent également un rôle important en tant que pollinisateurs dans la reproduction des plantes, dans l'amélioration de la fertilité des sols grâce à la bioconversion des déchets et dans la lutte biologique naturelle contre les espèces nuisibles nuisibles, et ils fournissent une variété de produits précieux pour l'homme tels que le miel et la soie et des applications médicales telles que la mouche. thérapie. De plus, les insectes ont pris leur place dans les cultures humaines en tant qu'objets de collection et ornements et dans les films, les arts visuels et la littérature. À l'échelle mondiale, les insectes les plus couramment consommés sont les coléoptères (coléoptères) (31 %), les chenilles (lépidoptères) (18 %) et les abeilles, guêpes et fourmis (hyménoptères) (14 %). Viennent ensuite les sauterelles, les criquets et les grillons (Orthoptera) (13 pour cent), les cigales, les cicadelles, les cicadelles, les cochenilles et les vrais punaises (Hemiptera) (10 pour cent), les termites (Isoptera) (3 pour cent), les libellules (Odonata) (3 pour cent), mouches (Diptères) (2 pour cent) et autres ordres (5 pour cent).

CULTURE :

L'entomophagie est fortement influencée par les pratiques culturelles et religieuses, et les insectes sont couramment consommés comme source de nourriture dans de nombreuses régions du monde. Dans la plupart des pays occidentaux, cependant, les gens voient l'entomophagie avec dégoût et associent la consommation d'insectes à un comportement primitif. Cette attitude a conduit à négliger les insectes dans la recherche agricole. Malgré les références historiques à l'utilisation des insectes pour l'alimentation, le sujet de l'entomophagie n'a commencé que très récemment à attirer l'attention du public dans le monde entier.

LES INSECTES COMME RESSOURCE NATURELLE :

Les insectes comestibles habitent une grande variété d'habitats, des écosystèmes aquatiques et des terres agricoles aux forêts. Jusqu'à récemment, les insectes étaient une ressource apparemment inépuisable que l'on pouvait obtenir en les récoltant dans la nature. Cependant, certaines espèces d'insectes comestibles sont aujourd'hui en péril. Un certain nombre de facteurs anthropiques, tels que la surexploitation, la pollution, les incendies de forêt et la dégradation de l'habitat, ont contribué au déclin de nombreuses populations d'insectes comestibles. Le changement climatique affectera probablement la distribution et la disponibilité des insectes comestibles d'une manière qui est encore relativement méconnue. Cette publication comprend des études de cas de plusieurs régions sur les stratégies de conservation et les pratiques de semi-culture des populations rurales pour protéger les espèces d'insectes et leurs plantes hôtes. Ces efforts contribuent à améliorer la conservation de l'habitat.

OPPORTUNITÉS ENVIRONNEMENTALES :

Les avantages environnementaux de l'élevage d'insectes pour l'alimentation humaine et animale reposent sur l'efficacité élevée de conversion alimentaire des insectes. Les grillons, par exemple, n'ont besoin que de 2 kilogrammes de nourriture pour chaque kilogramme de gain de poids corporel. De plus, les insectes peuvent être élevés sur des flux latéraux organiques (y compris les déchets humains et animaux) et peuvent aider à réduire la contamination de l'environnement. On signale que les insectes émettent moins de gaz à effet de serre et moins d'ammoniac que les bovins ou les porcs, et qu'ils nécessitent beaucoup moins de terres et d'eau que l'élevage bovin. Par rapport aux mammifères et aux oiseaux, les insectes peuvent également présenter moins de risque de transmission d'infections zoonotiques aux humains, au bétail et à la faune, bien que ce sujet nécessite des recherches supplémentaires.

NUTRITION POUR LA CONSOMMATION HUMAINE :

Les insectes sont une source de nourriture très nutritive et saine avec une teneur élevée en matières grasses, protéines, vitamines, fibres et minéraux. La valeur nutritionnelle des insectes comestibles est très variable en raison du large éventail d'espèces d'insectes comestibles. Même au sein d'un même groupe d'espèces, la valeur nutritionnelle peut différer selon le stade métamorphique de l'insecte, l'habitat dans lequel il vit et son régime alimentaire. Par exemple, la composition en acides gras insaturés oméga-3 et six des vers de farine est comparable à celle du poisson (et plus élevée que celle des bovins et des porcs), et la teneur en protéines, vitamines et minéraux des vers de farine est similaire à celle du poisson et de la viande .

SYSTÈMES AGRICOLES :

La plupart des insectes comestibles sont récoltés dans la nature. Cependant, certaines espèces d'insectes, comme les abeilles et les vers à soie, ont une longue histoire de domestication en raison de la valeur de leurs produits. Les insectes sont également élevés en grand nombre à des fins de lutte biologique (par exemple, en tant que prédateurs et parasitoïdes), de santé (par exemple, la thérapie des asticots) et de pollinisation. Le concept d'élevage d'insectes pour l'alimentation est cependant relativement nouveau; un exemple d'élevage d'insectes pour la consommation humaine dans les

tropiques est l'élevage de grillons en République démocratique populaire lao, en Thaïlande et au Viet Nam.

Dans les zones tempérées, l'élevage d'insectes est pratiqué en grande partie par des entreprises familiales qui élèvent des insectes tels que les vers de farine, les grillons et les sauterelles en grande quantité, principalement comme animaux de compagnie ou pour les zoos. Certaines de ces entreprises n'ont pu commercialiser que récemment des insectes pour l'alimentation humaine et animale, et la part de leur production destinée à la consommation humaine directe est encore minime. Quelques entreprises à l'échelle industrielle sont à divers stades de démarrage pour l'élevage en masse d'insectes tels que les mouches soldats noires. Ils sont principalement destinés à la consommation sous forme d'insectes entiers ou à être transformés en farine pour l'alimentation animale. Les éléments critiques pour un élevage réussi comprennent la recherche sur la biologie, le contrôle des conditions d'élevage et les formules alimentaires pour les espèces d'insectes d'élevage. Les systèmes de production actuels sont chers, avec de nombreux brevets en instance. Un défi majeur d'un tel élevage à l'échelle industrielle est le développement de processus d'automatisation pour rendre les usines économiquement compétitives avec la production de viande (ou de substituts de viande comme le soja) à partir de sources traditionnelles d'élevage ou d'agriculture.

LES INSECTES COMME ALIMENT POUR ANIMAUX :

La forte demande récente et les prix élevés qui en résultent pour la farine de poisson/soja, ainsi que l'augmentation de la production aquacole, poussent de nouvelles recherches sur le développement de protéines d'insectes pour l'aquaculture et la volaille. Les produits alimentaires à base d'insectes pourraient avoir un marché similaire à la farine de poisson et au soja, qui sont actuellement les principaux composants utilisés dans les formules d'aliments pour l'aquaculture et le bétail. Les preuves disponibles suggèrent que les aliments à base d'insectes sont comparables aux formules d'aliments à base de farine de poisson et de soja. Les insectes vivants et morts ont déjà établi des marchés de niche, principalement comme aliments pour animaux de compagnie et dans les zoos.

SÉCURITÉ ET CONSERVATION DES ALIMENTS :

La transformation et le stockage des insectes et de leurs produits doivent suivre les mêmes réglementations sanitaires et sanitaires que pour tout autre aliment ou aliment traditionnel afin de garantir la sécurité alimentaire. En raison de leur composition biologique, plusieurs problèmes doivent être pris en compte, tels que la sécurité microbienne, la toxicité, l'appétence et la présence de composés inorganiques. Les implications sanitaires spécifiques doivent également être prises en compte lorsque les insectes destinés à l'alimentation sont élevés sur des déchets tels que le fumier ou les déchets d'abattoirs. Les preuves d'allergies induites par l'ingestion d'insectes sont rares, mais existent. Certains cas ont été rapportés de réactions allergiques aux arthropodes.

DEVELOPPEMENT ECONOMIQUE :

La cueillette et l'élevage d'insectes peuvent offrir des emplois et des revenus monétaires, soit au niveau des ménages, soit dans des opérations plus importantes à l'échelle industrielle. Dans les pays en développement d'Afrique australe et centrale et d'Asie du Sud-Est, où la demande d'insectes comestibles existe et où il est relativement facile d'amener des insectes sur le marché, le processus de

collecte, d'élevage et de transformation des insectes en aliments de rue ou en vente comme aliments pour poulets et poissons est facilement accessible aux petites entreprises. À quelques exceptions près, le commerce international d'insectes destinés à l'alimentation est insignifiant. Le commerce qui existe avec les pays développés est souvent motivé par la demande des communautés d'immigrants ou en raison du développement de marchés de niche qui vendent des aliments exotiques. Le commerce frontalier d'insectes comestibles est important, principalement en Asie du Sud-Est et en Afrique centrale

LEGISLATION :

Les cadres réglementaires régissant les chaînes de denrées alimentaires et d'aliments pour animaux se sont considérablement développés au cours des 20 dernières années; cependant, les réglementations régissant les insectes en tant que sources d'alimentation humaine et animale sont encore largement absentes. Pour les pays développés, l'absence de législation et de normes claires régissant l'utilisation des insectes comme denrées alimentaires et aliments pour animaux est l'un des principaux facteurs limitant le développement industriel de l'élevage d'insectes pour approvisionner les secteurs de l'alimentation humaine et animale. Dans les pays en développement, l'utilisation des insectes pour l'alimentation humaine ou animale est, en pratique, plus tolérée que réglementée. Le secteur de l'alimentation animale semble prendre l'initiative de pousser au développement de normes plus englobantes pour les insectes, tandis que le concept de «nouvel aliment» semble émerger comme un instrument de premier plan pour établir des règles et des normes pour l'utilisation des insectes dans l'alimentation humaine.

INTRODUCTION

INTRODUCTION:

La pratique consistant à manger des insectes (Encadré 1.1) est connue sous le nom d'entomophagie. De nombreux animaux, tels que les araignées, les lézards et les oiseaux, sont entomophages, tout comme de nombreux insectes. Partout dans le monde, les gens mangent des insectes dans le cadre de leur alimentation depuis des millénaires. Bien que cette pratique doive être qualifiée d'entomophagie humaine, tout au long de ce livre, l'entomophagie fait référence à l'entomophagie humaine. La première citation d'entomophagie se trouve dans la littérature biblique; néanmoins, manger des insectes était, et est toujours, tabou dans de nombreuses sociétés occidentalisées. La nature non conventionnelle de l'entomophagie a fait que l'élevage d'insectes pour l'alimentation humaine et animale a été largement absent des grandes innovations agricoles dans l'élevage qui ont émergé au cours des siècles passés - à quelques exceptions près, comme les abeilles, les vers à soie et les cochenilles (dont un rouge colorant est dérivé). Les insectes n'ont pas non plus figuré à l'ordre du jour des agences de recherche et de développement agricoles du monde entier, y compris à la FAO. Jusqu'à récemment, les références aux insectes pour l'alimentation humaine et animale étaient largement anecdotiques. Il n'est donc pas surprenant que les insectes manquent encore dans l'alimentation de nombreux pays riches et que leur vente pour la consommation humaine continue de faire partie d'un secteur alimentaire de niche des collations de fantaisie.

Néanmoins, manger des insectes n'est pas un nouveau concept dans de nombreuses régions du monde. Des fourmis et des larves de coléoptères - consommées par les tribus d'Afrique et d'Australie dans le cadre de leur régime alimentaire de subsistance - aux criquets et coléoptères frits croustillants appréciés en Thaïlande, on estime que la consommation d'insectes est pratiquée régulièrement par au moins 2 milliards de personnes. à l'échelle mondiale. Plus de 1 900 espèces d'insectes ont été documentées dans la littérature comme comestibles, la plupart d'entre elles : dans les pays tropicaux. Les groupes d'insectes les plus couramment consommés sont les coléoptères, les chenilles, les abeilles, les guêpes, les fourmis, les sauterelles, les criquets, les grillons, les cigales, les cicadelles, les cochenilles et les vrais insectes, les termites, les libellules et les mouches.

Encadré 1. 1

Que sont les insectes

Les insectes sont une classe d'animaux du groupe des arthropodes qui ont un exosquelette chitineux, un corps en trois parties (tête, thorax et abdomen), trois paires de pattes articulées, des yeux composés et deux antennes. Ils font partie des groupes d'animaux les plus diversifiés de la planète : il existe plus d'un million d'espèces décrites, soit plus de la moitié de tous les organismes vivants connus. Le nombre total d'espèces est estimé entre 6 et 10 millions, et la classe représente potentiellement plus de 90% des différentes formes de vie animale sur Terre. Les insectes peuvent être trouvés dans presque tous les environnements, bien que seul un petit nombre d'espèces se produisent dans les océans, un habitat dominé par un autre groupe d'arthropodes, les crustacés.

FAITES SUR LES INSECTES:

- Les insectes ont un exosquelette pour les protéger de l'environnement.
- Les insectes sont les seuls invertébrés ailés.

Continue

- Les insectes ont le sang froid.
- Les insectes se métamorphosent pour pouvoir s'adapter aux variations saisonnières.
- Les insectes se reproduisent rapidement et ont de grandes populations.
- Les systèmes respiratoires des insectes - réseaux de tubes trachéaux - tolèrent l'air et la dépression, vol à haute altitude et rayonnement.
- Les insectes n'ont souvent pas besoin de soins parentaux

source: delong,1960

I

Partie Bibliographique

Chapitre I
Généralité

1-GENERALITE SUR LES INSECTES :

1-1 QUE SONT LES INSECTES : Le mot insecte dérive du mot latin insectum, signifiant "avec un corps entaillé ou divisé", littéralement "coupé en sections", du fait que le corps des insectes a trois parties. Pline l'Ancien a créé le mot, traduisant le mot grec έντομος (entomos) ou insecte (comme en entomologie, qui était le terme d'Aristote pour cette classe de vie), également en référence à leurs corps "encochés". Le terme a été documenté pour la première fois en anglais en 1601 dans la traduction hollandaise de Pline (**Harpe et McCormack, 2001**).

Les insectes sont une classe d'animaux du groupe des arthropodes qui ont un exosquelette chitineux, un corps en trois parties (tête, thorax et abdomen), trois paires de pattes articulées, des yeux composés et deux antennes. Ils font partie des groupes d'animaux les plus diversifiés de la planète : il existe plus d'un million d'espèces décrites, soit plus de la moitié de tous les organismes vivants connus. Le nombre total d'espèces est estimé entre 6 et 10 millions, et la classe représente potentiellement plus de 90 % des différentes formes de vie animale sur Terre. Les insectes peuvent être trouvés dans presque tous les environnements, bien que seul un petit nombre d'espèces se produisent dans les océans, un habitat dominé par un autre groupe d'arthropodes, les crustacés.

1-2 INSECTES D'ÉLEVAGE

1-2-1 DÉFINITIONS ET CONCEPTS :

Au sens large, l'agriculture comprend l'élevage à la fois d'animaux (élevage) et de plantes (agronomie, horticulture et foresterie en partie) (FAO, 1997b). Le concept d'élevage d'insectes est cependant relativement nouveau dans les milieux du développement, y compris la FAO. Les insectes sont élevés dans une zone désignée (c'est-à-dire une ferme) et les conditions de vie, le régime alimentaire et la qualité des aliments des insectes sont contrôlés. Les insectes d'élevage sont gardés en captivité, ou « en ranch », et sont ainsi isolés de leurs populations naturelles.

Les mots élevage et éleveur sont souvent confondus. Le mot élevage est plus souvent utilisé en élevage qu'en entomologie. Strictement parlant, l'élevage fait référence à l'entretien des animaux, tandis que l'éleveur fait référence à leur reproduction. La reproduction fait souvent référence à la production d'une meilleure progéniture, c'est-à-dire à l'amélioration génétique du stock en sélectionnant des spécimens dans une population présentant certaines caractéristiques souhaitées. Mais garder des insectes dans des conditions confinées peut également avoir un effet génétique sur les populations par la dépression de consanguinité, l'effet fondateur, la dérive génétique et l'adaptation en laboratoire, de sorte qu'ils ne ressemblent souvent plus beaucoup aux populations sauvages.

La distinction entre bétail et mini-élevage n'est pas toujours claire : le mini-élevage implique de petits animaux élevés à des fins domestiques ou lucratives (et non comme animaux de compagnie), en particulier dans une ferme. Il peut s'agir de petits mammifères, d'amphibiens, de reptiles ou d'invertébrés, dont des insectes (**Paoletti, 2005**). Selon **Hardouin (1995)**, « ces espèces animales comprennent à la fois des vertébrés et des invertébrés, qui peuvent être terrestres ou aquatiques par nature, mais d'un poids généralement inférieur à 20 kg, et que ces animaux doivent avoir un bénéfice potentiel, que ce soit sur le plan nutritionnel ou économique ». Inversement, le bétail désigne

généralement les bovins, la volaille, les moutons, les lamas, les alpagas, les chèvres, les chameaux, les chevaux

2- ÉLEVAGE D'INSECTES :

La plupart des insectes comestibles sont récoltés dans la nature, mais quelques espèces d'insectes ont été domestiquées en raison de leurs produits de valeur commerciale. Les vers à soie et les abeilles en sont les exemples les plus connus. La sériciculture - la pratique d'élevage de vers à soie pour la production de soie grège - a ses origines en Chine et remonte à 5 000 ans. La forme domestiquée a augmenté la taille du cocon, le taux de croissance et l'efficacité de la digestion, et est habituée à vivre dans des conditions de surpeuplement. L'adulte ne peut plus voler et l'espèce est complètement dépendante de l'homme pour sa survie. Les larves d'abeilles et les pupes de vers à soie sont consommées comme sous-produits (encadré 8.1). De plus, certaines espèces d'insectes sont élevées pour l'industrie des aliments pour animaux de compagnie. Par exemple, les vers de farine et les grillons sont principalement élevés comme aliments pour animaux de compagnie en Europe, en Amérique du Nord et dans certaines parties de l'Asie.

2-1-ÉLEVAGE D'INSECTES POUR LA CONSOMMATION HUMAINE :

2-1-1 LES ZONES TEMPEREES :

Dans les zones tempérées, l'élevage d'insectes est en grande partie réalisé par des entreprises familiales qui élèvent des insectes tels que les vers de farine, les grillons et les sauterelles en grande quantité pour l'alimentation des animaux domestiques. Parce que les espèces sont fréquemment élevées dans des espaces clos et confinés, le contrôle du climat est souvent appliqué, car des températures élevées peuvent provoquer la dessiccation des larves à corps mou.

L'élevage de grandes quantités d'insectes, soit pour la consommation sous forme d'insectes entiers et/ou sous forme d'extraits protéiques, est possible dans les pays industrialisés. Les éléments critiques pour un élevage réussi comprennent une meilleure connaissance de la biologie, des conditions d'élevage et de la formulation d'un régime artificiel (**Wang et al., 2004, Feng et Chen, 2009 ; Schneider, 2009**). Les régimes alimentaires peuvent être modifiés pour augmenter la valeur nutritionnelle (**Anderson, 2000**) et l'adaptation du régime d'éclairage peut optimiser la production ; par exemple, exposer les grillons à 24 heures de lumière par jour peut augmenter la production de grillons (**Collavo et al., 2005**). De telles questions justifient des recherches plus approfondies.

Protéines d'insectes dans l'espace

Il a été suggéré que les insectes pourraient être utilisés comme source de protéines dans les vols spatiaux. Des scientifiques en Chine, au Japon et aux États-Unis étudient sérieusement cette ressource alimentaire pour les voyages dans l'espace et son utilisation dans les stations spatiales. La Chine envisage de construire un modèle terrestre

d'un système de support de vie bio-régénératif qui utilise des vers à soie (**DeFoliart, 1989 ; Katayama et al., 2008 ; Hu, Bartsev et Liu, 2010**). Des espèces comme *Agrius convolvuli*, *Stegobium paniceum* et *Macrotermes subhyalinus* ont également été proposées (**Katayama et al., 2005**).

2-2 ELEVAGE D'INSECTES POUR L'ALIMENTATION

Les insectes sont beaucoup plus efficaces pour convertir les aliments en poids corporel que le bétail conventionnel et sont particulièrement précieux car ils peuvent être élevés sur des flux de déchets organiques (par exemple, des lisiers d'animaux). La recherche sur l'élevage d'insectes pour l'alimentation humaine et animale à grande échelle reste une priorité. Les systèmes de production actuels sont encore trop chers. Une étude aux Pays-Bas (**Meuwissen, 2011**) a suggéré que la production de vers de farine coûte encore 4,8 fois plus cher que l'alimentation normale des poulets. En particulier, les coûts de main-d'œuvre et de logement pour les installations de production d'aliments à grande échelle sont beaucoup plus élevés pour les insectes que pour la production d'aliments pour poulets.

2-3 RECOMMANDATIONS SUR L'ÉLEVAGE D'INSECTES

La réunion de consultation d'experts sur l'évaluation du potentiel des insectes en tant qu'aliments pour l'alimentation humaine et animale pour assurer la sécurité alimentaire, qui s'est tenue au siège de la FAO à Rome en janvier 2012, a formulé des recommandations pour l'élevage d'insectes, y compris des suggestions sur les espèces et la collecte de souches ; production domestique; formation en élevage d'insectes; le choix, le coût et la fiabilité des matières premières ; questions de sécurité, de santé et d'environnement; et les enjeux stratégiques pour les éleveurs d'insectes à l'échelle industrielle.

2-3-1 COLLECTE D'ESPECES ET DE SOUCHES POUR L'ALIMENTATION HUMAINE ET ANIMALE

La réunion de consultation d'experts a convenu que les pratiques d'élevage dans les pays tropicaux devraient employer des espèces locales car elles ne présentent pratiquement aucun risque pour l'environnement, il n'y a pas besoin de contrôle du climat, et ces espèces locales sont susceptibles d'être mieux acceptées culturellement. Les critères de sélection doivent porter sur la facilité d'élevage, le goût, la couleur et l'aptitude à l'alimentation. Dans les zones tempérées, il convient d'utiliser des espèces cosmopolites comme le grillon domestique (*Acheta domesticus*) ou celles qui ne présentent pas de risques environnementaux.

La production à l'échelle industrielle a été définie lors de la réunion comme une portée minimale de 1 tonne par jour d'insectes de poids frais. Les espèces destinées à la production de masse devraient en outre posséder certaines caractéristiques, notamment un taux d'accroissement intrinsèque élevé; un cycle de développement court ; survie élevée des immatures et taux de ponte élevé; un potentiel élevé d'augmentation de la biomasse par jour (c'est-à-dire un gain de poids par jour); un taux de conversion élevé (kg de biomasse gagnée par kg de matière première) ; la capacité à vivre dans des densités élevées (kg de biomasse par m²) ; et faible vulnérabilité aux maladies (résistance élevée). De bons candidats ont été considérés comme la mouche soldat noire (*Hermetia illuscens*) pour l'alimentation et le ver de farine jaune (*Tenebrio molitor*) pour l'alimentation humaine et animale. En raison de la vulnérabilité des systèmes de production, une forte dépendance à l'égard d'une seule espèce est déconseillée. Enfin, il a été recommandé de préserver les lignées génétiques parentales en cas de crash de culture.

3-LES INSECTES COMME ALIMENTS POUR ANIMAUX

3-1-APERCU

En 2011, la production mondiale combinée d'aliments pour animaux était estimée à 870 millions de tonnes, les revenus de la fabrication commerciale mondiale d'aliments pour animaux générant environ 350 milliards de dollars américains à l'échelle mondiale. La FAO estime que la production devra augmenter de 70 pour cent pour pouvoir nourrir le monde en 2050, les productions de viande (volaille, porc et bœuf) devant doubler (IFIF, 2012). Malgré cela, peu de choses ont été dites sur les opportunités qu'offrent les insectes en tant que sources d'alimentation (Encadré 3.1). À l'heure actuelle, les ingrédients des aliments pour animaux et pour poissons comprennent la farine de poisson, l'huile de poisson, le soja et plusieurs autres céréales.

Les coûts prohibitifs des aliments pour animaux, y compris la farine de viande, la farine de poisson et la farine de soja, qui représentent 60 à 70 % des coûts de production, constituent une contrainte majeure à la poursuite du développement. Un autre problème est l'élimination du fumier, qui devient un grave problème environnemental; il n'est pas rare que de grandes quantités de fumier soient stockées dans des parcs à ciel ouvert, grouillant de mouches.

Encadrée 3.1

Fédération internationale de l'industrie de l'alimentation animale et FaO : à la recherche de nouvelles protéines sûres

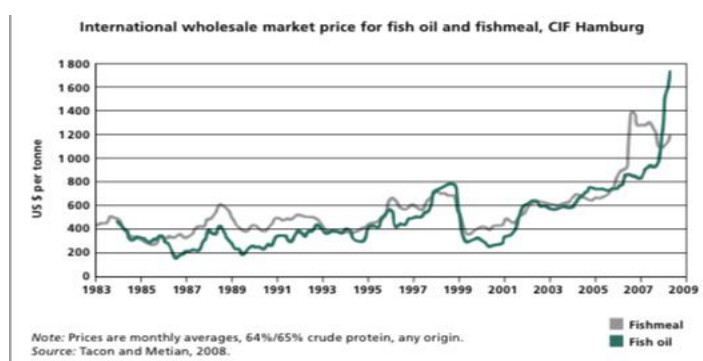
La Fédération internationale de l'industrie de l'alimentation animale (IFIF) est une organisation mondiale mandatée pour jouer un rôle de coordination dans la promotion de l'approvisionnement durable d'aliments sûrs et sains dans l'industrie mondiale de l'alimentation animale. Sa fonction est d'une importance fondamentale dans les pays en développement, en particulier là où les associations et les secteurs nationaux de l'alimentation animale sont faibles ou inexistants. À la fin des années 1990, l'IFIF a reçu le statut d'organisation non gouvernementale (ONG) du Codex Alimentarius, ce qui était une première étape vers l'amélioration de la manière dont le gouvernement réglemente l'industrie. Pendant ce temps, l'IFIF a commencé à développer une relation de travail étroite avec la FAO. La participation aux réunions du Codex et de la FAO a permis à l'IFIF de suivre l'élaboration et l'harmonisation des codes, normes et pratiques internationaux qui affectent les fabricants d'aliments du monde entier. Plus précisément, l'IFIF a élaboré le Code d'usages du Codex pour une bonne alimentation animale ; participé au groupe de travail électronique du Codex sur l'alimentation animale; soutenu une consultation d'experts de la FAO sur les sources de protéines pour l'industrie de l'alimentation animale ; et a développé le Congrès mondial biennuel conjoint sur l'alimentation et l'alimentation. De plus, en collaboration avec la FAO, l'IFIF a élaboré un manuel de bonnes pratiques pour l'industrie de l'alimentation animale et a établi un point de rencontre pour les associations d'alimentation animale et les régulateurs d'alimentation lors d'une réunion annuelle internationale des régulateurs d'alimentation animale. L'IFIF est convaincu que des avancées scientifiques et technologiques solides feront une différence pour garantir que les aliments sont sûrs, abondants et abordables pour tous.

Les prix de la farine de poisson sont en hausse (graphique 3.1). L'augmentation de la demande en 2010 et 2011 a entraîné une forte hausse des prix et, bien que la demande ait fléchi fin 2011 et début 2012, les prix restent élevés. Pour les petits agriculteurs, cela signifie que la farine de poisson est moins accessible. Dans le même temps, l'aquaculture est le secteur de production d'aliments pour

animaux qui connaît la croissance la plus rapide et devra se développer de manière durable pour répondre à la demande croissante de poisson.

À l'heure actuelle, environ 10 pour cent de la production mondiale de poisson sont destinés à la farine de poisson (c'est-à-dire du poisson entier ou des restes de poisson résultant de la transformation) et sont principalement utilisés en aquaculture (FAO, 2012b). L'Amérique du Sud est le plus grand producteur de farine de poisson, grâce à ses prises de anchois. Les captures d'anchois sont très variables car dépendantes du cycle climatique El Niño. La production (prises) a culminé à 12,5 millions de tonnes en 1994, mais est tombée à 4,2 millions de tonnes en 2010 et devrait encore baisser.

Les insectes ont un marché similaire à la farine de poisson ; ils sont utilisés comme aliments pour l'aquaculture et le bétail et également utilisés dans l'industrie des animaux de compagnie. La forte demande récente et les prix élevés qui en résultent pour la farine de poisson, ainsi que la pression croissante de la production sur l'aquaculture, ont conduit à des recherches sur le développement de protéines d'insectes pour l'aquaculture et l'élevage (qui pourraient éventuellement compléter la farine de poisson). Pendant ce temps, l'aquaculture se développe et la farine de poisson diminue rapidement en tant que source d'alimentation (Encadré 7.2) en raison de la diminution de l'offre de poisson pêché industriellement en raison de quotas plus stricts, de contrôles supplémentaires sur la pêche non réglementée et d'une utilisation accrue de substituts alimentaires de farine de poisson plus rentables (FAO, 2012b). La recherche de protéines alternatives et durables est un enjeu majeur qui nécessite des solutions viables à court terme, faisant des insectes une option alimentaire de plus en plus activés



3-2VOLAILLES ET POISSONS NOURRIS AVEC DES INSECTES

Les insectes sont des sources de nourriture naturelles pour de nombreux poissons et volailles. Les poulets, par exemple, peuvent être trouvés en train de cueillir des vers et des larves dans la couche arable et la litière où ils marchent. Il y a aussi une raison pour laquelle les asticots sont utilisés comme appâts dans la pêche récréative. Compte tenu du rôle naturel des insectes comme nourriture pour un certain nombre d'espèces de bétail d'élevage, il convient de reconsidérer leur rôle comme nourriture pour des espèces spécifiques de volaille et de poisson (encadré 3.2)

Quels insectes sont actuellement utilisés en alimentation animale ?

Le système d'information sur les ressources en alimentation animale de la FAO (maintenant appelé Feedipedia) fournit des informations sur l'utilisation des insectes comme aliments pour animaux et poissons, y compris des insectes tels que le criquet pèlerin (*Schistocerca gregaria*), les asticots de la mouche domestique commune (*Musca domestica*) et le ver à soie

domestique (*Bombyx mori*) . Des informations sur la source, la transformation, les directives d'alimentation, les expériences d'alimentation, les directives d'alimentation et les caractéristiques des nutriments sont disponibles dans la catégorie « produits d'origine animale ».

Cependant, de nombreuses autres espèces d'insectes peuvent également être bien adaptées à la production d'aliments à l'échelle industrielle, comme les coléoptères, qui sont actuellement élevés par des collectionneurs d'ornements.

3.2.1 LA VOLAILLE

L'industrie de la volaille s'est développée rapidement dans les pays en développement au cours des deux dernières décennies. Sauterelles, grillons, cafards, termites, poux, punaises, cigales, pucerons, cochenilles, psylles, coléoptères, chenilles, mouches, puces, abeilles, guêpes et fourmis ont tous été utilisés comme sources alimentaires complémentaires pour la volaille (**Ravindran et Blair, 1993**). Dans les pays en développement, les protéines animales et végétales fournissent les acides aminés (par exemple la lysine, la méthionine et la cystine) dans l'alimentation des volailles. Les ingrédients d'origine animale riches en protéines sont généralement constitués de poisson et de viande ou de farine de sang importés, tandis que les ressources d'origine végétale comprennent les tourteaux et les légumineuses importés. Les termites auraient été utilisés comme aliments pour les poulets et les pintades au Togo et au Burkina Faso (voir section 2.3) (**Iroko, 1982 ; Farina, Demey et Hardouin, 1991**).

La chitine, un polysaccharide présent dans l'exosquelette des insectes, peut avoir un effet positif sur le fonctionnement du système immunitaire (voir rubrique 10.3). En donnant des insectes aux poulets, l'utilisation d'antibiotiques dans l'industrie avicole – qui peut entraîner une infection humaine par des souches bactériennes résistantes aux médicaments (encadré 3.3) – peut être réduite

Encadré3.3

consommation de poulet conduisant à une infection humaine par des souches esBL hautement résistantes aux médicaments

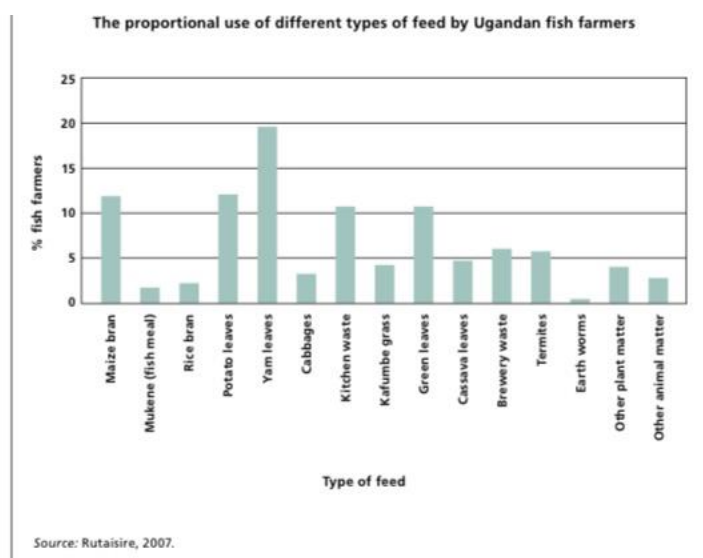
Aux Pays-Bas, des patients souffrant d'infections urinaires ou sanguines graves ont été évalués. un sur cinq de ces patients était infecté par une bactérie BLSE (bêta-lactamase à spectre étendu) génétiquement identique aux bactéries

trouvé dans le poulet. Les souches de bactéries contenant des BLSE produisent des enzymes qui provoquent une résistance aux antibiotiques comme la pénicilline et les céphalosporines. Deux bactéries - *Escherichia coli* et *Klebsiella pneumoniae* - produisent le plus souvent des enzymes BLSE. Environ 35 % des isolats humains contenaient des gènes BLSE associés à la volaille.

L'utilisation d'antibiotiques est plus élevée dans l'industrie avicole néerlandaise que dans tout autre pays européen ; par conséquent, la prévalence des BLSE est proportionnellement élevée. L'étude a également révélé que presque tous (94 pour cent) les poulets des supermarchés néerlandais et des élevages de volailles sont infectés par des bactéries BLSE, probablement en raison de l'utilisation courante d'antibiotiques dans leur alimentation. Des recherches sont nécessaires pour déterminer si l'alimentation des poulets avec des insectes (contenant de la chitine) rendra superflue l'utilisation d'antibiotiques en renforçant le système immunitaire.

3-4 POISSON

Les insectes en tant que sources d'alimentation des poissons restent sous-estimés dans la plupart des régions du monde. En Ouganda, une vaste gamme d'ingrédients sont utilisés comme aliments pour poissons, notamment des légumes, de l'herbe les céréales, les sons de céréales, les tourteaux de graines oléagineuses, les déchets industriels



et de cuisine et les farines de poisson, ainsi que les insectes (Figure 3.4)). La disponibilité de la plupart de ces ingrédients est saisonnière (**Rutaisire, 2007**). Cinq pour cent des agriculteurs utilisent les termites pour nourrir les poissons – soit en récoltant les termites directement, soit en les achetant à des collecteurs au prix de 0,27 USD/kg – de mars à avril et d'août à septembre. La quantité disponible dépend en grande partie du nombre et de la taille des termitières sur la ferme, de l'intensité du clair de lune et des espèces de termites. En moyenne, une termitière produit environ 50 kg par an. En Asie du Sud-Est, il est très courant de suspendre des lampes fluorescentes au-dessus des étangs à poissons. La lumière attire les insectes qui, du fait de leur reflet dans l'eau, tombent dans l'étang où ils sont mangés par les poissons. Les criquets sans ailes et les criquets (qui ne peuvent pas flotter) sont également utilisés comme appâts pour les poissons, tout comme les larves et les pupes de fourmis (par exemple *Oecophylla smaragdina* en République démocratique populaire lao) (**J. Van Itterbeeck, communication personnelle, 2012**).

Chapitre II :
Le rôle des insectes-socio-économiques

1 LE RÔLE DES INSECTES SOCIO-ÉCONOMIQUES

1-1 RÔLE BÉNÉFIQUE DES INSECTES SOCIO ECONOMIQUES POUR LA NATURE ET L'HOMME

Au cours des 400 derniers millions d'années, l'évolution a produit une grande variété d'espèces d'arthropodes adaptées à leur environnement. Environ 1 million des 1,4 million d'espèces animales décrites sur terre sont des insectes, et on pense que des millions d'autres existent. Contrairement aux idées reçues, sur le million d'espèces d'insectes décrites, seules 5 000 peuvent être considérées comme nuisibles pour les cultures, le bétail ou les êtres humains (**Van Lenteren, 2006**).

1-1-1 BÉNÉFICES POUR LA NATURE

Les insectes fournissent une foule de services écologiques essentiels à la survie de l'humanité. Par exemple, les insectes jouent un rôle important dans la reproduction des plantes. Environ 100 000 espèces de pollinisateurs ont été identifiées et presque toutes (98 pour cent) sont des insectes (**Ingram, Nabhan et Buchmann, 1996**). Plus de 90 pour cent des 250 000 espèces de plantes à fleurs dépendent des pollinisateurs. Cela est également vrai pour les trois quarts des 100 espèces de cultures qui génèrent la majeure partie de la nourriture mondiale (**Ingram, Nabhan et Buchmann, 1996**). Les abeilles domestiquées pollinisent à elles seules environ 15 % de ces espèces. L'importance de ce service écologique pour l'agriculture et la nature plus généralement est incontestable.

Les insectes jouent un rôle tout aussi vital dans la biodégradation des déchets. Les larves de coléoptères, les mouches, les fourmis et les termites nettoient la matière végétale morte, décomposant la matière organique jusqu'à ce qu'elle soit apte à être consommée par les champignons et les bactéries. De cette façon, les minéraux et les nutriments des organismes morts deviennent facilement disponibles dans le sol pour être absorbés par les plantes. Les carcasses d'animaux, par exemple, sont consommées par les asticots et les larves de coléoptères. Les bousiers – dont il existe environ 4 000 espèces connues – jouent également un rôle important dans la décomposition du fumier. Ils peuvent coloniser un tas de fumier en 24 heures, empêchant les mouches de se développer dessus. Si les excréments restent à la surface du sol, environ 80 % de l'azote est perdu dans l'atmosphère ; la présence de bousiers, cependant, signifie que le carbone et les minéraux sont recyclés dans le sol, où ils se décomposent davantage en humus pour les plantes. Lorsque le bétail a été introduit en Australie en 1788, la biodégradation des déchets est devenue un problème immédiat, car les bousiers endémiques étaient tout simplement insuffisants pour décomposer les quantités accrues de fumier. Les bousiers australiens s'étaient adaptés aux excréments de marsupiaux (par exemple les kangourous), qui diffèrent des excréments de bovins de diverses manières, notamment par la taille, la texture et la teneur en eau (**Bornemissza, 1976**). L'Australian Dung Beetle Project a été lancé pour résoudre le problème, et des bousiers ont été introduits sur le continent depuis l'Afrique du Sud, l'Europe et Hawaï (sur 46 espèces introduites, 23 établies).

La faune bénéfique, y compris les insectes, renforce la résistance naturelle des agro-écosystèmes. Les insectes nuisibles ont un large éventail d'ennemis naturels, de prédateurs et de parasitoïdes, ce qui les maintient sous les seuils économiques. Cependant, en utilisant des insecticides, les insectes bénéfiques vulnérables peuvent être tués plus rapidement que l'insecte nuisible ciblé. L'une des raisons en est que le ravageur ciblé est souvent mieux protégé (comme les foreurs de tige par la tige et les acariens par les toiles) que les insectes bénéfiques, qui ont besoin de se nourrir. Suite à

l'application d'un pesticide de synthèse, la population de l'insecte ravageur diminue d'abord puis augmente de façon exponentielle, car l'insecte ravageur peut désormais se développer sans être gêné par les attaques d'insectes auxiliaires. Un exemple notoire de ceci est l'apparition de la cicadelle brune dans le riz provoquée par l'utilisation de pesticides (**Heinrichs et Mochida, 1984**).

Pratiquement tous les agro-écosystèmes bénéficient des insectes car ils peuvent contrôler naturellement les espèces de ravageurs nuisibles. Le nombre d'insectes qui parasitent ou s'attaquent à d'autres insectes est vaste. Dix pour cent de tous les insectes sont des parasitoïdes (**Godfray, 1994**). Des ordres entiers d'insectes - comme les Odonota (libellules) et les Neuroptères (insectes à ailes nettes comme les chrysopes et les fourmiliers) - sont des prédateurs. Un grand pourcentage de vrais insectes (hémiptères), coléoptères (coléoptères), mouches (diptères) et guêpes, abeilles et fourmis (hyménoptères) sont également des prédateurs. Le nombre d'espèces d'insectes bénéfiques dans l'agro-écosystème moyen dépasse généralement de loin le nombre d'espèces d'insectes nuisibles. Par exemple, dans une étude menée dans un seul agro-écosystème de rizières en Indonésie, **Settle et al. (1996)** ont recensé 500 espèces d'insectes bénéfiques et 130 espèces de ravageurs. 150 autres espèces d'insectes ont été jugées «neutres» car elles n'attaquent pas le riz, bien qu'elles aient joué un rôle très important dans la survie des prédateurs lorsque le riz manquait. Les coléoptères ont également été utilisés pour contrôler les invasions de jacinthes d'eau. Les coléoptères du museau (*Neochetina* spp.), importés d'Australie, ont contrôlé avec succès la jacinthe d'eau dans le lac Victoria (**Wilson et al., 2007**).

1-1-2 RÔLES BÉNÉFIQUES DES INSECTES POUR L'HOMME

En plus de servir de sources de nourriture, les insectes fournissent aux humains une variété d'autres produits de valeur (encadré 2.2). Le miel et la soie sont les produits d'insectes les plus connus. Les abeilles livrent environ 1,2 million de tonnes de miel commercial par an (FAO, 2009b), tandis que les vers à soie produisent plus de 90 000 tonnes de soie (**Yong-woo, 1999**). Le carmin, un colorant rouge produit par les cochenilles (ordre des hémiptères), est utilisé pour colorer les aliments, les textiles et les produits pharmaceutiques. La résiline, une protéine caoutchouteuse qui permet aux insectes de sauter, a été utilisée en médecine pour réparer les artères en raison de ses propriétés élastiques (**Elvin et al., 2005**). D'autres applications médicales incluent la thérapie contre les asticots et l'utilisation de produits apicoles - tels que le miel, la propolis, la gelée royale et le venin - dans le traitement des plaies et des brûlures traumatiques et infectées (**van Huis, 2003a**).

Les insectes ont également inspiré la technologie et les méthodes d'ingénierie. Les protéines de soie des arthropodes (par exemple les araignées) sont solides et élastiques et ont été utilisées comme biomatériaux (**Lewis, 1992**). La structure unique de la soie, sa biocompatibilité avec les systèmes vivants,

sa fonction d'outil pour l'ingénierie des nouveaux matériaux et sa stabilité thermique ne sont que quelques-unes des caractéristiques qui en font un matériau prometteur pour de nombreuses fonctions cliniques (**Vepari et Kaplan, 2007**). Par exemple, les chercheurs ont inséré le gène de la soie dragline d'une araignée dans l'ADN de chèvre de telle manière que les chèvres fabriquent la protéine de soie dans leur lait. Ce « lait de soie » pourrait ensuite être utilisé pour fabriquer un matériau semblable à une toile. Le chitosane, un matériau dérivé de la chitine qui constitue l'exosquelette des insectes, a également été considéré comme un potentiel polymère biosourcé intelligent et biodégradable pour les emballages alimentaires. Un tel emballage naturel utilisant la "peau"

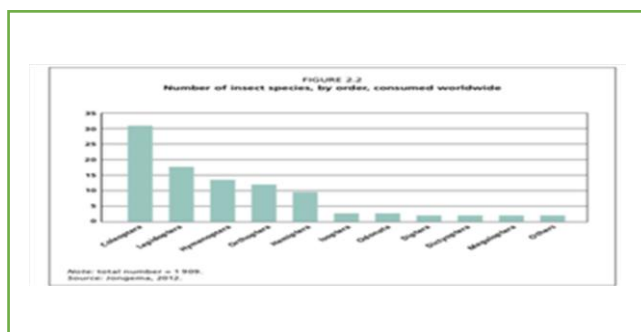
d'insectes peut acclimater l'environnement interne, protégeant le produit des altérations alimentaires et des micro-organismes. En particulier, le chitosane peut stocker des antioxydants et présente une activité antimicrobienne contre les bactéries, les moisissures et les levures (Cutter, 2006 ; Portes et al., 2009). Cependant, le polymère de chitosane est sensible à l'humidité et pourrait donc être peu pratique sous sa forme 100 % naturelle (Cutter, 2006). Les termitières et leur réseau complexe de tunnels et de systèmes de ventilation servent de modèles utiles pour la construction de bâtiments dans lesquels la qualité de l'air, la température et l'humidité peuvent être régulées efficacement (Turner et Soar, 2008). S'appuyer sur la nature – ou plutôt l'imiter – pour résoudre des problèmes humains s'appelle le biomimétisme.

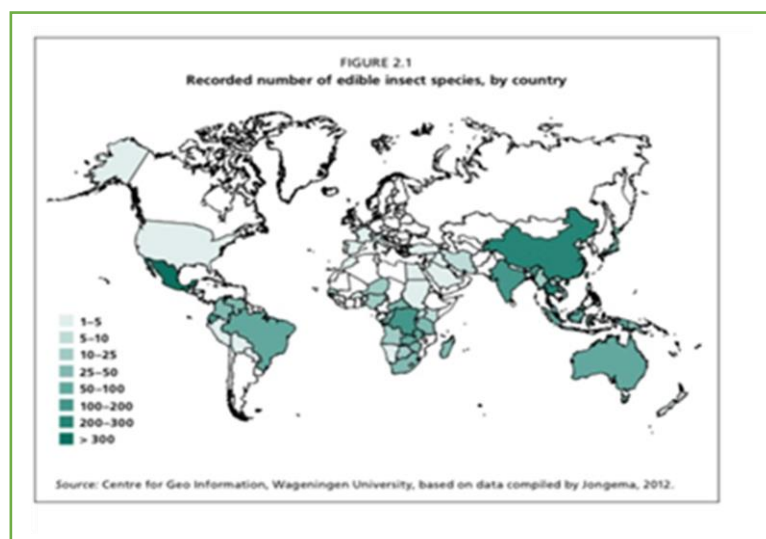
La branche de l'entomologie - ou l'étude scientifique des insectes - qui explore l'influence des insectes sur la culture (par exemple, la langue, la littérature, l'art et la religion) est connue sous le nom d'entomologie culturelle (Encadré 2.3) (Hogue, 1987). Les contributions de ce domaine ont permis de mettre en évidence le rôle distinct que les insectes ont assumé dans la littérature (en particulier les livres pour enfants), les films et les arts visuels, ainsi que leur place en tant qu'objets de collection, ornements et plus généralement comme source d'inspiration pour l'expression créative.

2- L'ENTOMOPHAGIE DANS LE MONDE

2.1 NOMBRE D'ESPÈCES D'INSECTES COMESTIBLES IDENTIFIÉS

Fournir des chiffres définitifs sur le nombre d'espèces d'insectes comestibles dans le monde est difficile pour plusieurs raisons. Premièrement, il est peu probable qu'un profane décrive un insecte par sa nomenclature linnéenne, ce qui rend les estimations officielles difficiles. Les choses sont compliquées par l'utilisation dans de nombreuses cultures de plus d'un nom vernaculaire - également appelé ethnospécies - pour la même espèce d'insecte. En utilisant uniquement les noms latins et en corrigeant les synonymes, Yde Jongema de WUR a réalisé un inventaire mondial à l'aide de la littérature, y compris des pays occidentaux et des régions tempérées, et a répertorié 1 900 espèces d'insectes comestibles dans le monde en avril 2012. Des estimations inférieures existent. De Foliart (1997) a dénombré un « faible » 1 000 espèces, tandis que Ramos Elorduy (2005) a noté « au moins » 1 681 espèces. Des estimations régionales et nationales ont également été faites : van Huis (2005) a identifié 250 espèces comestibles en Afrique ; Ramos Elorduy et al. (2008) ont répertorié 549 espèces au Mexique (bien que Cerritos, 2009, n'ait signalé que 177 espèces dans le pays) ; en Chine, Chen et al. (2009) ont documenté 170 espèces ; Young-Aree et Viwatpanich (2005) ont signalé 164 espèces en République démocratique populaire lao, au Myanmar, en Thaïlande et au Viet Nam ; et Paoletti et Dufour (2005) ont estimé que 428 espèces étaient consommées comme nourriture en Amazonie (Figure 2.1).





2-2 PRINCIPAUX GROUPES D'INSECTES COMESTIBLES

À l'échelle mondiale, les insectes les plus couramment consommés sont les coléoptères (Coléoptères) (31 %) (voir Figure 2.2). Ce n'est pas surprenant étant donné que le groupe contient environ 40 pour cent de toutes les espèces d'insectes connues. La consommation de chenilles (lépidoptères), particulièrement appréciées en Afrique subsaharienne (encadré 2.4), est estimée à 18 %. Les abeilles, les guêpes et les fourmis (hyménoptères) arrivent en troisième position avec 14 % (ces insectes sont particulièrement répandus en Amérique latine). Viennent ensuite les sauterelles, les criquets et les grillons (orthoptères) (13 pour cent); cigales, cicadelles, cicadelles, cochenilles et véritables punaises (hémiptères) (10 pour cent); termites (Isoptera) (3 pour cent); libellules (Odonata) (3 pour cent); mouches (diptères) (2 pour cent); et autres commandes (5 %). Les lépidoptères sont presque entièrement consommés sous forme de chenilles et les hyménoptères sont consommés principalement au stade larvaire ou nymphal. Les adultes et les larves de l'ordre des coléoptères sont consommés, tandis que les ordres des orthoptères, des homoptères, des isoptères et des hémiptères sont principalement consommés au stade mature (Cerritos, 2009)

Encadré 2.4

environ 96 espèces d'insectes sont consommées en République centrafricaine. les orthoptères (criquets et sauterelles) sont la classe la plus consommée (40 pour cent), suivis des lépidoptères (chenilles) (36 pour cent), des isoptères (termites) (10 pour cent), des coléoptères (coléoptères) (6 pour cent) et d'autres comme les cigales et grillons (8%).

Source : Roulon-Doko, 1998.

Coléoptères

Il existe de nombreux types de coléoptères comestibles, notamment les coléoptères aquatiques, les larves xylophages et les bousiers (larves et adultes). Ramos Elorduy, Pino et Martinez-Camacho (2009) ont répertorié 78 espèces de coléoptères aquatiques comestibles, appartenant principalement aux familles Dytiscidae, Gyrinidae et Hydrophilidae. En règle générale, seules les larves de ces espèces sont consommées. Le coléoptère comestible le plus populaire sous les tropiques est de loin le charançon du palmier, *Rynchophorus*, un important ravageur des palmiers réparti dans toute l'Afrique, l'Asie du Sud et l'Amérique du Sud. Le charançon du palmier *R. phoenicis* est présent en

Afrique tropicale et équatoriale (voir encadré 2.5 sur l'utilisation du son dans la récolte), *R. ferrugineus* en Asie (Indonésie, Japon, Malaisie, Papouasie-Nouvelle-Guinée, Philippines et Thaïlande) et *R. palmarum* dans les Amériques tropicales (Amérique centrale et Antilles, Mexique et Amérique du Sud).

Aux Pays-Bas, les larves d'espèces de vers de farine de la famille des Tenebrionidae, telles que le ver de farine jaune (*Tenebrio molitor*), le petit ver de farine (*Alphitobius diaperinus*) et le superver (*Zophobas morio*), sont élevées pour nourrir les reptiles, les poissons et les oiseaux de compagnie. Ils sont également considérés comme particulièrement propres à la consommation humaine et sont proposés comme alimentation humaine dans des magasins spécialisés.

Encadré 2.5

Utilisation du son dans la récolte des larves

Au Cameroun, les femmes sont généralement impliquées dans la récolte des larves de coléoptères. Ils détectent

les larves dans les palmiers en plaçant leurs oreilles contre l'arbre et en écoutant le son produit par les larves qui les grignent. Cette méthode est couramment utilisée pour déterminer le moment optimal pour récolter le stade le plus recherché (le stade de développement d'un insecte ou d'une larve) des larves de *Rhynchophorus*. En République démocratique du Congo, la même méthode est utilisée pour récolter les larves comestibles de charançons, de capricornes et de scarabées présents sur les palmiers *Elaeis*, *Raphia*, *Chamaerops* et *Cocos nucifera* sur pied ou pourris (**Ghesquière, 1947**).

Source : van Huis, 2003b.

Lépidoptères (papillons et mites)

Les papillons et les mites sont généralement consommés au cours de leurs stades larvaires (c'est-à-dire sous forme de chenilles), mais les papillons et les mites adultes sont également consommés. Il a été signalé que des Australiens indigènes mangeaient des papillons du ver-gris *Agrotis infusa* (le papillon Bogong) (**Flood, 1980**) et, en République démocratique populaire lao, des gens ont été observés en train de manger des sphinx (*Daphnis* spp. et *Theretra* spp.) après avoir enlevé les ailes et pattes (J. Van Itterbeeck, communication personnelle, 2012). Néanmoins, la pratique est limitée.

La chenille mopane (*Imbrasia belina*) est sans doute la chenille consommée la plus populaire et la plus économiquement importante. Endémique des forêts de mopane en Angola, au Botswana, au Mozambique, en Namibie, en Afrique du Sud, en Zambie et au Zimbabwe, l'habitat de la chenille s'étend sur environ 384 000 km² de forêt (FAO, 2003). On estime que 9,5 milliards de chenilles mopane sont récoltées chaque année en Afrique australe, une pratique d'une valeur de 85 millions de dollars (**Ghazoul, 2006**). D'autres chenilles sont également consommées, mais dans une moindre mesure. Malaisse (1997) a identifié 38 espèces différentes de chenilles à travers la République démocratique du Congo, la Zambie et le Zimbabwe. Latham (2003) a documenté 23 espèces comestibles dans le Bas-Congo, une province occidentale de la République démocratique du Congo.

L'exploitation des chenilles n'est pas exclusive à l'Afrique. En Asie, la chenille du bambou (*Omphisa fuscidentalis*), également connue sous le nom de perceur du bambou ou ver du bambou, est un aliment populaire qui est promu par le département thaïlandais des forêts du ministère de l'Agriculture et les coopératives comme source de revenus de plus en plus viable (**Yhoung-Aree et**

Viwatpanich, 2005). Dans la région du Chiapas au Mexique, on pense que les habitants consomment jusqu'à 27 espèces de chenilles (encadré 2.6).

Encadrée 2.6

Maguey worms

Red maguey worms – larvae of the moth *Comadia redtenbacheri* – and white maguey worms – larvae of the butterfly *Aegiale hesperiaris* – are found throughout central Mexico on the leaves of *Agave salmiana*. When fully mature, the highly nutritious caterpillars are considered a delicacy by Mexican farmers. They are generally eaten

deep fried or braised, seasoned with a spicy sauce and served in a tortilla. Along with the larvae of the agave weevil (*Scyphophorus acupunctatus*), red maguey worms are one of the types of gusano (caterpillar) found in bottles of mezcal liquor (a distilled alcoholic beverage made from the maguey plant, *Agave americana*) in the Mexican state of Oaxaca. The gusanos are so popular that mezcal producers send security guards into agave fields during the rainy season to stop poachers.

Source: Ramos Elorduy et al, 2007

Hyménoptères (guêpes, abeilles et fourmis)

Les fourmis sont des mets raffinés très recherchés dans de nombreuses régions du monde (**Rastogi, 2011 ; Del Toro, Ribbons et Pelini, 2012**). Ils rendent également d'importants services écologiques, notamment le cycle des nutriments, et servent de prédateurs des ravageurs dans les vergers, bien que des effets négatifs soient également signalés (**Del Toro, Ribbons et Pelini, 2012**). La fourmi tisserande (*Oecophylla* spp.) est utilisée comme agent de lutte biologique dans diverses cultures, telles que les mangues (**Van Mele, 2008**), et les larves et nymphes de la forme reproductrice (couvain de reine), également appelées œufs de fourmis, constituent une nourriture populaire en Asie. En Thaïlande, ils sont vendus en canettes. Shen, Li et Ren (2006) ont rapporté que la 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. Il est utilisé comme ingrédient nutritionnel et transformé en divers toniques ou aliments diététiques disponibles sur le marché chinois. La State Food and Drug Administration et le State Health Ministry of China ont approuvé plus de 30 produits de santé contenant des fourmis depuis 1996.

Au Japon, les larves de guêpes jaunes (*Vespula* et *Dolichovespula* spp.), connues localement sous le nom de hebo, sont couramment consommées. Lors du festival annuel de Hebo, les produits alimentaires fabriqués à partir des larves de guêpes sont des mets de choix (**Nonaka, Sivily et Boulidam, 2008**), à tel point que l'offre locale est insuffisante et que les importations d'Australie et du Viet Nam sont nécessaires pour suivre la cadence. demande (**K. Shono, communication personnelle, 2012**). L'encadré 2.7 fournit des informations générales sur les abeilles.

Un inventaire compilé par Ramos Elorduy et Pino (2002) au Chiapas, au Mexique, a suggéré que la plupart (67) des espèces d'insectes consommées dans l'État appartiennent à l'ordre des hyménoptères, et deux espèces de fourmis coupeuses de feuilles (*Atta mexicana* et *A. cephalotus*) deviennent de plus en plus y est commercialisé. Plus au sud, des Amérindiens ont également été documentés mangeant des fourmis du genre *Atta* (Dufour, 1987). Les colonies d'espèces *Atta* peuvent compter plus d'un million d'ouvriers, et certaines peuvent en avoir jusqu'à 7 millions. Leur effet sur la végétation dans les Néotropiques serait comparable à celui des grands mammifères brouteurs de la

savane africaine. Par conséquent, une colonie de coupeuses de feuilles peut être considérée comme compétitive avec une vache (**Hölldobler et Wilson, 2010**).

Encadrée 2.7

L'apiculture dans le monde

La contribution des abeilles à la nature et à l'agriculture est bien documentée (**Bradbear, 2009**), mais leur énorme potentiel à agir comme source directe de nourriture pour les humains est moins compris (**Chen et al., 1998**). Un nombre limité d'études ont montré que le couvain d'abeilles (œufs, larves et pupes) et les adultes d'un certain nombre de familles d'abeilles sont comestibles, notamment les *Bombycidae*, les *Meliponidae* et les *Apidae* (**Banjo, Lawal et Songonuga, 2006 ; Ramos Elorduy, 2006**). Une analyse nutritionnelle approfondie menée par Finke (2005) a montré que le couvain d'abeille (vraisemblablement d'*Apis mellifera*) est une excellente source d'énergie, d'acides aminés, de minéraux essentiels et de vitamines B.

Les insectes constructeurs de nids, comme les abeilles mellifères, se prêtent facilement à la semi-culture : les abeilles peuvent être attirées pour nicher à certains endroits, et leurs ruches peuvent être relocalisées plus près de chez elles, par exemple. Ces techniques ont été largement appliquées dans le monde entier sur une longue période (**DeFoliart, 1995**) ; en Amérique centrale, elles remontent aux civilisations mayas (**Villanueva, Roubik et Colli-Ucan, 2005**). Coletto-Silva (2005) documente une méthode ingénieuse de collecte de colonies d'abeilles sans dard (*Melipona* spp.) pour démarrer des méliponaires, dans laquelle l'arbre hôte n'est pas détruit : l'arbre est ouvert, la colonie collectée et l'arbre refermé avec des résines naturelles.

Plus de faits sur les abeilles :

- Avec les guêpes, les abeilles domestiques (*Apis mellifera*) sont les insectes alimentaires les plus importants

nord de la Thaïlande. Le couvain d'abeille figure couramment dans les régimes alimentaires locaux et est très demandé

sur les marchés ; par conséquent, il est souvent coûteux (**Chen et al., 1998**).

- Au Malawi, l'apiculture est plus de trois fois plus rentable que la culture du maïs, une culture de base (**Munthali et Mughogho, 1992**).

- En Australie, la ruche (appelée honeybag ou sugarbag) d'abeilles indigènes sans dard (*Trigona* spp.) est une source de sucre populaire pour les Aborigènes (**Cherry, 1991; o'Dea et al., 1991**).

Orthoptères (criquets, sauterelles et grillons)

Environ 80 espèces de sauterelles sont consommées dans le monde et la grande majorité des espèces de sauterelles sont comestibles. Les criquets peuvent se former en essaims, ce qui les rend particulièrement faciles à récolter. En Afrique, le criquet pèlerin, le criquet migrateur, le criquet nomade et le criquet brun sont consommés. Cependant, en raison de leur statut de ravageurs agricoles, ils peuvent être pulvérisés avec des insecticides dans les programmes de contrôle gouvernementaux ou par les agriculteurs. Par exemple, des concentrations relativement élevées de résidus de pesticides organophosphorés ont été détectées dans des criquets capturés pour l'alimentation au Koweït (**Saeed, Dagga et Saraf, 1993**).

Les sauterelles et les criquets sont généralement ramassés le matin lorsque la température est plus fraîche (et les insectes, à sang froid, sont relativement immobiles). A Madagascar, il y a un dicton commun : « Comment pourriez-vous attraper les sauterelles pondueuses et faire la grasse matinée en

même temps ? ("il faut se réveiller tôt le matin pour attraper des sauterelles"). A Oaxaca, la récolte des chapulines (sauterelles comestibles du genre *Sphenarium*) n'a lieu que très tôt le matin (04h00-05h00) (**Cerritos et Cano-Santana, 2008**) car les chapulines sont trop actives et difficiles à prises pendant la partie la plus chaude de la journée (**Cohen, Sanchez et Montiel-ishinoet, 2009**).

Au Niger, pays d'Afrique de l'Ouest, il n'est pas rare de trouver des sauterelles à vendre sur les marchés locaux ou vendues comme collations au bord des routes. Fait remarquable, les chercheurs ont découvert que les sauterelles récoltées dans les champs de mil se vendaient plus cher sur les marchés locaux que le mil (**van Huis, 2003b**).

La chapuline est probablement la sauterelle comestible la plus connue d'Amérique latine. Cette petite sauterelle fait partie de l'alimentation locale depuis des siècles et est toujours consommée dans plusieurs régions du Mexique. Les vallées de l'état d'Oaxaca sont particulièrement réputées pour la consommation des chapulines. Nettoyés et grillés dans un peu d'huile avec de l'ail, du citron et du sel pour la saveur, ils sont un ingrédient alimentaire commun non seulement aux communautés autochtones mais aussi à la population urbaine de la ville d'Oaxaca (**Cohen et al., 2009**). Les chapulines sont brachyptères, ce qui signifie qu'elles ont des ailes réduites et non fonctionnelles. *Sphenarium purpurascens* est un ravageur de la luzerne mais aussi l'un des insectes comestibles les plus importants au Mexique. Les cueilleurs utilisent des filets coniques (environ 80 cm de diamètre et 90 cm de profondeur) sans poignées pour battre légèrement les plants de luzerne, permettant à chaque famille locale d'obtenir environ 50 à 70 kilogrammes (kg) de sauterelles par semaine (**Cerritos et Cano-Santana, 2008**). Les chapulines jouent un rôle important sur les marchés locaux à petite échelle ainsi que sur les restaurants et les marchés d'exportation. Malgré la valeur nutritionnelle et culturelle des chapulines, des études récentes ont montré que les sauterelles peuvent contenir des quantités élevées et parfois dangereuses de plomb (**Cohen, Sanchez et Montiel-ishinoet, 2009**).

En Asie, les grillons *Gryllus bimaculatus*, *Teleogryllus occipitalis* et *T. mitratus* sont récoltés dans la nature et couramment consommés comme nourriture. Le grillon domestique (*Acheta domesticus*) est également élevé et couramment consommé, en particulier en Thaïlande, et est préféré aux autres espèces en raison de son corps mou. Dans une étude menée en Thaïlande en 2002, 53 des 76 provinces avaient des élevages de grillons (**Yhoung-Aree et Viwatpanich, 2005**). En 2012, il y avait environ 20 000 éleveurs de crickets en Thaïlande. De plus, le grillon à queue courte (*Brachytrupes portentosus*), qui a un grand corps et une grosse tête, est également très populaire pour manger. Cependant, cette espèce ne peut pas être cultivée et n'est donc prélevée qu'à l'état sauvage (**Y. Hanboonsong, communication personnelle, 2012**).

Malgré la pratique extensive de l'élevage d'insectes, seules deux espèces de grillons comestibles (*Gryllus bimaculatus* et *Acheta domesticus*) sont cultivées de manière économique. D'autres, comme *Tarbinskiellus portentosus*, ne peuvent pas être cultivés en raison de leur long cycle de vie. Cependant, il y a des signes de changement en République démocratique populaire lao et au Cambodge : les vendeurs disent maintenant que les consommateurs préfèrent les grillons d'élevage à ceux capturés dans la nature parce qu'ils ont meilleur goût (**P. Durst, communication personnelle, 2012**).

Homoptères (cigales, cicadelles, cicadelles et cochenilles), un sous-ordre de les hémiptères

Au Malawi, plusieurs espèces de cigales (*Ioba*, *Platypleura* et *Pycna*) sont très appréciées comme nourriture. Les cigales peuvent être trouvées sur les troncs d'arbres et récoltées à l'aide de longs

roseaux (*Phragmites mauritianus*) ou d'herbes (*Pennisetum purpureum*) avec un résidu semblable à de la colle, comme le latex de l'arbre *Ficus natalensis*. Le latex adhère aux ailes des cigales, qui sont retirées avant consommation. Certains homoptères produisent des produits couramment consommés par les humains, comme le colorant carmin (un pigment rouge vif également appelé E120) dérivé de la cochenille du cactus (*Dactylopius coccus*) souvent utilisée dans les produits alimentaires. Les humains consomment également du lerp, une sécrétion sucrée cristallisée produite par les larves d'insectes psylles comme couverture protectrice. En Afrique du Sud, par exemple, le psylle (*Arytaina mopane*) qui se nourrit de la sève du phloème de l'arbre mopane (*Colophospermum mopane*) est consommé. Le plus grand nombre de psylles constructeurs de lerp se trouve sur les espèces d'eucalyptus en Australie. Les aborigènes australiens récoltent le lerp comme source de nourriture sucrée (**Yen, 2005**).

Hétéroptères (vrais insectes), sous-ordre des hémiptères

Les punaises pentatomides sont largement consommées dans toute l'Afrique subsaharienne, en particulier en Afrique australe. En République du Soudan, le pentatomide *Agonoscelis versicolor*, un ravageur du sorgho pluvial qui cause des dégâts considérables, est consommé rôti. L'huile est également dérivée de ces insectes et est utilisée dans la préparation des aliments et pour le traitement de la gale chez les chameaux (**van Huis, 2003a**).

Cependant, la plupart des pentatomides consommés comme nourriture vivent dans l'eau. Le célèbre caviar mexicain, l'ahuahutle, est composé des œufs d'au moins sept espèces⁵ d'hémiptères aquatiques (familles des Corixidae et des Notonectidae) ; ces insectes ont constitué l'épine dorsale de l'élevage aquatique, ou aquaculture, au Mexique pendant des siècles. La semi-culture de ces espèces est simple et peu coûteuse car elle peut être entreprise en utilisant des pratiques locales traditionnelles (**Parsons, 2010**). Les insectes atteignent des prix élevés, en particulier pendant la Semana Santa (la semaine précédant Pâques). La semi-culture d'hémiptères est cependant menacée en raison d'une forte pollution et de l'assèchement des masses d'eau (**Ramos Elorduy, 2006**).

Isoptères (termites)

Les espèces de termites les plus consommées sont les grandes espèces de Macrotermes. Les termites ailés émergent après les premières pluies à la fin de la saison sèche, à partir de trous près des termitières. van Huis (2003b) a observé qu'en Afrique, les habitants battent le sol autour des termitières (simulant de fortes pluies) pour provoquer l'émergence des termites.

Les espèces de Syntermes sont les plus gros termites consommés en Amazonie. Ils sont cueillis en introduisant une nervure de feuille de palmier dans les galeries du nid ; les soldats qui le mordent sont alors repêchés (**Paoletti et al., 2003 ; Paoletti et Dufour, 2005**).

2-3 Où et quand les insectes sont-ils consommés ? La fréquence de la consommation d'insectes dans le monde est mal documentée. Les quelques exemples trouvés dans la littérature proviennent d'Afrique, d'Asie et d'Amérique latine.

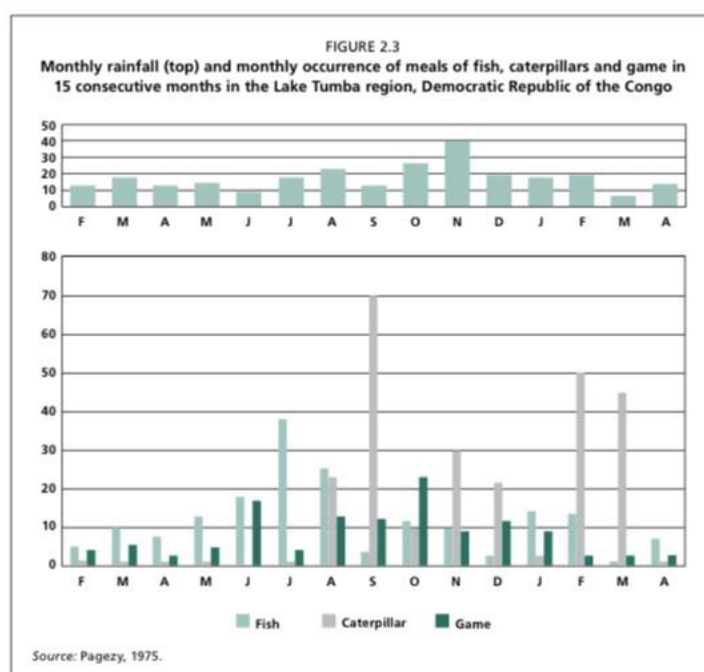
Afrique : Les insectes peuvent être trouvés en abondance sur tout le continent africain et lorsque les aliments de base se font rares, ils deviennent d'importantes sources de nourriture. Pendant la saison des pluies – lorsque la chasse au gibier ou au poisson peut être problématique – les insectes jouent un rôle important dans la sécurité alimentaire. Les chenilles sont particulièrement populaires pendant la saison des pluies, bien que leur disponibilité puisse varier même au sein d'un même pays en fonction

des conditions climatiques (**Vantomme, Gohler et N'Deckere-Ziangba, 2004**) ; Le tableau 2.1 montre l'abondance saisonnière des chenilles en Afrique centrale

La disponibilité saisonnière et la consommation corrélée d'insectes sont bien documentées par Takeda et Sato (1993). Une étude menée en forêt tropicale humide en République Démocratique du Congo montre la remarquable débrouillardise du peuple Ngandu, qui se nourrit de ce qui est disponible en saison : cultivé et sauvage

plantes, champignons, mammifères, oiseaux, poissons, reptiles et insectes. Une étude antérieure menée dans le même pays a montré que la disponibilité des chenilles est fortement corrélée avec le déclin du poisson et du gibier (**Pagezy, 1975**) (voir Figure 2.3)

Les marchés de Kinshasa, la capitale de la République démocratique du Congo, disposent d'un



approvisionnement abondant en chenilles tout au long de l'année, et le ménage moyen à Kinshasa mange environ 300 g de chenilles par semaine. On a estimé que 96 tonnes de chenilles sont consommées chaque année dans la ville (**Kitsa, 1989**). La consommation de chenille mopane dépasse de loin celle des autres chenilles : on estime que 70 % des 8 millions d'habitants de Kinshasa consomment les chenilles, tant pour leur valeur nutritive que pour leur goût (**Vantomme, Gohler et N'Deckere-Ziangba., 2004**).

Les chenilles fournissent également une importante source de protéines pendant la saison des pluies (juillet à octobre) en République centrafricaine (**Bahuchet, 1975 ; Bahuchet et Garine, 1990**), en particulier pour les pygmées. En saison des pluies, la consommation moyenne est estimée à 42 chenilles fraîchement récoltées par personne et par jour. La consommation le reste de l'année est beaucoup plus faible, bien que les insectes soient disponibles toute l'année, séchés ou fumés (voir Figure 2.3). Il a été documenté que les indigènes Gbaya consomment 96 espèces d'insectes différentes; cela représente 15 pour cent de leur apport en protéines (**Roulon-Doko,1989**)

Dans certains endroits, la consommation d'insectes est corrélée à la disponibilité des denrées de base. A Madagascar, la consommation de riz diminue en fin de saison sèche et la consommation de chenilles augmente (**Decary, 1937**). Entr150 et 200 espèces d'insectes comestibles sont

consommées en Asie du Sud-Est. Les charançons rouges du palmier (*Rhynchophorus ferrugineus*) du sagoutier (*Metroxylon sagu*) sont particulièrement populaires sur tout le continent et constituent un mets délicat très prisé dans de nombreuses régions (Johnson, 2010). Certains insectes sont disponibles toute l'année, y compris de nombreuses espèces aquatiques, tandis que d'autres ne sont disponibles que sur une base saisonnière.

Le tableau 2.2

Habitat	nom commun	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	
aquatique	Scorpion d'eau (<i>Laccatrephus</i> sp) (Népidés)	[Barre bleue]												
	Coléoptère plongeur (<i>cybister</i> sp.) (dytiscide)	[Barre bleue]												
	Récupérateur d'eau (<i>Hydrophilus</i> sp) (Hydrophiles)	[Barre bleue]												
	Larves de libellule	[Barre bleue]												
	Panaise d'eau géante (<i>Lethocerus indicus</i>) (Belostomatidae)	[Barre bleue]												
Terrain	Grillon (<i>trabinskiellus</i> <i>Portentosus</i>) (<i>brachytrupes</i> <i>Achatinus</i>) (<i>gryllidae</i>)											[Barre bleue]		
	Cochenille (<i>drasicha</i> sp) Monophlebidea Margrodidea	[Barre bleue]												
	Bousiers <i>Scarbaena</i>	[Barre bleue]												
Arbre Buisson arbuste	Cigale (<i>cicadida</i>)				[Barre bleue]									
	Fourmi tisserande (<i>oecophylla</i> <i>Smaragdina</i>)(<i>Formicidea</i>)				[Barre bleue]									
	Punaise puante (<i>tessartome</i> Carré (<i>pentatomidea</i>)				[Barre bleue]									
	Scarbée (<i>holotrichia</i> sp) (<i>scarbaeida</i>)				[Barre bleue]									
	Sauterelles (<i>orthoperes</i>)				[Barre bleue]									
	Chenille de bambou (<i>omphisa fuscidentails</i>) Pyralidés)								[Barre bleue]					

Disponibilité des insectes comestibles, démocratie populaire lao, par mois

montre la disponibilité annuelle de Les habitants récoltent les chenilles des arbres forestiers à la fin de la saison sèche, car les feuilles se développent juste avant la pluie. Les chenilles peuvent également être séchées et stockées pour être utilisées en période de pénurie alimentaire. En Afrique australe, les chenilles de la teigne empereur (*Saturniidae*) sont largement consommées pendant les périodes de déficit alimentaire de l'année

Asie : 150 et 200 espèces d'insectes comestibles sont consommées en Asie du Sud-Est. Les charançons rouges du palmier (*Rhynchophorus ferrugineus*) du sagoutier (*Metroxylon sagu*) sont particulièrement populaires sur tout le continent et constituent un mets délicat très prisé dans de nombreuses régions (Johnson, 2010). Certains insectes sont disponibles toute l'année, y compris de nombreuses espèces aquatiques, tandis que d'autres ne sont disponibles que sur une base saisonnière. Le tableau 2.2 montre la disponibilité annuel de

L'espèces d'insectes sélectionnées en République démocratique populaire lao. Là-bas, ainsi qu'au Myanmar, en Thaïlande et au VietNam, diverses espèces d'insectes sont prélevées tout au long de l'année dans divers habitats ; de cette façon, les gens peuvent obtenir un approvisionnement régulier en insectes comestibles (**Yhoung-Aree et Viwatpanich, 2005**)

L'entomophagie actuelle dans de nombreux pays asiatiques est le résultat de schémas migratoires. Par exemple, les insectes ont longtemps été une partie importante de l'alimentation dans le nord-est de la Thaïlande, mais en raison de la migration de la main-d'œuvre vers les zones touristiques du sud du pays, y compris Bangkok, la pratique est maintenant bien établie dans tout le pays (**Yen, 2009**); on estime que jusqu'à 81 espèces d'insectes y sont consommées à la fois dans les zones rurales et urbaines. En outre, plus de 50 espèces d'insectes sont consommées en Asie du Sud (Inde, Pakistan et Sri Lanka), 39 espèces en Papouasie-Nouvelle-Guinée et dans les îles du Pacifique et 150 à 200 espèces en Asie du Sud-Est (**Johnson, 2010**).

Amérique latine : Au Mexique, les peuples autochtones possèdent une connaissance approfondie des espèces végétales et animales qui composent traditionnellement leur régime alimentaire, y compris les cycles de vie des insectes (**Ramos Elorduy, 1997**)

Les insectes ont été « calendarisés » par espèce, ce qui signifie qu'ils sont censés fonctionner en harmonie avec les phénomènes naturels tels que les cycles de vie des plantes, les cycles de la lune, les saisons des pluies et le tonnerre. Il est bien connu parmi les peuples autochtones, par exemple, que les escamoles (larves de fourmis du genre *Liometopum*) sont prêtes à être récoltées lorsque la plante jarilla (*Senecio salignus*) est en floraison. À Oaxaca, au Mexique, la récolte des chapulines commence avec le début de la saison des pluies et se poursuit tout au long de cette saison. En Amazonie, la cueillette d'insectes est aussi une affaire saisonnière. Les Indiens Maku, un groupe autochtone de chasseurs-cueilleurs vivant dans la forêt tropicale du nord-ouest de l'Amazonie au Brésil, ramassent des insectes pendant la saison des pluies (de juillet à septembre) lorsque la chasse au poisson et au gibier est difficile (**Milton, 1984**). En Amazonie colombienne, la communauté Nukak récolte les larves des espèces de *Rhynchophorus* pendant la saison des pluies (**Politis, 1996**).

Dans les hautes terres équatoriennes, le coléoptère *Platycoelia lutescens* est présent sur les marchés de Quito de fin octobre à début novembre ; ils sont ramassés pendant les pluies d'hiver. Les coléoptères sont récoltés lorsqu'ils émergent du sol dans les prairies et les prairies et sont relativement faciles à collecter. On pense que les vibrations causées par la pluie et le bruit du tonnerre déclenchent leur émergence (**Smith et Paucar, 2000**). Cependant, tous les insectes ne sont pas récoltés pendant la saison des pluies. Par exemple, les larves du charançon sud-américain du palmier (*Rhynchophorus palmarum*) et du charançon barbu (*Rhinostomus barbirostris*)

Chapitre III :
Culture religion et histoire de l'insectes
socio-économique dans le monde

1. POURQUOI LES INSECTES NE SONT-ILS PAS CONSOMMÉS DANS LES PAYS OCCIDENTAUX ?

Le Croissant fertile, une région comprenant des terres fertiles en Asie occidentale et la vallée et le delta du Nil dans le nord-est de l'Afrique, est considérée comme l'une des régions d'origine de l'agriculture. À partir de là, la production alimentaire (c'est-à-dire la domestication des plantes et des animaux) s'est rapidement répandue dans toute l'Europe (**Diamond, 2005**). Les espèces animales sauvages les plus précieuses à domestiquer étaient les grands mammifères terrestres herbivores et omnivores. Il existe 14 mammifères domestiques de ce type dans le monde, chacun pesant au moins 45 kg. Fait remarquable, l'Eurasie comptait 13 de ces animaux, et le 14e (le lama) se trouvait dans les Amériques. Ces animaux produisaient non seulement des quantités considérables de viande (ce qui en faisait les principaux fournisseurs d'aliments d'origine animale), mais aussi de la chaleur, des produits laitiers, du cuir, de la laine, des charrues et des moyens de transport. On pense que c'est en raison de l'utilité de ces animaux que l'utilisation d'insectes - en plus des abeilles, des vers à soie et des cochenilles - n'a pas réussi à gagner beaucoup de terrain en Occident. Les insectes ne pouvaient tout simplement pas offrir les mêmes avantages. En revanche, les Shoshoni de l'Ouest du Grand Bassin central aux États-Unis comptaient probablement davantage sur le petit gibier (par exemple, les rongeurs, les lézards et les insectes) car le gros gibier était rare et ne se déplaçait pas en troupeaux (**Steward, 1938, cité dans Dyson-Hudson et Smith, 1978**).

La production alimentaire dans le Croissant Fertile et en Europe a conduit à la domestication d'une variété de plus en plus large de plantes et d'animaux. À son tour, l'agriculture a connu des gains incroyables de productivité et d'efficacité. La nourriture pouvait désormais être stockée, les approvisionnements alimentaires sont devenus plus stables et le mode de vie des chasseurs-cueilleurs a finalement cédé la place à des modes de vie sédentaires qui dépendaient de l'agriculture. Ce changement radical de mode de vie, combiné à la nature incertaine des insectes en tant qu'aliment de base en raison de leur saisonnalité, a peut-être contribué à la perte d'intérêt pour les insectes en tant que nourriture (**DeFoliart, 1999**). Bien qu'il existe des enregistrements de criquets consommés dans le Croissant fertile (par exemple en Israël) (**Amar, 2003**), ils étaient probablement d'importance mineure en raison de l'imprévisibilité des épidémies.

L'importance de l'agriculture sédentaire peut également avoir entraîné la perception des insectes comme une nuisance et une menace pour la production alimentaire. En bref, les sources alimentaires non domestiquées sont devenues en général moins importantes (**DeFoliart, 1999**). Dans l'agriculture moderne, les agro-écosystèmes sont grandement simplifiés : la biodiversité est minimale et le potentiel de récolte dans la nature est généralement faible. L'urbanisation, plus importante dans les pays occidentaux, a éloigné les gens de la nature, contrairement à de nombreux milieux tropicaux où les gens vivent une vie plus rurale, même si cela est en train de changer (**ONU, 2012**). L'urbanisation croissante modifiera la consommation d'insectes dans les régions en développement du monde si l'approvisionnement des villes reste faible et peu fiable et si les zones urbaines s'occidentalisent. Par exemple, la consommation de criquets dans le Croissant Fertile a disparu dans les zones caractérisées par une forte occidentalisation (**Amar, 2003**).

Dans la plupart des pays occidentaux, les gens considèrent l'entomophagie avec des sentiments de dégoût (**Rozin et Fallon, 1987**). Il est prudent de dire que la plupart hésitent même à envisager de manger des insectes et, de plus, qu'ils perçoivent cette pratique comme étant associée à un comportement primitif (**Vane-Wright, 1991 ; Ramos Elorduy, 1997 ; Tommaseo Ponzetta et Paoletti, 1997**). Le dégoût forme la base du jugement moral et joue un rôle majeur dans le rejet des gens de la nourriture (**Fessler et Navarette, 2003**), bien qu'il s'agisse d'une réaction innée (**Rozin et Vollmecke, 1986 ; Herz, 2012**). Les sentiments de dégoût sont principalement déclenchés par des questions telles que : Qu'est-ce que c'est ? ou

Où est-ce que c'était? (**Rozin et Vollmecke, 1986**). Outre les émotions humaines de base, les origines du dégoût sont enracinées dans la culture (c'est-à-dire « le goût est la culture »), ce qui a sans aucun doute un effet majeur sur les habitudes alimentaires. La culture, sous l'influence de l'environnement, de l'histoire, de la structure communautaire, de l'effort humain, de la mobilité et des systèmes politico-économiques, définit les règles sur ce qui est comestible et ce qui ne l'est pas (**Mela, 1999**). Bref, l'acceptation ou le rejet de l'entomophagie est une question de culture (**Mignon, 2002**).

Encadrée3.1

gambas et grillons de mer

Les Amérindiens, comme ceux qui vivaient librement dans ce qu'on appelle aujourd'hui l'État de l'Utah, étaient très habitués à manger des sauterelles, des criquets et des grillons. Lors de leur première dégustation de crevettes, les Indiens Goshute auraient nommé les créatures « grillons de mer » (**Lockwood, 2004**)

Récemment en Australie, Christopher Carr et Edward Joshua du Département des industries primaires de la Nouvelle-Galles du Sud ont proposé de renommer les criquets en "crevettes du ciel", une description plus acceptable dans les pays occidentaux, et ont compilé des recettes dans un livre de cuisine, *Cuisiner avec des crevettes Sky* (**BBC, 2004**).

1.1. POURQUOI LES INSECTES SONT-ILS DAVANTAGE CONSOMMÉS SOUS LES TROPIQUES QUE DANS LES RÉGIONS TEMPÉRÉES DU MONDE

1.2. On suppose généralement que la consommation d'insectes a lieu exclusivement dans les pays tropicaux. Ce n'est pas tout à fait vrai, car les insectes sont également consommés dans des pays partiellement ou totalement en zones tempérées, comme la Chine (**Feng et Chen, 2003**), le Japon (**Mitsubishi, 2005**) et le Mexique (**Ramos Elorduy, 1997**). Même entre et au sein des pays de la zone tropicale, il peut y avoir de grandes différences entre les groupes ethniques sur lesquels les insectes sont considérés comme comestibles (**Meyer-Rochow, 2005**). En général, cependant, la consommation d'insectes est courante sous les tropiques, alors que dans les zones tempérées, elle est souvent absente. Un certain nombre de tendances en faveur de l'entomophagie sont reconnues sous les tropiques, même si certaines sont certes difficiles à étayer par la littérature.

- **Les insectes ont tendance à être plus gros sous les tropiques, ce qui facilite la récolte.**

Bien qu'une plus grande taille corporelle des insectes soit souvent observée dans les tropiques par rapport aux régions tempérées, cette tendance ne peut être généralisée (**Janzen et Schoener, 1968 ; Gaston et Chown, 1999**). La taille corporelle est liée au métabolisme des insectes, mais la façon dont les différentes tailles corporelles se produisent n'est pas complètement claire (**Gaston et Chown, 1999**). Cependant, presque tous les insectes exceptionnellement grands sont des espèces tropicales, et cela peut être dû dans une certaine mesure à la façon dont les insectes respirent. Comme les humains, les insectes ont besoin d'oxygène et produisent du dioxyde de carbone (CO₂) comme déchet. Au lieu de poumons, cependant, les insectes utilisent une série de tubes appelés système trachéal. Les gaz sont principalement échangés dans tout le corps par diffusion, ce qui se produit plus rapidement à des températures plus élevées, permettant la production d'insectes plus gros dans les climats plus chauds (**Kirkpatrick, 1957**). Comme le montrent les preuves fossiles, les insectes avaient des tailles corporelles beaucoup plus grandes à la fin du Paléozoïque (**Shear et Kukulová-Peck, 1990**), certains atteignant 1 mètre, en raison des températures atmosphériques plus élevées.

- **Sous les tropiques, les insectes se rassemblent souvent en grand nombre, de sorte que de grandes quantités peuvent être collectées au cours d'une seule récolte.** Les essaims de criquets

pèlerins s'installent pour la nuit, ce qui rend la récolte très facile le soir et tôt le matin. Les termites ailés, qui effectuent leur vol nuptial dès les premières pluies après la saison sèche, émergent d'innombrables en grand nombre. Les chenilles dans les forêts se rassemblent en masse par nature. Certains insectes se rassemblent également dans les régions tempérées, comme le grillon mormon (*Anabrus simplex*) et la chenille processionnaire du chêne (*Thaumetopoea processionea*). Les Amérindiens ont probablement mangé le cricket mormon (**Madsen et Kirkman, 1988**); cependant, la chenille processionnaire du chêne a des poils qui peuvent provoquer un lépidoptérisme (dermatite, conjonctivite et affection pulmonaire) (**Gottschling et Meyer, 2006**) et ne doit pas être consommée.

- **Une variété d'espèces d'insectes comestibles peut être trouvée toute l'année sous les tropiques.** Dans les zones de température, les insectes hibernent pour survivre aux hivers froids. Pendant cette période, aucune espèce d'insecte active ne peut être trouvée et leur développement s'arrête.
 - **Emplacement.** Les charançons des palmiers, par exemple, se trouvent dans les palmiers qui sont tombés (par exemple souvent lors de typhons en Asie) ou qui ont été abattus délibérément pour inciter les coléoptères à pondre des œufs (**Choo, Zent et Simpson, 2009**). Les chenilles de bambou peuvent être trouvées dans les tiges de bambou, les bousiers sous les tas de fumier, les termites soldats dans les termitières, etc. De nombreux insectes ont également des plantes ou des espèces d'arbres préférées.
 - **Temps d'abondance.** Cela peut être saisonnier (souvent en fonction des pluies) ou d'un moment préféré de la journée. Par exemple, les sauterelles sont ramassées tôt le matin lorsqu'il fait trop froid pour voler.

2. POURQUOI LES INSECTES N'ONT-ILS JAMAIS ÉTÉ DOMESTIQUÉS POUR LA NOURRITURE ?

Les insectes sont considérés comme des mets délicats dans de nombreuses régions du monde, en particulier sous les tropiques. Par exemple, le Malawi Cookbook de 1992 présente de nombreuses recettes à base d'insectes sous la rubrique « délices traditionnels ». Il indique qu'un certain nombre d'espèces d'insectes sont très recherchées, notamment les larves de charançons du palmier grillés et les termites rôties. Pourquoi alors les espèces d'insectes – à l'exception des abeilles, des cochenilles et des vers à soie – n'ont-elles jamais été domestiquées ?

La domestication des animaux et des plantes a eu lieu il y a des milliers d'années, différentes formes apparaissant indépendamment dans différentes parties du monde à différentes époques. Le Croissant fertile, la Chine, l'Inde, la Mésio-Amérique (centre et sud du Mexique et régions adjacentes), les Andes d'Amérique du Sud et l'est des États-Unis ont tous connu une production alimentaire très ancienne (**Diamond, 2005**). Un cas notable est celui de la Mésio-Amérique, où les Aztèques ont réussi à développer une société complexe avec une forte densité de population sans grands animaux domestiques. L'une de leurs principales sources de protéines aurait été les insectes et les œufs d'insectes, ces derniers semi-cultivés dans les marais et les étangs de la Mesa Central mexicaine (**Parsons, 2010**)

Les activités entourant la gestion d'une variété de ressources non domestiquées peuvent être observées aujourd'hui dans les forêts tropicales (**Perez, 1995**). Les espèces végétales et animales tropicales récemment domestiquées comprennent les noix de macadamia (*Macademia integrifolia*), les caramboles (*Averrhoa carambola*), le paca (*Agouti paca*) et les iguanes (*Iguana iguana*) (**Vantomme, Gazza et Lescuyer, 2010**). D'autres exemples de semi-culture d'insectes comestibles existent (**Van Itterbeeck et van Huis, 2012**), un exemple bien connu étant celui du charançon du palmier, *Rhynchophorus palmarum*, en Amérique latine (**Choo, Zent et Simpson, 2009**). L'appivoisement et la gestion des espèces sont des tremplins vers la

domestication (**Barker, 2009**), mais les insectes semi-cultivés et autres insectes comestibles - à l'exception des abeilles, des cochenilles et des vers à soie - n'ont jamais été domestiqués. Bien qu'une explication simple ne soit pas possible ici, certains facteurs importants peuvent être décrits.

Il existe 148 espèces de grands mammifères terrestres herbivores et omnivores pesant au moins 45 kg. Le fait qu'à peine 14 d'entre eux aient été domestiqués n'est dû ni à l'ignorance humaine ni à l'incapacité humaine, mais est le résultat direct de l'intrinsèque caractéristiques biologiques des animaux. **Diamond (2005)** a identifié six caractéristiques qu'une espèce doit avoir pour permettre la domestication :

- régime alimentaire adéquat (les herbivores sont les plus faciles et les plus efficaces à conserver comme source de nourriture) ;
- taux de croissance élevé (c'est moins cher et plus intéressant d'investir dans des animaux à croissance rapide) ;
- capacité à se reproduire en captivité (certains animaux refusent tout simplement de le faire) ;
- une disposition domestique (par exemple, la domestication des chevaux a réussi mais la domestication des zèbres a échoué en raison de leur agressivité et de leur tendance à mordre sans relâche);
- comportement relativement calme (les animaux ayant tendance à paniquer créent des mises en situation);
- une structure sociale hiérarchique claire (permettant à l'humain d'assumer le rôle de leader).

Comme pour les mammifères, toutes les espèces d'insectes comestibles ne se prêtent pas à la domestication.

Pendant, parce que les insectes ne sont pas des mammifères, les caractéristiques mentionnées ci-dessus ne peuvent pas être considérées comme infaillibles dans l'évaluation de la domestication potentielle des espèces d'insectes. **Gon et Price (1984)** ont compilé une liste de caractéristiques favorables qui peuvent être utilisées pour sélectionner des candidats à la domestication des insectes .

Les contextes historiques dans lesquels la domestication des plantes et des animaux a eu lieu doivent également être pris en compte. La domestication des grands animaux (et des plantes) a donné aux Européens un avantage considérable sur les autres régions, comme en témoignent leurs conquêtes mondiales (**Diamond, 2005**). Ces conquêtes ont permis aux Européens d'exercer une influence majeure sur la production alimentaire, avec des habitudes, des connaissances, des techniques et des organismes exportés dans le monde entier. Peut-être que les attitudes négatives susmentionnées à l'égard de la consommation d'insectes faisaient partie de cet ensemble, comme à une époque plus récente. Il est concevable qu'avec plus de temps et sans la colonisation et les importations européennes, la semi-culture d'insectes comestibles (voire la domestication) serait plus répandue et concernerait plus d'espèces.

3 Attitudes négatives envers les insectes Il est sûr de dire que, dans l'ensemble, les perceptions négatives entourant les insectes sont pleinement ancrées dans les sociétés occidentales (**Kellert, 1993**). La récolte d'insectes a été associée à l'ère des chasseurs-cueilleurs et, à son tour, aux formes « primitives » d'acquisition de nourriture. Avec l'avènement de l'agriculture et la montée des modes de vie sédentaires, les insectes sont devenus de simples ravageurs (**Pimentel et al., 1975 ; Pimentel, 1991**). Cela contraste fortement avec de nombreuses régions tropicales du monde, où les insectes ont

des buts décoratifs, sont utilisés pour le divertissement, la médecine et la sorcellerie, et sont présents dans les mythes, les légendes et la danse (**Meyer-Rochow, 1979 ; Yen et al., 2013**).

Dans les sociétés occidentales – où les protéines sont encore largement issues d'animaux domestiques – les insectes sont quasiment synonymes de nuisances : moustiques et mouches envahissent les habitations, les premières laissant derrière elles des piqûres indésirables ; les termites détruisent les possessions en bois ; et certains insectes se retrouvent dans les repas (déclenchant le facteur dégoût). Certains insectes sont également des vecteurs de maladies (**Kellert, 1993**) : un vecteur mécanique comme une mouche domestique, par exemple, peut capter un agent infectieux à l'extérieur de son corps et le transmettre aux aliments avant leur consommation. Les vecteurs biologiques tels que les moustiques, les tiques, les puces et les poux hébergent des agents pathogènes et sont souvent responsables de maladies graves à diffusion hématogène telles que le paludisme, l'encéphalite virale, la maladie de Chagas, la maladie de Lyme et la maladie du sommeil africaine. Les arthropodes tels que les araignées sont associés à des maladies et à des infections, en particulier en Europe, depuis le Xe siècle (**Davey, 1994**). Les papillons et les coccinelles font partie des rares insectes qui n'évoquent pas l'aversion, l'évitement, le dégoût et le dédain (**Kellert, 1993 ; Looy et Wood, 2006**). Peu de gens se rendent compte que la plupart des insectes sont bénéfiques et que très peu sont nuisibles.

Les attitudes occidentales de dégoût envers la consommation d'insectes ont sans doute également influencé la préférence des habitants des pays tropicaux. Selon Silow (1983) : « Il est connu que certains missionnaires ont condamné la consommation de termites ailés comme une coutume païenne » et pour cette raison, un chrétien lui a dit qu'« il ne goûterait jamais de telles choses, les considérant comme hautement non chrétiennes » . Au Malawi, des recherches ont montré que les habitants des zones urbaines et les chrétiens fervents réagissent avec dédain à la consommation d'insectes (**Morris, 2004**). En raison de ces influences occidentales, en particulier en Afrique, les recherches sur la contribution des insectes comestibles à la nutrition et à l'économie, ainsi que sur la biologie et l'écologie des espèces d'insectes, ont été sporadiques (**Kenis et al., 2006**). Pourtant, l'utilisation d'insectes dans l'alimentation peut persister, bien que cela n'est parfois admis qu'à contrecœur par les consommateurs (**Tommaseo Ponzetta et Paoletti, 1997**). Selon **DeFoliart (1999)**, "les Occidentaux devraient prendre conscience du fait que leur préjugé contre les insectes en tant que nourriture a un impact négatif, entraînant une réduction progressive de l'utilisation des insectes sans remplacement de la nutrition perdue et d'autres avantages".

Cependant, les attitudes occidentales changent, comme le notent certains chercheurs : « Les insectes ont longtemps été un facteur alimentaire important dans les régions les plus pauvres du monde, et il est grand temps que les scientifiques reconnaissent ce fait et commencent à s'appuyer dessus, plutôt que de décourager ou en ignorant la pratique » (**Ramos Elorduy, 1990**).

3- INSECTES DANS L'ALIMENTATION

3-1 LE RÔLE DES INSECTES DANS LES RÉGIMES ALIMENTAIRES: RÉGIMES TRADITIONNELS

Les aliments traditionnels sont ceux qui sont acceptés par une communauté – par l'habitude et la tradition – comme étant des sources de nourriture désirables et appropriées. Les aliments traditionnels sont accessibles localement et dans un environnement naturel donné à partir de l'agriculture ou de la cueillette sauvage et constituent des éléments importants des régimes alimentaires dans le monde entier.

Les systèmes alimentaires des peuples autochtones montrent le rôle important d'une alimentation diversifiée basée sur des espèces végétales et animales locales et des aliments traditionnels pour la santé et le bien-être. Dans la plupart des cas, l'augmentation des produits alimentaires transformés et commerciaux au fil du temps entraîne une diminution de la qualité de l'alimentation. Les pays, les communautés ou les cultures qui maintiennent leurs propres systèmes alimentaires traditionnels sont mieux à même de conserver les spécialités alimentaires locales avec une diversité correspondante de cultures et de races animales. Ils sont également plus susceptibles de présenter une prévalence plus faible de maladies liées à l'alimentation (**FAO, 2009b**)

Les populations d'Afrique, d'Asie et d'Amérique latine consomment régulièrement des insectes. Ils peuvent le faire non seulement parce que les viandes conventionnelles telles que le bœuf, le poisson et le poulet ne sont pas disponibles et que les insectes sont donc des sources vitales de protéines, mais aussi parce que les insectes sont considérés comme des aliments importants, souvent des mets délicats.

Le problème n'est pas simplement de convaincre l'Occident de consommer des insectes, mais aussi de s'assurer que les pratiques traditionnelles de consommation d'insectes comestibles ne disparaissent pas à mesure que les régimes alimentaires s'occidentalisent. Dans les pays où les insectes comestibles constituent des éléments réguliers des régimes alimentaires traditionnels, le glissement vers les aliments occidentaux constitue une véritable menace pour l'entomophagie. Pour contrer cela, des efforts sont déployés pour fusionner la pratique traditionnelle de la consommation d'insectes avec des aliments plus populaires. Au Mexique, par exemple, il n'est pas rare de trouver des tortillas enrichies en vers de farine jaunes, une source traditionnelle de protéines (**Aguilar-Miranda et al., 2002**)

3-2 QUELLE EST L'IMPORTANCE DES INSECTES COMESTIBLES POUR L'APPORT EN PROTÉINES DANS LES RÉGIMES ALIMENTAIRES TRADITIONNELS ?

L'importance des insectes comestibles à l'échelle mondiale est difficile à estimer. Les statistiques et les informations sont rares et ne sont disponibles qu'à partir de quelques études très spécifiques. Néanmoins, de telles études peuvent donner une idée de l'importance des insectes comestibles dans divers systèmes alimentaires et offrir un aperçu des possibilités de développement du secteur à l'échelle mondiale.

Chez les peuples autochtones, la cueillette d'insectes peut être une activité importante pour l'acquisition de nourriture.

Une co-étude du Centre pour la nutrition et l'environnement des peuples autochtones et la FAO a évalué l'importance nutritionnelle et culturelle de divers aliments traditionnels de 12 communautés autochtones¹¹ de différentes parties du monde (**Kuhnlein, Erasmus et Spigelski, 2009**). Il a constaté que l'importance nutritionnelle des insectes dans la communauté Ingano en Colombie était particulièrement importante. Par exemple, les larves mojoy des coléoptères mai et juin, qui sont toutes deux consommées dans la communauté d'Ingano, sont particulièrement riches en matières grasses. Les hormigas (fourmis Formicidae) fournissent également d'importantes sources d'énergie et peuvent être récoltées toute l'année. La communauté a décrit les attributs des insectes comme suit :

- **Hormigas** (fourmis Formicidés). Elles sont nutritives, très appréciées, améliorent la croissance, renforcent les défenses immunitaires et apportent protéines, vitamines et minéraux.

- **Mojojoy** (coléoptères de mai ou juin). Ils sont nutritifs, améliorent la croissance et agissent comme un médicament pour les affections pulmonaires, leur graisse aide à prévenir les problèmes pulmonaires et ils fournissent des protéines, des vitamines et des minéraux.

Les invertébrés mangeurs de feuilles et de litière fournissent à de nombreux groupes amérindiens des sources de nourriture importantes et sous-estimées. Dans le bassin amazonien, au moins 32 groupes amérindiens utilisent des invertébrés terrestres comme nourriture (**Paoletti et al., 2000**). La consommation d'invertébrés fournit des quantités importantes de protéines animales (voir tableau 3.1)), en particulier pendant les périodes de soudure lorsque le poisson et le gibier se font rares. Les Guajibo, par exemple, qui vivent à la frontière de la savane (à Alcabala Guajibo, Amazonas, Venezuela) dépendent principalement des insectes, en particulier des sauterelles et des larves du charançon du palmier *Rhynchophorus palmarum*. Pendant la saison des pluies (juillet à août), plus de 60 % de leurs protéines animales proviennent d'insectes. En sélectionnant ces petits invertébrés, les Amérindiens sélectionnent leur alimentation animale dans les réseaux trophiques de la forêt pluviale qui ont les flux énergétiques les plus élevés et qui constituent le plus grand stock renouvelable de nutriments facilement disponibles. La consommation d'invertébrés mangeurs de feuilles et de litière par les populations forestières comme moyen d'acquérir des protéines, des graisses et des vitamines offre une nouvelle perspective pour le développement d'une production alimentaire animale durable.

Tableau 3. consommation annuelle d'invertébrés dans le village tukanoan de Iapuri (Rio Papuri, Vaupes, Colombie), composé d'environ 100 personnes

Une étude menée au milieu du XXe siècle dans le sud-ouest de la République démocratique du Congo a révélé que les protéines animales provenaient du gros gibier, des grillons et des sauterelles pendant la saison sèche et en grande partie des chenilles pendant la saison des pluies (**Adriaens, 1951**). Poissons, rongeurs, reptiles et diverses larves d'insectes étaient consommés toute l'année. La production estimée de chenilles séchées dans le district de Kwango entre **1954** et **1958** était de près de 300 tonnes par an. De plus, dans six provinces de la République démocratique du Congo, les insectes constituaient en moyenne 10 pour cent des protéines animales de l'alimentation quotidienne (jusqu'à 15 à 22 pour cent dans les provinces de l'ouest), le poisson et la viande de gibier étant les deux principales sources de protéines. , à 47 % et 30 %, respectivement (**Gomez, Halut et Collin, 1961**). Plus récemment, on a découvert que dans la ville de Kananga, dans le sud-ouest du pays, 28 % des habitants mangeaient des insectes, principalement des termites, des chenilles et des larves de coléoptères, à raison de 2,4 kg d'insectes en moyenne par mois (**Kitsa, 1989**). Cependant, seules les larves de dendroctones du palmier et les termites soldats (20 % des espèces d'insectes comestibles) étaient disponibles sur les marchés tout au long de l'année, tandis que le reste, en particulier les chenilles et les termites volants, n'était disponible que de manière saisonnière (décembre à avril). à avril).

Les données sur la consommation alimentaire d'aliments végétaux et animaux sauvages, sous-utilisés, indigènes et traditionnels restent cependant limitées et fragmentées (**FAO, 2010c**). Alors que l'importance de la biodiversité alimentaire devient de plus en plus reconnue, davantage de recherches doivent être orientées vers la consommation et la composition d'une grande variété d'aliments, y compris les insectes. Plus précisément, des recherches sont nécessaires sur la composition nutritionnelle des insectes sauvages, sous-utilisés, indigènes et traditionnels et sur la biodiversité alimentaire en général, et les données doivent être compilées dans des bases de données

accessibles. A cet effet, un réseau international de données sur la biodiversité alimentaire a été mis en place en **2010** au sein du réseau INFOODS.

3-3 RÉGIME DURABLE

Les régimes alimentaires durables sont les régimes alimentaires à faible impact sur l'environnement qui contribuent à la sécurité alimentaire et nutritionnelle et à une vie saine pour les générations présentes et futures. Les régimes alimentaires durables sont protecteurs et respectueux de la biodiversité et des écosystèmes, culturellement acceptés, accessibles, économiquement équitables et abordables ; nutritionnelle adéquate, sûre et saine ; tout en optimisant les ressources naturelles et humaines. **(FAO, 2010b)** La nécessité de nourrir une population mondiale croissante exerce inévitablement une pression continue sur la production agricole, ce qui contribue à son tour à la dégradation des ressources naturelles **(FAO, 2009a)**. De plus, les difficultés liées au changement climatique vont aggraver les problèmes actuels de production. Actuellement, les activités de la FAO sur les régimes alimentaires durables explorent les liens et les synergies entre la biodiversité alimentaire, la nutrition, la composition des aliments, la production alimentaire, l'agriculture, l'agriculture urbaine (le programme Food for the Cities) et la durabilité. L'objectif sous-jacent est d'améliorer la sécurité alimentaire et nutritionnelle et de fournir des recommandations alimentaires plus respectueuses de l'environnement aux consommateurs et aux décideurs, notamment en clarifiant ce que l'on entend par un système alimentaire écologiquement durable **(FAO, 2009b)**. Les insectes comestibles en tant qu'aliments s'inscrivent confortablement dans ce scénario respectueux de l'environnement et, par extension, devraient être considérés comme des candidats de choix à la fois comme aliments de base et comme compléments alimentaires, ainsi que plus généralement pour leur rôle dans les régimes alimentaires durables.

3-4 LES INSECTES COMESTIBLES DANS LES PROGRAMMES DE SECOURS D'URGENCE:

Selon le Comité permanent de l'ONU sur la nutrition, le plus grand contributeur à la maladie est la malnutrition. Dans les situations d'urgence, la maladie peut souvent contribuer ou être le résultat direct de la malnutrition. Cela implique non seulement de maintenir la quantité de nourriture que les gens reçoivent, mais aussi la qualité de la nourriture. Pas assez (ou trop) de nourriture, les mauvais types d'aliments et la réponse de l'organisme à un large éventail d'infections qui entraînent la malabsorption des nutriments ou l'incapacité d'utiliser correctement les nutriments pour maintenir la santé sont tous des facteurs qui influent sur la malnutrition. D'un point de vue clinique, la malnutrition se caractérise par un apport insuffisant ou excessif de protéines, d'énergie et de micronutriments comme les vitamines. Cette définition inclut également les infections et troubles fréquents qui résultent d'une alimentation inadéquate **(OMS, 2013)**. Dans les zones où l'insécurité alimentaire est prédominante - 70 pays à travers le monde - les produits alimentaires composés enrichis (FBF) sont généralement distribués aux personnes les plus vulnérables. Les FBF sont des mélanges de céréales partiellement précuites et moulues, telles que le soja, les haricots et les légumineuses, enrichis en micronutriments. Les adaptations spéciales peuvent contenir de l'huile végétale ou du lait en poudre. Le mélange maïs-soja est le principal aliment composé distribué par le Programme alimentaire mondial des Nations Unies, bien que le mélange blé-soja soit également utilisé. Les FBF sont en grande partie conçus pour fournir des suppléments de protéines et de micronutriments dans les programmes d'assistance alimentaire. Ils sont également couramment

utilisés dans les programmes d'alimentation complémentaire et de santé maternelle et infantile du Programme alimentaire mondial (**Pérez-Expósito et Klein, 2009**).

The problem, however, is that the principal ingredients of FBFs (such as soy) are generally not part of traditional diets, nor, in many countries, are they locally available crops, making them ill-suited from nutritional, social and ecological points of view, particularly within the framework of sustainable diets (**FAO, 2010b**). Considering the protein and micronutrient content of many edible insects, their minimal ecological impact, their availability and, above all, their cultural appropriateness in a large majority of developing countries where food insecurity is a primary concern, their use in FBFs ought to be considered



Scorpions à vendre, Chine



Collations et bonbons d'insectes à vendre, Canada



Développer des aliments pour les systèmes aquacoles à partir de larves de mouches



Essais d'alimentation avec du magmeal fabriqué à partir de la mouche domestique commun

4-SÉCURITÉ ET CONSERVATION DES ALIMENTS

La sécurité alimentaire, la transformation et la conservation sont étroitement liées. Les insectes, comme de nombreux produits à base de viande, sont riches en nutriments et en humidité, offrant un environnement favorable à la survie et à la croissance microbienne (**Klunder et al., 2012**). Les méthodes de transformation traditionnelles, telles que l'ébullition, la torréfaction et la friture, sont souvent appliquées pour améliorer le goût et la palatabilité des insectes comestibles et ont l'avantage supplémentaire de garantir un produit

alimentaire sûr. Les préférences culturelles et les aspects organoleptiques (sensoriels) jouent un rôle important dans les méthodes de conservation choisies. Bien qu'une grande variété de méthodes de conservation modernes soit disponible, des mesures spécifiques pour garantir un aliment de haute qualité et sûr peuvent être nécessaires pour différentes espèces d'insectes, en fonction de leur composition biologique. La détermination des méthodes de conservation optimales sera un facteur critique dans la commercialisation des insectes comestibles à l'échelle mondiale, que ce soit pour l'alimentation humaine ou animale

Le système HACCP (Hazard Analysis Critical Control Points), un outil scientifique et systématique, identifie les dangers spécifiques et établit des systèmes de contrôle pour assurer la sécurité des aliments (FAO/WHO, 2001a). Son objectif est de nature préventive, plutôt que de s'appuyer principalement sur des tests de produits finis. HACCP est reconnu dans le monde entier comme un système d'assurance qualité, d'identification, d'évaluation et de contrôle des risques physiques, chimiques et biologiques tout au long du processus de production. Le système peut être appliqué tout au long de la chaîne alimentaire, de la production primaire à la consommation finale.

En plus d'accroître la sécurité alimentaire, l'application du HACCP peut faciliter l'inspection par les autorités réglementaires et promouvoir le commerce international en renforçant la confiance dans la sécurité alimentaire. Pour ces raisons, l'adoption du HACCP tout au long de la chaîne d'approvisionnement en insectes sera un facteur déterminant dans le succès et le développement de la filière des insectes comestibles. Selon la FAO, "tout système HACCP est capable de s'adapter aux changements, tels que les progrès dans la conception des équipements, les procédures de traitement ou les développements technologiques" (FAO/AIEA, 2001).

Bien qu'il ait été déclaré qu'aucun problème de santé significatif n'a résulté de la consommation d'insectes comestibles (Banjo, Lawal et Songonuga, 2006b), la confiance des consommateurs est sans doute fortement corrélée à la sécurité perçue d'un produit donné. Dans cet ordre d'idées, l'application de pesticides sur les insectes destinés au secteur alimentaire soulève des enjeux importants, tant pour la sécurité nutritionnelle que pour la participation au marché mondial. Il est bien documenté que les espèces capturées dans les champs, par exemple, sont plus susceptibles de contenir des pesticides ou des métaux lourds que celles collectées dans les forêts denses. Les chapulines (*Sphenarium purpurascens*) – des sauterelles rouges généralement récoltées dans des régions comme Oaxaca, au Mexique – se sont avérées contenir de fortes concentrations de plomb provenant des mines voisines (Handley, 2007). De nombreux pays d'Afrique n'ont pas de politiques régissant l'utilisation de produits chimiques dans les champs des zones où les villageois ramassent des insectes comestibles. La plupart du temps, la collecte se fait avec peu de connaissances sur les conséquences que pourrait avoir la consommation d'insectes traités chimiquement (Ayieko et al., 2012) Cependant, les questions de sécurité alimentaire sont importantes non seulement pour les insectes collectés dans la nature mais aussi pour les insectes d'élevage.

4-1 CONSERVATION ET STOCKAGE

Les insectes sont souvent consommés rapidement après la récolte. Certains insectes sont commercialisés et transportés à l'intérieur des pays ou au-delà des frontières nationales pour être vendus sur des marchés éloignés ; ce n'est pas rare entre la République démocratique populaire lao et la Thaïlande par exemple. Les insectes vivants, après lavage, sont généralement transportés dans des glacières peu de temps après leur collecte. La réfrigération est également recommandée pour les insectes frits et bouillis.

Les insectes peuvent être conservés et commercialisés après séchage (au soleil) – une méthode typique utilisée dans le traitement de la chenille mopane, par exemple (Allotey et Mpuchane, 2003) (Encadré 4-1) Les environnements secs que l'on trouve généralement dans les endroits où le séchage au soleil est une pratique courante limitent la croissance de la plupart des micro-organismes. Dans les zones humides,

cependant, même les chenilles séchées au soleil sont sensibles à l'humidité, ce qui peut stimuler la croissance des microbes. Les insectes peuvent également être recontaminés pendant le processus de séchage par l'air ou le sol; pour cette raison, les pratiques d'hygiène lors de la transformation sont d'une grande importance et une étape supplémentaire de chauffage/refroidissement est recommandée avant la consommation (Amadi et al., 2005 ; Giaccone, 2005). Dans de nombreuses régions du monde, les insectes « prêts à consommer » sont souvent vendus sur les marchés locaux après avoir été frits ou rôtis. Dans de tels cas, une manipulation hygiénique est tout aussi importante pour prévenir le risque potentiel de recontamination et de contamination croisée. Au niveau domestique, les insectes frais doivent être préparés de manière hygiénique et un traitement thermique suffisant doit être appliqué pour garantir un produit alimentaire microbiologiquement sûr. D'autres méthodes de conservation simples telles que l'acidification des insectes avec du vinaigre ont été couronnées de succès. Un autre exemple est l'utilisation d'insectes pour l'enrichissement en protéines de produits alimentaires fermentés. Il s'agit d'une option de transformation viable avec des avantages mutuels, puisque la diminution du pH dans les produits fermentés à l'acide lactique empêche la croissance de micro-organismes potentiellement nocifs (Klunder et al., 2012). Il y a eu un certain succès dans la transformation et la commercialisation des insectes aux Pays-Bas. Trois espèces d'insectes (larves de vers de farine jaunes, larves de petits vers de farine et criquets migrateurs) sont présentes dans les magasins spécialisés du pays qui sont produits et transformés spécifiquement pour la consommation humaine. Un jeûne d'une journée est appliqué pour s'assurer que l'insecte a un intestin vide (éviscération), et l'insecte est ensuite lyophilisé entier. Cela donne un produit sûr avec une durée de conservation relativement longue (un an), s'il est stocké de manière appropriée dans un endroit frais et sec. Les avantages supplémentaires de la lyophilisation sont le maintien de la valeur nutritionnelle de l'insecte et la capacité du produit à réabsorber l'eau. Néanmoins, des obstacles subsistent : la lyophilisation est coûteuse et entraîne souvent une oxydation indésirable des acides gras insaturés à longue chaîne, diminuant la valeur nutritionnelle du produit et entraînant des odeurs et des goûts "off".

Une foule d'autres méthodes de conservation contemporaines devraient être explorées, telles que l'application de la lumière ultraviolette et des technologies à haute pression, ainsi que des méthodes d'emballage adéquates. D'autres considérations importantes doivent être prises en compte dans le choix de la méthode de conservation : la capacité de prolonger la durée de conservation (et donc de contenir les coûts), en particulier si de grandes quantités d'insectes doivent être traitées simultanément ; la mesure dans laquelle le processus préserve la valeur nutritionnelle des insectes ; et l'acceptabilité culturelle de la méthode de conservation/traitement choisie.

Encadrée 4.1

Transformation de la chenille du mopane pour la consommation humaine

Des précautions doivent être prises pour éviter la contamination tout au long des différentes étapes de transformation afin d'assurer un produit sûr.

L'éviscération

- Assurez-vous que des trous ont été creusés pour l'élimination du contenu de l'intestin.
- Les trous doivent être recouverts immédiatement après l'éviscération.

séchage

• Faire bouillir les sacs (en toile de jute ou en polypropylène) pendant au moins 30 minutes et les sécher au soleil pendant au moins deux heures avant de les utiliser sur le terrain.

stockage

- Assurez-vous que les sacs sont propres et désinfectés avant d'y placer les chenilles.

• Assurez-vous que les sacs sont immédiatement attachés avec une corde et que les coutures sont cousues. Ils doivent ensuite être recouverts d'un matériau en polyéthylène et placés sur une plate-forme surélevée pour empêcher l'infestation croisée du milieu environnant et l'humidité du sol de pénétrer dans les sacs.

Source : extrait de Allotey et Mpuchane, 2003.

4-2 CARACTÉRISTIQUES DES INSECTES, SÉCURITÉ ALIMENTAIRE ET COMPOSÉS ANTIMICROBIENS

Plusieurs problèmes liés à la sécurité alimentaire sont distincts pour les insectes en raison de leur composition biologique : la sécurité microbienne ; toxicité; impalatabilité; composés inorganiques; et l'utilisation des déchets comme nourriture pour les insectes.

Les aliments pour animaux destinés aux insectes développés à partir du fumier et des flux de déchets organiques associés soulèvent des problèmes bactériologiques, mycologiques et toxicologiques. Bien que certains d'entre eux aient été mentionnés dans la littérature (Téguia, Mpoame et Okourou, 2002 ; Awoniyi, Adetuyi et Akinyoso, 2004), ils n'ont pas encore été suffisamment étudiés. La question est de savoir si et dans quelle mesure les insectes séquestrent les organismes pathogènes et les substances toxiques du fumier et des déchets organiques.

4-2-ISÉCURITÉ MICROBIENNE Les insectes peuvent avoir des micro-organismes associés qui peuvent influencer sur leur sécurité alimentaire. Les insectes collectés dans la nature et les insectes élevés dans les fermes peuvent être infectés par des micro-organismes pathogènes, notamment des bactéries, des virus, des champignons, des protozoaires et autres (Vega et Kaya, 2012). De telles infections peuvent être courantes. En général, les pathogènes des insectes sont taxonomiquement distincts des pathogènes des vertébrés et peuvent être considérés comme inoffensifs pour l'homme. Même au sein du genre *Bacillus*, l'espèce pathogène d'insecte *B. thuringiensis* et l'agent pathogène de vertébré *B. anthracis* semblent avoir des cycles de vie différents et qui ne se chevauchent pas (Jensen et al., 1977). De plus, les insectes ont une grande diversité de micro-organismes associés dans leur flore intestinale. Encore une fois, ces organismes ne devraient, en général, pas être considérés comme des pathogènes humains potentiels. Enfin, des spores de divers micro-organismes peuvent être présents sur les cuticules d'insectes, y compris des micro-organismes qui se développent de manière saprotrophe sur des produits d'insectes comestibles et peuvent même contribuer à la dégradation du produit comestible. L'association micro-organisme-insecte susmentionnée doit, du point de vue de la consommation alimentaire, être considérée comme une contamination microbienne et être traitée comme telle. Dans la plupart des pays tropicaux, les insectes sont consommés entiers, y compris leur microflore intestinale. Une exception est la chenille du mopane, qui est vidée (vidage de l'estomac en exerçant une pression sur le corps avec deux doigts), ou mise à jeun pendant un ou deux jours avant consommation. Ce processus peut affecter la composition microbiologique d'un produit alimentaire pour insectes. Pourtant, les études existantes sur la sécurité microbienne des insectes comestibles se concentrent principalement sur les pratiques traditionnelles de récolte et de consommation d'insectes, ce qui rend difficile le déchiffrement des sources causales des infestations. L'élevage d'insectes peut permettre un meilleur contrôle des pratiques d'hygiène et des sources d'alimentation sûres pour les insectes, atténuant ainsi les risques microbiologiques potentiels. La qualité sanitaire de la chenille mopane a été largement étudiée compte tenu de sa consommation fréquente dans de nombreux pays africains (Mpuchane, Taligoola et Gashe, 1996 ; Allotey et Mpuchane, 2003). Une étude menée au Botswana a démontré une détérioration de la qualité du phane séché au soleil (la chenille mopane; *Imbrasia belina*) (c'est-à-dire la désintégration de la chair interne et le changement de couleur dû à la croissance de

moisissures et aux cavités dans l'exosquelette chitineux). Les isolats fongiques les plus fréquemment trouvés étaient des espèces d'*Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Cladosporium* et *Phycomycetes*. Les espèces ou souches d'*Aspergillus*, *Penicillium* et *Fusarium* sont associées à la mycotoxineproduction. **Mpuchane, Taligoola et Gashe (1996)** ont trouvé des niveaux d'aflatoxines variant de 0 à 50 µg par kg de produit ; le niveau maximal de sécurité fixé par la FAO est de 20 µg par kg. La consommation fréquente d'aliments infectés sur de longues périodes est susceptible de présenter des risques pour la santé. Bien que les chenilles de cette étude particulière aient été éviscérées, bouillies pendant 15 à 30 minutes et étalées sur des feuilles ou sur le sol pour sécher au soleil pendant 1 à 3 jours, on a émis l'hypothèse que la contamination était causée par l'une des sources suivantes : eau de mauvaise qualité, les insectes vecteurs (comme les mouches et les diptères) et le sol. Pour maintenir la meilleure qualité sanitaire, l'étude a recommandé de sécher les chenilles rapidement et uniformément après la récolte et la transformation et de les stocker dans un endroit frais et sec. En Afrique de l'Ouest, trois espèces de scarabées rhinocéros du genre *Oryctus* sont couramment consommées : *O. monoceros* et *O. owariensis*, qui se reproduisent dans les cocotiers et les palmiers à huile morts, et *O. boas*, qui se trouve dans la végétation en décomposition et les tas de fumier. Parmi les trois espèces de coléoptères, des bactéries pathogènes ont été trouvées dans *O. monocerus*, notamment *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* et *Bacillus cereus*, qui peuvent présenter un risque pour les consommateurs (**Banjo, Lawal et Adeyemi, 2006a**). Cette contamination peut être due à un traitement, une manipulation inappropriés lors de la vente au détail et de l'achat, ou à une exposition à l'air. Comme la consommation des coléoptères contaminés par la bactérie pathogène pouvait présenter des risques pour les consommateurs, il a été recommandé aux détaillants de larves partiellement séchées et frites d'assurer un chauffage adéquat des produits pour éliminer les pathogènes. L'importance d'une manipulation hygiénique et d'un stockage correct a été soulignée par **Klunder et al. (2012)** dans une expérience en laboratoire portant sur le contenu microbiologique de larves de vers de farine jaunes (*Tenebrio molitor*) et de grillons domestiques (*Acheta domesticus*) d'élevage. Faire bouillir les insectes dans l'eau pendant quelques minutes a éliminé les entérobactéries, mais les spores ont survécu à ce processus, avec le potentiel que les spores puissent germer et que les bactéries se développent dans des conditions favorables, telles que des températures d'environ 30 ° C et un environnement humide, provoquant gaspillage de nourriture. Les bactéries sporulées ont été trouvées dans l'intestin des insectes et sur la peau et sont probablement transmises par le sol. Les techniques de conservation alternatives qui n'impliquent pas l'utilisation d'un réfrigérateur sont le séchage et l'acidification. La fermentation lactique de mélanges composites farine/eau contenant 10 à 20 % de larves de vers de farine rôties en poudre a entraîné une acidification réussie et s'est avérée efficace pour préserver la durée de conservation et la sécurité en contrôlant les entérobactéries et les spores bactériennes. Dans une autre expérience, des analyses physico-chimiques et microbiologiques des cinq espèces d'insectes suivantes ayant un potentiel d'élevage ont été effectuées : superworm (*Zophobas morio*), ver jaune de farine (*Tenebrio molitor*), teigne de la cire (*Galleria melonella*), butterworm (*Chilecomadia moorei*) et criquet (*Acheta domesticus*). Ni *Salmonella* ni *Listeria monocytogenes* n'ont été identifiés dans les échantillons analysés et il a été conclu qu'il est peu probable que ces insectes attirent la flore microbienne qui présente des risques pour l'homme. Cependant, il est toujours recommandé que les insectes subissent une transformation pour rendre inactifs ou réduire leur contenu microbien. Cela pourrait impliquer la cuisson (par exemple bouillir ou rôtir) ou la pasteurisation (**Giaccone, 2005**). Contrairement à être un danger microbien potentiel, certains insectes comestibles sont connus pour contenir des peptides antibactériens. Un nouveau peptide (Hf-1) provenant des larves de la mouche domestique commune (*Musca domestica*), par exemple, s'est avéré inhiber des souches d'agents pathogènes alimentaires tels que *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhimurium*, *Shigella*

dysenteriae, Staphylococcus aureus et Bacillus subtilis. La présence de Hf-1, également présent dans le jus d'orange, suggère que l'insecte a un potentiel en tant que conservateur alimentaire (Hou et al., 2007).

4-2-2 toxicité Certaines espèces d'insectes considérées comme toxiques sont consommées après que des mesures de précaution aient été prises). Au Cameroun et au Nigeria, *Zonocerus variegatus* doit être préparé de manière spécifique (Barreteau, 1999) en chauffant les insectes dans de l'eau tiède puis en changeant l'eau avant la cuisson (Morris, 2004). De même, le tessaratomid *Encosternum* (= *Natalicola*) *delegorguei* au Zimbabwe et en Afrique du Sud excrète un liquide piquant (Faure, 1944 ; Bodenheimer, 1951) qui peut provoquer une douleur intense et même une cécité temporaire s'il entre en contact avec les yeux (Scholtz, 1984) . Par conséquent, l'insecte est consommé après avoir retiré le liquide en pressant le thorax et en plaçant l'insecte dans de l'eau tiède.

Dans la région de Carnia, dans le nord-est de l'Italie, il est de coutume que les enfants mangent les ingluvies sucrées d'un papillon de nuit aux couleurs vives du genre *Zygaena* (Zagrobelny et al., 2009) (les ingluvies sont la partie élargie de l'œsophage chez de nombreux mollusques, insectes et oiseaux, qui sert à accumuler, à stocker et parfois aussi à amorcer le traitement chimique des aliments). Les papillons contiennent des glucosides cyanogéniques, qui libèrent du cyanure d'hydrogène toxique lors de la dégradation. Ils contiennent de très faibles quantités de la substance toxique mais de grandes quantités de divers sucres. Les enfants ramassent les papillons au début de l'été quand ils sont abondants et les disséquent eux-mêmes, ne mangeant que les ingluvies.

Il existe cependant des rapports limités sur les réactions indésirables causées par la consommation d'insectes. Des cas de syndrome d'ataxie, caractérisés par des tremblements, une ataxie et divers niveaux d'altération de la conscience, ont été signalés après la consommation du ver à soie saisonnier *Anaphe venata* dans le sud-ouest du Nigeria (Adamolekun, 1993 ; Adamolekun, McCandless et Butterworth, 1997). D'autres études ont indiqué que la réaction était très probablement liée à une sous-alimentation structurelle chez les consommateurs qui, présentant une carence marginale en thiamine en raison d'un régime essentiellement à base de glucides contenant des glycosides cyanogénétiques liant la thiamine, connaissent une exacerbation saisonnière de leur carence en thiamine due aux thiaminases chez aliments de saison. À leur tour, ils éprouvent une réaction indésirable à *A. venata*, qui contient de telles thiaminases. Les insectes comestibles peuvent parfois contenir certaines caractéristiques qui peuvent être dangereuses. Par exemple, la consommation de chenilles avec des poils contenant des substances toxiques peut être très dangereuse. Ces poils doivent être brûlés (Muyay, 1981).

4-2-3 CONTAMINATION INORGANIQUE

Des métaux nocifs provenant de l'environnement ont été trouvés dans les cellules de plusieurs parties du corps des insectes - telles que la graisse, le tégument (exosquelette), les organes reproducteurs et le tube digestif - où ils se bioaccumulent. Une étude sur les larves de vers de farine jaunes (*Tenebrio molitor*), par exemple, a montré que les insectes accumulent du cadmium et du plomb dans leur corps lorsqu'ils se nourrissent de matière organique dans des sols contenant ces métaux (Vijver et al., 2003). Cependant, Lindqvist et Block (1995) ont montré qu'après chaque mue, les larves perdent du cadmium, et des quantités encore plus importantes de métal sont perdues après la métamorphose. Des recherches supplémentaires sur les conséquences que cela pourrait avoir sur la consommation humaine sont nécessaires.

Un autre sujet de préoccupation est l'absorption de pesticides par les insectes comestibles tels que les criquets et les sauterelles, qui peuvent causer des problèmes lorsqu'ils sont consommés en grande quantité.

Ces risques sont une préoccupation majeure dans les pratiques traditionnelles de récolte et de consommation d'insectes dans la nature, où le contrôle des applications chimiques est difficile. C'est encore un autre avantage potentiel de l'élevage d'insectes, où les risques chimiques peuvent être contrôlés dans une plus large mesure.

4-3 ALLERGIES

4-3-1 RÉACTIONS ALLERGIQUES AUX INSECTES COMESTIBLES

Comme la plupart des aliments contenant des protéines, les arthropodes peuvent induire des réactions allergiques chez les humains sensibles (médiées par l'immunoglobuline E (IgE)). Ces allergènes peuvent causer de l'eczéma, de la dermatite, de la rhinite, de la conjonctivite, de la congestion, de l'œdème de Quincke et de l'asthme bronchique. Alors que certaines personnes ont des antécédents d'atopie (hypersensibilité allergique), il est également possible de développer une sensibilité allergique par une exposition à long terme. La majorité des cas sont de nature inhalante ou contactante (**Phillips et Burkholder, 1995; Barletta et Pini, 2003**). Les réactions allergiques au venin d'abeille et de guêpe (allergènes injectables) sont bien connues.

Les personnes en contact constant avec des insectes, telles que les entomologistes, les travailleurs de laboratoire (travaillant principalement avec des coléoptères, des cafards, des criquets, des mouches à viande, des grillons, des mites ou des mouches) et les travailleurs agricoles et industriels (travaillant principalement avec des charançons du haricot, des charançons des céréales, des mouches des champignons, des égouts les mouches, les mouches domestiques, les vers à soie ou les appâts pour poissons, comme les larves de mouches et de mites) sont les plus vulnérables à ces allergies. Les moyens de développer des réactions allergiques comprennent l'inhalation de poussière contenant des matières fécales de cafards et le contact cutané avec des poils de chenille. Des études suggèrent que les personnes fréquemment en contact avec des larves de *T. molitor*, par exemple, courent le risque de développer certaines réactions allergiques (**Senti, Lundberg et Wüthrich, 2000 ; Siracusa et al., 2003**). La même chose a été trouvée pour l'espèce étroitement apparentée *Alphitobius diaperinus*. Les symptômes des réactions allergiques comprennent une inflammation des yeux et du nez (*T. molitor*) et des démangeaisons, un léger gonflement, une inflammation du nez, de l'asthme et une éruption cutanée (*A. diaperinus*) (**Schroeckenstein et al., 1988 ; Schroeckenstein, Meier- Davis et Bush, 1990**). Une réactivité croisée peut également se produire entre les deux espèces, ce qui signifie que les anticorps pour un allergène spécifique chez une espèce d'insecte sont capables d'identifier les allergènes chez une autre et peuvent ainsi induire une réaction allergique à cet insecte également. La réactivité croisée n'est cependant pas absolue; certaines personnes développent des réactions allergiques à des insectes spécifiques avec peu de réactivité croisée avec d'autres insectes en raison d'une exposition à long terme à de grandes quantités d'allergènes provenant de cet insecte spécifique. Dans les environnements domestiques où plusieurs insectes et autres arthropodes peuvent coexister, il est difficile d'évaluer si une personne allergique a des sensibilités multiples causées par tous les arthropodes ou une sensibilité allergique générale aux invertébrés (réactivité croisée) (**Barletta et Pini, 2003**). Les tropomyosines (protéines liant l'actine qui régulent les contractions musculaires) des cafards, des acariens et des crevettes ont été signalées comme étant allergènes. Certains patients allergiques aux acariens qui étaient de plus en plus exposés à l'antigène d'acarien sont devenus sensibles aux tropomyosines de fruits de mer, par exemple (**Reese, Ayuso et Lehrer, 1999**). Ces résultats suggèrent que les personnes allergiques aux fruits de mer, par exemple, pourraient avoir des réactions allergiques à la consommation d'insectes comestibles.

Il existe un certain nombre de preuves d'allergies induites par l'ingestion d'insectes. Parce que les larves d'abeilles contiennent du pollen, par exemple, il est conseillé aux personnes allergiques au pollen de ne pas

les manger (Chen et al., 1998). Des symptômes asthmatiques ont été enregistrés lors de l'ingestion d'orthoptères (**Auerswald et Lopata, 2005**). Dans une étude menée en République démocratique populaire lao, un répondant ayant des antécédents de consommation d'insectes aurait développé une allergie aux punaises d'eau géantes, tandis qu'un autre aurait développé une allergie à tous les insectes comestibles, ainsi qu'aux crevettes (**J. Van Itterbeeck, communication personnelle, 2012**). Cela soulève la question du potentiel de développement de la sensibilité causée par l'ingestion d'insectes comestibles et par la manipulation en cuisinant et en mangeant. Il est douteux que des mesures de transformation telles que l'ébullition détruisent les composants allergènes (**Phillips et Burkholder, 1995**). Pour la grande majorité des gens, cependant, l'alimentation et/ou l'exposition aux insectes ne présentent pas de risque significatif de provoquer des réactions allergiques, en particulier si les individus n'ont pas d'antécédents de sensibilité aux arthropodes ou aux allergènes d'insectes acquise par une exposition à long terme à un allergène en quantité suffisante. quantités.

Chapitre IV:
insectes ravageurs des denrées stockées
en algerie

1-LES PRINCIPAUX INSECTES RAVAGEURS DES DENREES STOCKEES EN ALGERIE:

Les insectes sont les principaux ravageurs des denrées stockées. Ils peuvent causer des Dégâts considérables au niveau des stocks. La connaissance de ces ravageurs et leur biologie est le premier élément pour diminuer les dégâts.

Ces insectes nuisibles peuvent être répartis en deux principaux groupes. Ces derniers renferment plusieurs ordres d'insectes mais les plus fréquents sont les Coléoptères et les Lépidoptères (**Delobel & Tranc, 1993**).

- Les ravageurs primaires capables de s'attaquer à des graines intactes telles que *Rhyzopertha dominica* F. (considéré comme le ravageur le plus dangereux du blé) ou *Callosobruchus maculatus* F. (ravageur du niébé) (Parmentier & Fouabi, 1989).

• Les ravageurs secondaires qui ne sont capables d'attaquer que les graines infectées exemple : les *Tribolium* (**Gwinner & al., 1996**).

➤ *Callosobruchus maculatus* F.

a. Position systématique l'espèce fut décrite pour la première fois par Fabricius en 1775. (**Jaloux, 2004**) Sa position systématique actuelle a été précisée par **Bridwell en 1929** puis par **Southgat en 1979**.

Callosobruchus maculatus F. appartient à la systématique suivante:

Règn

Embranchement : Arthropodes

Classe : Insectes

Ordre : Coléoptères

Famille : Bostrichides

Genre : *Callosobruchus*

Espèce : *Callosobruchus maculatus* (**Fabricius, 1792**).

b. Description de l'insecte L'adulte de *C. maculatus* F. mesure 3 à 3,8T millimètre de long , le corps est

de forme oblongue, de couleur brun rougeâtre, caractérisé par un prothorax conique, des fémurs postérieur pourvus d'une dent au bord infero-externe. Le prothorax est noir et orné à sa base d'une tache blanc-jaunâtre. Les élytres ne recouvrent pas entièrement l'abdomen et possèdent quatre macules noires arrondies placées latéralement, les deux plus grosses vers le

milieu, les deux autres vers l'apex (**Hoffman, 1945 in khalfi - Habbes, 2007**). Les antennes sont assez longues, les quatre premiers articles sont roux. La femelle de taille plus importante que le mâle, elle se distingue par la coloration et les motifs des élytres et du pygidium

(**Ndoutoume-Ndong, 1996**). Après la copulation, *C. maculatus* F. dépose ses oeufs sur les graines (**Alzouma, 1987**) ;

les oeufs sont de forme ovoïde et sont déposés sur le péricarpe (**Huignard & al, 2002 ; Delobel & Tran, 1993**). Ils sont pondus et fixés par la femelle avec une substance gélatineuse

à la surface des graines et des gousses (**Delobel & Tran, 1993**). La larve du premier stade (néonate) est de type chrysomélien classique mais avec des

pattes très courtes et robustes, une fois dans la graine, elle passe au deuxième stade en

donnant naissance à une larve fortement incurvée de 4 millimètre de long (Lepesme, 1944).

La larve de *C. maculatus* F. se distingue des autres espèces par un front dépourvu de sensille

médian, un clypéus avec un seul sclérite transversal et des stipes portant de 11 à 13 soies (Delobel & Tranc, 1993).



Femelle de *Callosobruchus maculatus* sur une feuille

c. Origine et répartition géographique

Selon Hoffman & al. (1962), in jaloux (2004), elle serait ré pondue dans toutes les zones tropicales, subtropicales, et dans le bassin méditerranéen. *C. maculatus* F. est une espèce

très polyphage dont la plante hôte la plus fréquentée est *Vigna unguiculata* (Weidner & Rack, 1984). Elle est très nuisible dans toutes les zones climatiques où les conditions lui permettent de se développer aussi bien en plein champ (Balachowsky & al., 1962 in Tiaiba, 2007).

d. Cycle de développement Selon Delobel & Tranc (1993), les conditions optimales de développement se situent à

30 °C et 70 % d'humidité relative. Par contre, l'étude réalisée par Khalfi-Habbes (1983) in Khalfi-Habbes (2007), a révélé que cette espèce a un développement maximal à une température de 28° et une humidité de 75.85 %. Sous ces deux facteurs abiotiques, la fécondité moyenne des femelles est de 82 oeufs par femelle et la durée du cycle est de 30 jours. Par contre, la fertilité est maximale à une température de 30°C et une hygrométrie de 90%. Selon Kellouche (2005), la durée du cycle du développement (de l'oeuf à l'adulte) est en moyenne de 28 ± 3 jours dans les graines de pois-chiche. L'incubation des oeufs dure environ 1 semaine, le développement larvaire 15 jours et la nymphose 6 jours

. e - Les dégâts causés *Callosobruchus maculatus* F. exerce une pression permanente sur les légumineuses ;

cette menace est due à sa grande polyphagie et sa faculté d'adaptation à des régions climatiques variées (Utida, 1954). Elle contamine généralement les graines dans les cultures et une fois introduites dans les stocks elle peut continuer à se multiplier indéfiniment (Balachowsky, 1963). La bruche de niébé cause non

seulement une réduction directe du pois sec, mais également une diminution de la viabilité des

semences et de la qualité des graines suite au développement de moisissures qui les rendent impropres à la consommation. En outre, au cours de leur développement, les larves de bruches éliminent l'azote sous forme d'acide urique toxique qui s'accumule à l'intérieur des graines, ce qui rend le niébé parasitaire impropres à la consommation.

Ndoutoume-Ndong & Rojas-Rousse (2007)

Tribolium: Les ravageurs secondaires qui ne sont capables d'attaquer que les graines



infectées (Gwinner & al., 1996)

le petit ver de la farine, tribolion brun de la farine, est une espèce d'insectes coléoptères de la famille des Tenebrionidae à répartition cosmopolite.

D'après (Jaquelin Du Val, 1868) C'est un insecte ravageur commun connu pour attaquer et infester les denrées alimentaires stockées, notamment la farine et les grains de céréales, dans les silos, entrepôts, boulangeries, épicereries et maisons particulières.

Classification:

Règne: Animalia

Sous-règne: Bilateria

Infra-règne: Protostomia

Super-embr.: Ecdysozoa

Embranchement: Arthropoda

Sous-embr.: Hexapoda

Classe: Insecta

Sous-classe: Pterygota

Infra-classe: Neoptera

Super-ordre: Holometabola

Ordre: Coleoptera

Sous-ordre: Polyphaga

Infra-ordre: Cucujiformia

Super-famille: Tenebrionoidea

Famille: Tenebrionidae

Genre: Tribolium (Tenebrionidae)

Espèce: Tribolium confusum

(Jaquelin Du Val, 1868)

Distribution et habitat: L'espèce est probablement originaire d'Afrique, mais a acquis une répartition cosmopolite, avec une préférence pour les climats tempérés. Elle a été signalée pour la première fois en Europe en 1900

Biologie: Les adultes sont très actifs et se déplacent rapidement quand ils sont dérangés, mais ils sont incapables de voler.

La durée de vie moyenne des adultes est d'environ un an. Les femelles, très prolifiques, pondent une moyenne d'environ 450 œufs. Ceux-ci sont pondus directement sur les matières alimentaires (farine, grains cassés) auxquelles ils adhèrent grâce à une sécrétion collante.

Les larves éclosent au bout de cinq à douze jours et achèvent leur croissance en un à quatre mois. Au dernier stade de développement, les larves, de couleur jaunâtre, mesurent environ 5 mm de long.

le nombre de stades larvaires varie de 5 à 12 selon la température, l'humidité relative et la qualité de l'alimentation.

L'émergence de l'adulte a lieu six jours après la nymphose à 32,5 °C et une humidité relative de 70 %.

Le développement complet de l'œuf à l'adulte se fait en six semaines environ dans des conditions climatiques favorables[5].

L'optimum thermique de l'espèce se situe entre 32 et 35 °C, son développement s'arrête au-dessous de 22 °C. Elle résiste aux basses hygrométries.

Ces insectes ont un régime très polyphage Ce sont des cléthrophages secondaires qui se nourrissent, tant au stade larvaire qu'au stade adulte, surtout de brisures et attaquent les grains endommagés, suivant souvent les charançons en aggravant leurs dégâts.

Tribolium confusum peut aussi se nourrir sur sept espèces de champignons, et par prédation aux dépens d'autres insectes des grains, notamment *Plodia interpunctella*, la pyrale indienne de la farine[6].

Ces insectes peuvent aussi se cannibaliser, surtout si la densité de population est élevée. Les larves peuvent consommer les œufs, les nymphes et les adultes immatures, les adultes peuvent cannibaliser tous les stades sauf les adultes

Dégâts: Le tribolium brun attaque les grains endommagés ou brisés ; on le trouve surtout dans la farine, la poussière et les impuretés. Ce coléoptère cause des dégâts en s'alimentant mais probablement davantage en contaminant les grains, par les cadavres d'insectes, les mues et pelotes fécales, ainsi que des liquides (quinones), et en donnant une mauvaise odeur aux denrées infestées. Cela peut entraîner une mauvaise acceptation des aliments par le bétail et le rejet par les acheteurs de grains. Souvent, l'infestation par les tribolions favorise le développement de moisissures, qui contribuent à réduire considérablement la qualité et la valeur du grain

Ennemis naturels: Parmi les ennemis naturels de *Tribolium confusum* figurent notamment des acariens, tels que *Pediculoides ventricosus*, *Acarophenax tribolii*, *Blattisocius keegani* et *Blattisocius tarsalis* (prédateur des œufs, et des insectes hyménoptères parasitoïdes de la famille des Bethylidae, comme *Holepyris syvanidis* (syn. : *Rhabdepyris zea*), qui parasitent les larves

Tribolium confusum



Adulte Vue dorsale

1-2-Méthode de lutte contre les insectes nuisibles des denrées stockées en algerie: La protection des denrées stockées soulève souvent des polémiques, du fait que les dégâts surviennent quand les récoltes sont encore sur pied (Giles & Ashman, 1971). Pour cela, il est essentiel d'assurer des méthodes de lutte qui visent l'élimination des ravageurs dans les stocks.

A-Lutte biologique: Selon Subramanyam & Hagstrum (1955) in Tiaiba (2007), la raison principale pour laquelle les chercheurs sont amenés à trouver des alternatives à la lutte chimique est le développement du phénomène de résistance des insectes ravageurs vis-à-vis des pesticides chimiques.

C'est une méthode qui utilise des prédateurs, des parasites, des agents pathogènes et

des insectes (**Proctor, 1995**). Elle utilise aussi des extraits des plantes ; ces dernières ont été connues depuis des temps immémoriaux comme sources de protection des denrées stockées, beaucoup ont été utilisées par des fermiers depuis le seizième siècle (**Belmain & Stevenson, 2001 in Kachebi & Kebbi, 2003**). Différentes parties (feuilles, tiges, racines, écorces) de divers espèces sont utilisées dans plusieurs pays du monde (Afrique, Chine, Inde...) (**Dales, 1996**).

Selon l'hypothèse coévolutive de **Enreich & Raven (1964) in Tiaiba (2007)**, les végétaux possèdent des systèmes de défense contre les déprédateurs grâce à leurs développements de génotypes capables de produire des composés secondaires ayant une activité insecticides, répulsive ou inhibitrice vis-à-vis de ces ravageurs (**Huignard & al., 2002**). Ces composants naturels ne courent aucun danger sur l'environnement ni sur la santé humaine, en plus ils sont facilement dégradables et possèdent un large spectre d'activité insecticide (**Lawrence & Manshing, 1993 in benkhellat, 2002**).

B-Lutte physique: La lutte physique est la destruction des insectes par la modification des conditions environnementales (**Fields, 1992**). Ces moyens de lutte physique font appel au froid, à la chaleur, aux radiations ionisantes et, aux matières (inertes) (**Fleurat - Lessard, 1987**). Les insectes sont sensibles aux températures élevées, il suffit de leur imposer une température de 55°C durant une heure pour détruire à la fois les oeufs, les larves et les adultes.

Dans le cas du *R. dominica*, l'élimination des insectes à tous les stades est obtenue à 60° C pendant 10 minutes (**Steffan, 1978**). Cependant, la méthode de Shahein (**1991**), consiste à faire passer un courant d'air chaud dans la masse des graines, la mortalité absolue des individus est obtenue pendant 3 minutes de temps d'exposition à 50° C. Par contre, l'exposition du capucin des grains à 9 °C pendant 3 à 10 semaines produit l'élimination de tous les stades larvaires dans les stocks (**Fields, 1992**).

D'après **Lee & al. (1993)**, les insectes présentent des perturbations physiologiques suivies d'une mort certaine sous l'action d'un courant d'air frais. Les cellules sont progressivement déshydratées et le métabolisme est abaissé.

Selon **white (2000) in Benkhellat (2002)**, les insectes ne se développent pas et ne se nourrissent pas aux températures inférieures à 10° C, ils finissent par mourir. À l'heure actuelle

deux sortes de radiation ionisante sont utilisées pour la lutte contre les insectes. Dans le

premier cas, il s'agit des rayons gamma ; dans le second cas, il s'agit d'électrons rapides

produits par un accélérateur d'électrons (**Vanloon, 1984 in Anonyme, 1984**).

D'après **Gwinner & al. (1996)**, la radiosensibilité des ravageurs varient selon les

espèces ; les stades les plus sensibles sont les oeufs et les larves. Ce moyen de lutte exige un personnel qualifié et des structures de stockage adaptées, pour éviter d'exposer les opérateurs et les consommateurs au danger (**Kellouche, 1987**).

2-principaux insectes ravageurs des légumineuses alimentaires en algérie:

Insectes de sol : charançons (*Sitona* sp) : Les adultes se nourrissent des feuilles, mais ont une faible incidence sur la plante. Les larves consomment les nodosités des racines. Les semis les plus précoces en sont les plus attaqués (**Mustapha hatem, 2021**)

Insectes foliair Noctuelles, Coléoptères, Pucerons, Mineuse, Charançon. Pour les noctuelles, il s'agit surtout de la tordeuse du pois, et de la noctuelle de la tomate. La tordeuse du pois est un insecte lépidoptère de la famille des Tortricidae qui vit en Europe. C'est un ravageur des cultures dont les chenilles se nourrissent au détriment des pois, des lentilles et des vesces. Pour la noctuelle de la tomate, ravageur cosmopolite, c'est un des ravageurs les plus importants dans les zones tropicales et subtropicales, Les dégâts les plus graves sont provoqués par l'attaque des organes reproductifs tels que les boutons et les capitules des fleurs. Chez les Légumineuses, les fleurs sont attaquées et les gousses trouées

Pour les pucerons, plusieurs espèces sont inféodées aux légumineuses alimentaires. Le puceron noir de la fève : *Aphis fabae*, Le puceron du pois: *Acyrtosiphon pisum*, Le puceron noir de la luzerne : *A. craccivora*

Insectes des feuilles et des gousses:

La mineuse : Le dégât principal est dû aux larves qui minent les feuilles ; il est particulièrement grave sur les petites plantes qui peuvent en mourir. Les plantes âgées



tolèrent mieux les attaques de ce ravageur. Cependant, si l'infestation est forte, la capacité de photosynthèse est réduite, ce qui entraîne le ralentissement du développement des fleurs et des fruits.

La punaise, genre *Lygus*, est présent en Algérie surtout sur fève. Il s'attaque aux jeunes gousses et aux graines au champ

2-2.1 La lutte contre ces bioagresseurs par des méthodes non chimiques comme :

l'utilisation des auxiliaires : cas de la mineuse du pois chiche et des pucerons.

L'utilisation stricte de semences sélectionnées (cas des bruches).

Propreté des lieux de stockages des semences: cas des bruches et autres insectes de stockage

2-2-2La lutte contre ces bioagresseurs par méthodes chimiques: l'utilisation d'insecticides au champ (Ex. Karaté

zéon) et de fumigants (Ex. Phostoxin) et insecticides(pirimiphos-methyl) dans les locaux de stockage(**Mustafa hatem,202**



El Oued – élever des larves de mouches pour booster l'agriculture en Algérie

II

partie pratique

Partie pratique

LA PREMIÈRE ÉTAPE DU CÔTÉ PRATIQUE

C'est de préparer des pièges pour insectes. Ces pièges sont fabriqués comme suit:

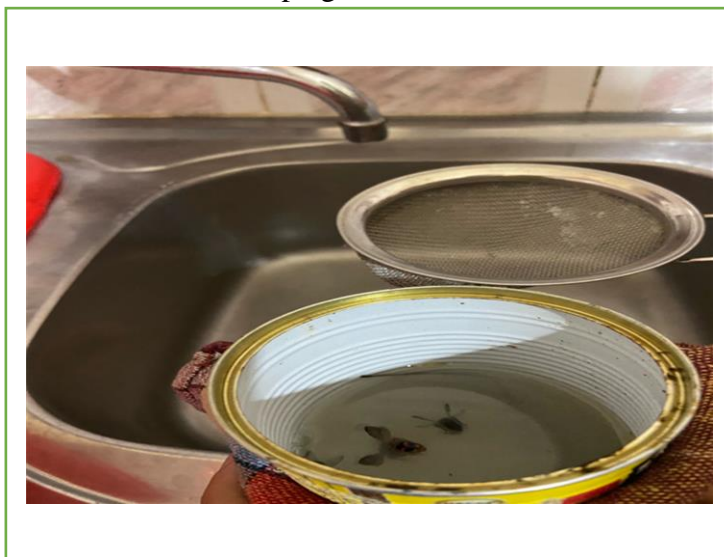
Une pointe remplis de solution eau. Détergent (Isis) et le sel pour que les insectes ne soient pas détériorés.

On place les pièges dans quatre endroits (les quatre coins de la cité universitaire Mohamed Sadik Ben Yahia El Khroub Constantine : sud, nord, est, ouest)



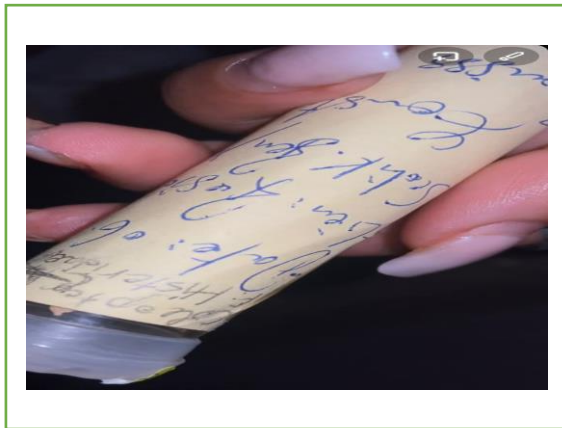
emplacement de les pièges

Après une semaine on collecte les pièges



collecte des pièges

ensuite on analyse les insectes par le microscope dans le laboratoire de l'université Frères Mentouri Constantine pour l'identification. Après l'identification, on met chaque insecte dans une boîte de Pétri qui est remplie d'alcool avec l'étiquage (on écrit la date, la localisation, et le genre de l'insecte).



1-LES CHRYSOMELIDAE

1-1 DEFINITION :

sont une famille de Coléoptères divisée en dix sous-familles et rassemble environ 37 000 espèces herbivores réparties dans le monde entier. Les Chrysomelidae sont des Coléoptères aux élytres glabres et souvent très colorés, parfois avec des reflets métalliques, et qui couvrent la totalité de l'abdomen. Leurs antennes sont filiformes et mesurent moins de la moitié du corps. Les tarses ont 4 articles apparents (en réalité, il y en a 5 dont un très réduit) à chaque patte. Les Chrysomelidae ont des formes assez variées que l'on peut résumer en 4 catégories :

- une forme globuleuse à silhouette de coccinelle (mais sans les antennes en massue) pour laquelle les petites espèces ont souvent les fémurs postérieurs élargis (ex. : les Chrysomelinae)
- une forme cylindrique, avec des élytres aux bords parallèles et avec la tête enchâssée sous le thorax (ex. : les Cryptocephalinae)
- une forme en disque très aplati, avec des élytres élargis qui cachent la tête et les pattes (ex. : les Cassidinae)
- une forme allongée, où la tête, le thorax et l'abdomen sont nettement distincts et les pattes bien visibles (ex. : les Criocerinae).

1-2 CRITERES DE DETERMINATION DES CHRYSOMELIDAE :

- surface des élytres (couleur, granulations, stries, ponctuations)
- insertion des antennes
- articles des pattes

1-3 LE ROLE DES CHRYSOMELIDAE

Les chrysomèles sont au cœur d'une communication chimique intense : elles appréhendent leur environnement grâce aux odeurs émises par les plantes et se protègent de la prédation en libérant dans l'atmosphère un bouquet de composés volatils répulsifs ou toxiques.

2/LES HISTERIDAE,

Les Histeridae, Histeridés en français, sont une famille d'insectes coléoptères. Leur répartition couvre l'ensemble du monde. Plus de 4200 espèces ont d'ores et déjà été décrites dans cette famille comprenant notamment les histers (ou escarbots) du genre Hister. Ces Polyphages se distinguent notamment par des antennes en massue coudées et de courts élytres qui ne recouvrent que cinq des sept tergites de l'abdomen. Ce sont des prédateurs, essentiellement nocturnes, qui feignent la mort en cas de danger. Ces insectes se sont avérés utiles en médecine légale pour aider à évaluer le moment d'un décès en milieu non

Partie pratique

humanisés (crime, découverte d'un cadavre à la suite d'une disparition, accident sans témoin). Ils sont aussi particulièrement appréciés en agriculture, dans le contrôle des insectes ravageurs, particulièrement des insectes coprophages et de la mouche domestique. Certaines espèces sont cannibales et doivent donc être séparées dans le cadre de leur élevage en captivité. Leur étude s'appelle l'histéridologie.

3/LES PAPILLONS :

3-1 DEFINITION :

Les Lépidoptères (Lepidoptera) sont un ordre d'insectes holométaboles dont la forme adulte (ou imago) est communément appelée papillon, dont la larve est appelée chenille, et la nymphe chrysalide.

Il s'agit d'un des ordres d'insectes les plus répandus et les plus largement connus dans le monde, comprenant entre 155 100 et 174 233 espèces décrites[1] (dont près de 7 000 en Europe et 5 000 en France[2]) réparties dans 136 familles et 43 super-familles[3]. Les plus anciennes traces fossiles de papillons montrent que ces insectes ailés vivaient déjà sur la planète il y a 201 millions d'années, au côté des premiers dinosaures

Ils se caractérisent à l'état adulte par trois paires de pattes (comme tous les insectes) et par deux paires d'ailes recouvertes d'écaillés de couleurs très variées selon les espèces. Ils pondent des œufs qui donnent naissance à des chenilles. Ces dernières se transforment ensuite en chrysalides (s'abritant ou non dans un cocon préalablement tissé). Il en émerge enfin l'imago, ou papillon. Leur cycle biologique se trouve donc composé de quatre stades distincts : œuf, chenille, chrysalide et papillon. Ce sont des insectes à métamorphose complète.

3-2QUEL EST LE ROLE DU PAPILLON ?

Tout comme les abeilles, le papillon est un insecte pollinisateur. Grâce à sa bouche en forme de trompe, Il va se poser sur une fleur pour se nourrir de son nectar

4/LES FORFICULES :

4-1 DEFINITION :

Les forficules, communément appelés perce-oreilles, sont aujourd'hui reconnus comme agents de lutte biologique dans différentes cultures. Ils comptent parmi les auxiliaires les plus actifs.

4-2EST-CE QUE LES PINCES OREILLES SONT DANGEREUX ?

En dépit de leur aspect redoutable et de leur mauvaise réputation, les perce-oreilles (ou forficules) sont inoffensifs pour les humains. En fait, ils sont souvent bénéfiques, car ils se nourrissent de matière en décomposition et de larves d'insectes, d'œufs de limaces, de pucerons et d'autres ravageurs des jardins.

4-3POURQUOI LES PINCES OREILLES DANS LA MAISON ?

Le plus souvent, les perce-oreilles pénètrent dans les maisons par les fissures et les crevasses qui constituent une voie d'accès et un point d'entrée de l'extérieur vers l'intérieur. Ces fissures peuvent être des portes et des fenêtres mal scellées, ou des fissures plus graves, comme celles de vos fondations.

4-4COMMENT SE DEBARRASSER DE PINCES OREILLES ?

Enfouissez dans le sol jusqu'à rebord de petites cannes de sardines et placez quelques cuillères d'huile de poisson dans celles-ci, les perce-oreilles sont hautement attirés par cette odeur. Si vous utilisez des contenants de jus surgelé, conservez-les sans les rincer et remplissez-les d'eau aux deux tiers.

Conclusion

Conclusion

Le travail présent, est basé sur les insectes d'intérêt socio-économique dans le monde par une recherche bibliographique et dans la Wilaya de Constantine par une recherche pratique exactement dans la commune de elkhroub sur un ensemble de 100 individus depuis le mois de janvier 2022 jusqu'au mois d'avril 2022.

Cette étude constitue d'un petit inventaire des insectes qui vivent avec l'être humain et des principaux insectes ravageurs des denrées stockées de Constantine. Les résultats faunistiques obtenus par ce travail nous permettent d'ouvrir de grandes perspectives pour une meilleure connaissance de ce groupe zoologique.

La présente étude est une contribution à une meilleure connaissance d'un groupe d'insectes le moins étudié du pays.

Cependant, ce travail ouvre de larges perspectives pour la connaissance de la biodiversité des insectes d'intérêt socio-économique de cette wilaya et mérite d'être mieux approfondie.

Références
Bibliographiques

- Aarnink, A.J.A., Keen, A., Metz, J.H.M., Speelman, L. & Verstegen, M.W.A.** 1995. Modèles d'émission d'ammoniac pendant les périodes de croissance des porcs hébergés sur des planchers partiellement en caillebotis. *Journal de recherche en génie agricole*, 62(2): 105–116.
- Adamolekun, B.** 1993. Entomophagie de l'anaphe venata et syndrome ataxique saisonnier dans le sud-ouest du Nigeria. *Lancet*, 341(8845): 629.
- Adamolekun, B., McCandless, D.W. & Butterworth, R.F.** 1997. Épidémie d'ataxie saisonnière au Nigeria suite à l'ingestion du ver à soie africain Anaphe venata : Rôle de la carence en thiamine ? *Maladie cérébrale métabolique*, 12(4): 251–258.
- Adémolu, K.O., Idowu, AB. & Olatunde, G.O.** 2010. Évaluation de la valeur nutritionnelle du criquet panaché, *Zonocerus variegatus* (L.) (Acridoidea : Pygomorphidae), au cours du développement post-embryonnaire. *Entomologie africaine*, 18(2): 360–364.
- Adriens, E.L.** 1951. Recherches sur l'alimentation des populations au Kwango. *Bulletin Agricole du Congo Belge*, 42(2): 227–270.
- Agea, J.G., Biryomumaisho, D., Buyinza, M. & Nabanoga, G.N.** 2008. Commercialisation de *Ruspolia nitidula* (criquets Nsenene) dans le centre de l'Ouganda. *Journal africain de l'agriculture alimentaire et du développement*, 8(3): 319–332.
- Agriprotéine.** 2010. Agriprotéine. (disponible sur www.agriproteine.com). Consulté en octobre 2012.
- Aguilar-Miranda, E.D., Lopez, M.G., Escamilla-Santana, C. & Barba de la Rosa, A.P.** 2002. Caractéristiques de la tortilla de farine de maïs additionnée de *Tenebrio molitor* larves de moliator. *Journal de chimie agricole et alimentaire*, 50(1): 192–195.
- Akpalu, W., Muchapondwa, E. & Zikhali, P.** 2009. La politique de période de récolte restrictive peut-elle conserver les vers mopane en Afrique australe ? Une approche de modélisation bioéconomique. *Économie de l'environnement et du développement*, 14(5): 587–600.
- Aldrich, J.** 1988. Écologie chimique des hétéroptères. *Revue annuelle d'entomologie*, 33 : 211–238.
- Allotey, J. & Mpuchane, S.** 2003. Utilisation d'insectes utiles comme source de nourriture. africain *Journal de l'alimentation, de l'agriculture, de la nutrition et du développement*, 3(2) : 1–6.
- Amadi, EN, Ogbalu, O.K., Barimalaa, I.S. & Pius, M.** 2005. Microbiologie et composition nutritionnelle d'une larve comestible (*Bunaea alcinoe* Stoll) du Delta du Niger. *Journal de la sécurité alimentaire*, 25 : 193–197.
- Amar, Z.** 2003. La consommation de sauterelles dans la tradition juive après la période talmudique. *La Torah u-Madda Journal*, 11 : 186–202.
- Anand, H., Ganguly, A. & Haldar, P.** 2008. Valeur potentielle des acridiens à haute teneur en protéines complément pour l'alimentation des volailles. *Journal international des sciences de la volaille*, 7(7): 722–725.
- Anderson, S. J.** 2000. Augmentation des niveaux de calcium chez les insectes cultivés. *Biologie zoologique*, 19(1): 1-9.
- Auerswald, L. & Lopata, A.** 2005. Insectes : diversité et allergie. *Allergie actuelle et Immunologie clinique*, 18 : 58–60.
- Austin, A.D., Yeates, D.K., Cassis, G., Fletcher, M.J., La Salle, J., Lawrence, J.F., McQuillan, P.B., Mound, L.A., Bickel, D.J., Gullan, P.J., Hales, D.F. & Taylor, GS** 2004. Insectes «Down Under»: diversité, endémisme et évolution de la faune d'insectes australiens: exemples tirés d'ordres sélectionnés. *Journal australien d'entomologie*, 43(3): 216–234.

- Awoniyi, T.A.M., Adetuyi, F.C. & Akinyosoye, F.A.** 2004. Enquête microbiologique sur la farine d'asticots, stockée pour être utilisée comme composant d'alimentation du bétail. *Journal de l'alimentation, de l'agriculture et de l'environnement*, 2(3&4): 104–106.
- Ayieko, M.A., Kinyuru, J.N., Ndong'a, M.F. & Kenji, G.M.** 2012. Valeur nutritionnelle et consommation des fourmis noires (*Carebara vidua* Smith) de la région du lac Victoria au Kenya. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 4(1): 39–45,
- Ayieko, M.A., Ndong'a, M.F.O. & Tamale, A.** 2010. Changement climatique et abondance d'insectes comestibles dans la région du lac Victoria. *Tourillon de biologie cellulaire et animale*, 4(7): 112–118.
- Ayieko, M.A., Obonyo, G.O., Odhiambo, J.A., Ogwen, P.L., Achacha, J. & Anyango, J.** 2011. Construction et utilisation d'un piège lumineux : technologie rurale pour la collecte massive de termites agoro (*Macrotermes subhylanus*). *Journal de recherche des sciences appliquées, de l'ingénierie et de la technologie*, 3(2), 105–109.
- Ayieko, M.A., Oriamo, V. & Nyambuga, I.A.** 2010. Produits transformés à base de termites et de mouches de lac : amélioration de l'entomophagie pour la sécurité alimentaire dans la région du lac Victoria. *Journal africain de l'alimentation, de l'agriculture, de la nutrition et du développement*, 10(2): 2085–2098.
- Ayieko, M.A. & Oriaro, V.** 2008. Consommation, connaissances indigènes et valeurs culturelles des espèces de mouches des lacs dans la région du lac Victoria. *Journal africain des sciences et technologies de l'environnement*, 2(10): 282–286.
- Bachstesz, M. & Aragon, A.** 1945. Notes sur les médicaments, les plantes et les aliments mexicains. III. Ahuauhtli, le caviar mexicain. *Journal de l'Association pharmaceutique américaine*, 34 : 170–172.
- BACSA.** 2011. Sériciculture multi produits : nouvelles perspectives de développement. Actes de la 5e conférence internationale BACSA, 11-15 avril 2011, Bucarest, Roumanie. (disponible sur www.bacsa-silk.org/user_pic/file/PROCEEDINGS%20SERIPRODEV%202011.pdf)
- Bahuchet, S.** 1975. Ethnozoologie des Pygmées Babinga de la Lobaye, République Centrafricaine. Dans R. Pujol, éd. *Premier Colloque d'Ethnozologie*. p. 53–61. Paris, Institut International d'Ethnoscience.
- Bahuchet, S. et Garine, L.D.** 1990. Recettes pour un menu forestier. Dans C.M. Hladik, S. Bahuchet & L.D. Garine, éd. *Alimentation et nutrition dans la forêt tropicale africaine*. p. 53–54. Paris, Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture.
- Baines, N.** 2012. "Serveur, il y a une mouche dans ma soupe": Les insectes comme nourriture sont plus qu'un simple gadget gastronomique. *The Independent*, édition en ligne, publiée le 7 septembre 2012. (disponible sur www.independent.co.uk/life-style/food-and-drink/features/waiter-theres-a-fly-in-my-soup-insects-as-food-are-more-than-simple-gastronomic-gimmick-8113939.html).
- Balasubramanian, A.** 1984. Économie environnementale – sens, définition et importance : vers une philosophie de l'éducation environnementale. Singapour, Institut régional d'enseignement supérieur et de développement.
- Banjo, A.D., Lawal, O.A. & Adeyemi, A.I.** 2006. La faune microbienne associée aux larves d'*Oryctes monocerus*. *Journal de recherche en sciences appliquées*, 2(11): 837–843.
- Banjo, A.D., Lawal, O.A. & Songonuga, E.A.** 2006. La valeur nutritionnelle de quatorze espèces d'insectes comestibles dans le sud-ouest du Nigeria. *Journal Africain de Biotechnologie*, 5(3): 298–301.
- Barker, G.** 2009. *La révolution agricole à la préhistoire : pourquoi les butineuses sont-elles devenues Les agriculteurs?* New York, États-Unis, Oxford University Press.

- Barletta, B. & Pini, C.** 2003. L'exposition professionnelle aux insectes entraîne-t-elle sensibilisation spécifique ? *Allergy*, 58 : 868–870.
- Barreteau, D.** 1999. Les Mofu-Gudur et leurs criquets. Dans C. Baroin & J. Boutrais, éd. *L'homme et l'animal dans le bassin du lac Tchad: actes du colloque du réseau Mega-Tchad*. p. 133–169. Paris, Institut de Recherche pour le Développement, Université Nanterre.
- BBC. 2004. Les criquets ont été rebaptisés « crevettes du ciel ». (disponible sur <http://news.bbc.co.uk/2/hi/asia-pacific/4032143.stm>). Consulté en avril 2012.
- Behmer, S.T.** 2006. Besoins alimentaires des insectes : les plantes comme nourriture pour les insectes. *Encyclopédie des sciences des plantes et des cultures*. Royaume-Uni, Taylor et Francis.
- Bennett, FJ** 1965. Un inventaire des aliments Kiganda. *The Uganda Journal*, 29(1): 45–53
- Bequaert, J.** 1921. Les insectes comme nourriture. Comment ils ont augmenté l'approvisionnement alimentaire de l'humanité dans les premières et les dernières années. *Journal d'histoire naturelle*, 21 : 191–200.
- Bergier, E.** 1941. *Peuples entomophages et insectes comestibles : étude sur les mœurs de l'homme et de l'insecte*. Avignon, Imprimerie Rullière Frères.
- Bodenheimer, FS** 1951. *Insectes comme nourriture humaine; un chapitre de l'écologie de l'homme*. La Haye, Dr W. Junk Publishers.
- Bornemissza, G. F.** 1976. Le projet australien du bousier 1965–1975. *australien Examen du comité de recherche sur la viande*, 30 : 1–30.
- Boulidam, S.** 2010. Les insectes comestibles dans l'économie de marché du Laos. Dans P. B. Durst, D.V. Johnson, R. L. Leslie. & K. Shono. *Insectes forestiers comme nourriture: les humains piquent en retour, actes d'un atelier sur les ressources de l'Asie-Pacifique et leur potentiel de développement*, pp. 131–140. Bangkok, Thaïlande, Bureau régional de la FAO pour l'Asie et le Pacifique.
- Bouvier, G.** 1945. Quelques questions d'entomologie vétérinaire et lutte contre certains arthropodes en Afrique tropicale. *Acta Trop*, 2 : 42–59.
- Bourne, G. H. 1953. La nourriture de l'aborigène australien. *Actes de la Nutrition Society*, 12 : 58–65.
- Bradbear, N.** 2009. Les abeilles et leur rôle dans les moyens de subsistance de la forêt : un guide des services fournis par les abeilles et la récolte, la transformation et la commercialisation durables de leurs produits. Série 19 sur les produits forestiers non ligneux. Rome, FAO.
- Brambell, F.W.** 1965. Rapport du comité technique chargé d'enquêter sur le bien-être des animaux élevés dans des systèmes d'élevage intensif. Londres, Her Majesty's Stationary Office, Grande-Bretagne. (également disponible sur www.nhk.nl/downloads/1965_rapport_commissie_brambell.pdf)
- Brinchmann, B.C., Bayat, M., Brøgger, T., Muttuvelu, D.V., Tjønneland, A. & Sigsgaard, T.** 2011. Un rôle possible de la chitine dans la pathogénèse de l'asthme et des allergies. *Ann. Agric. Environ. Méd.*, 18 : 7–12.
- Bukkens, S.G.F.** 1997. La valeur nutritionnelle des insectes comestibles. *Écologie de l'alimentation et de la nutrition*, 36 : 287–319.
- Bukkens, S.G.F.** 2005. Insectes dans l'alimentation humaine : aspects nutritionnels. Dans M.G. Paoletti, éd. *Implications écologiques du mini-élevage ; rôle des rongeurs, grenouilles, escargots et insectes pour le développement durable*, pp. 545–577. New Hampshire, éditeurs scientifiques.

- Burrows, C.** 2012. Mise à jour concernant l'extrait de cochenille. Dans Starbucks Blog, publié le 29 mars 2012 (disponible sur <http://blogs.starbucks.com/blogs/customer/archive/2012/03/29/update-regarding-cochineal-extract.aspx>).
- Campbell, M.** 2011. Bug Appétit: Snackeria préhispanique de San Francisco. The World, publié le 2 novembre 2011 (disponible sur www.theworld.org/2011/11/edible-bugs-food/).
- Cerda, H., Martinez, R., **Briceno, N., Pizzoferrato, L., Manzi, P., Tommaseo Ponzetta, M., Marin, O. & Paoletti, M.G.** 2001. Vers de palme (*Rhynchophorus palmarum*): nourriture traditionnelle en Amazonas, Venezuela. Composition nutritionnelle, petite échelle production et appétence touristique. *Écologie de l'alimentation et de la nutrition*, 40(1) : 13–32.
- Cerritos, R.** 2009. Les insectes comme nourriture : une approche écologique, sociale et économique. Examens du CAB : Perspectives dans l'agriculture, les sciences vétérinaires, la nutrition et les sciences naturelles *Ressources*, 4(27) : 1–10.
- Cerritos, R. & Cano-Santana, Z.** 2008. Récolte des sauterelles *Sphenarium purpurascens* au Mexique pour la consommation humaine : une comparaison avec les insecticides contrôle pour la gestion des épidémies de ravageurs. *Protection des cultures*, 27(3-5) : 473–480.
- Césard, N.** 2004a. Le kroto (*Oecophylla smaragdina*) dans la région de Malingping, Java-Ouest, Indonésie : collecte et commercialisation d'une ressource animale nonnégligeable. *Anthropozoologica*, 39(2): 15–31.
- Césard, N.** 2004b. Récolte et commercialisation du kroto (*Oecophylla smaragdina*) dans la région de Malingping, Java occidentale, Indonésie. Dans K. Kusters & B. Belcher, éd. *Produits forestiers, moyens de subsistance et conservation : études de cas de systèmes de produits forestiers non ligneux*. Tome 1, Asie. p. 61–78. Jakarta, Indonésie, CIFOR.
- Chadwick, I.** 2011. Histoire de Mescal. (disponible sur www.ianchadwick.com/tequila/mezcal_history.htm). Consulté en février 2013.
- Chagnon, N.A.** 1983. *Yanomamo : Le peuple féroce*. New York, CBS College **Publishing**.
- Chapagain, A.K. & Hoekstra, A.Y.** 2003. Flux d'eau virtuels entre les nations en relation avec le commerce du bétail et des produits de l'élevage. Série de rapports de recherche sur la valeur de l'eau N° 13. Paris, Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture .
- Chavanduka, D.M.** 1976. Les insectes comme source de protéines pour l'Africain. La Rhodésie *Nouvelles scientifiques*, 9(7) : 217-220.
- Chen, P.P., Wongsiri, S., Jamyanya, T., Rinderer, T.E., Vongsamanode, S., Matsuka, M., Sylvestre, H.A. & Oldroyd, BP 1998. Abeilles mellifères et autres insectes comestibles utilisés comme alimentation humaine en Thaïlande. *Entomologiste américain*, 44(1): 24–28.
- Chen, X., Feng, Y. & Chen, Z. 2009. Les insectes comestibles communs et leur utilisation dans Chine. *Recherche entomologique*, 39(5): 299–303.
- Chen, Y.I. & Akre, R.D. 1994. Fourmis utilisées comme aliments et médicaments en Chine. La nourriture *Bulletin Insectes*, No. 7(2): 8.
- Cherry, R. 1991. Utilisation d'insectes par les aborigènes australiens. *Entomologiste américain*, 32 : 8–13.

- Chidumayo, EN & Mbata, K.J.** 2002. Culture itinérante, chenilles comestibles et moyens de subsistance dans la région de Kopa, au nord de la Zambie. *Forêts, arbres et moyens de subsistance*, 12 : 175–193.
- Choo, J.** 2008. Implications écologiques potentielles de l'entomophagie humaine par la subsistance groupes des Néotropiques. *Avis sur les arthropodes terrestres*, 1 : 81–93.
- Choo, J., Zent, E.L. & Simpson, B.B.** 2009. L'importance des connaissances écologiques traditionnelles pour la culture du charançon du palmier en Amazonie vénézuélienne. *Revue de Ethnobiologie*, 29(1): 113–128.
- Chung, A.Y.C.** 2010. Insectes comestibles et entomophagie à Bornéo. Les insectes comestibles dans économie de marché laotienne. Dans P. B. Durst, D.V. Johnson, RL Leslie. & K. Shono. *Insectes forestiers comme nourriture: les humains piquent en retour, actes d'un atelier sur les ressources de l'Asie-Pacifique et leur potentiel de développement*, pp. 131–140. Bangkok, Thaïlande, Bureau régional de la FAO pour l'Asie et le Pacifique.
- Cohen, A.C.** 2001. Formalisation de la technologie de l'élevage d'insectes et de l'alimentation artificielle. *Entomologiste américain*, 47(4): 199.
- Cohen, J.H., Sánchez, N.D.M. & Montiel-ishinoet, F.D.** 2009. Chapulines et choix alimentaires dans les régions rurales d'Oaxaca. *Gastronomica: le Journal de l'Alimentation et de la Culture*, 9(1): 61–65.
- Coletto-Silva, A. 2005. Captura de enxames de abelhas sem ferrão (Hymenoptera, Apidae, Meliponinae) sem destruição de árvores. *Acta Amazonica*, 35(3): 383-388.
- Collavo, A., Glew, R.H., Huang, Y.S., Chuang, L.T., Bosse, R. & Paoletti, M.G.** 2005. Élevage à petite échelle de grillons domestiques. Dans M.G. Paoletti, éd., *Implications écologiques du mini-élevage : potentiel des insectes, des rongeurs, des grenouilles et des escargots*. pages 519–544. New Hampshire, Editeurs scientifiques.
- Costa-Neto, E.M.** 2003. Divertissement avec des insectes : chants et combats d'insectes autour le monde. une brève revue. *Etnobiologie*, 3 : 21–29.
- Costa-Neto, E.M.** 2012. Estudos etnoentomológicos no estado da Bahia, Brasil : uma homenagem aos 50 anos do campo de pesquisa. *Biotemas*, 17(1): 117–149.
- Costermans, JB** 1955. Het termieten-stoken bij de Logo-Avokaya (vervolg). *Aéquatória*, 18(2) : 50–55.
- Crook R. J. & Walters, ET.** 2011. Comportement nociceptif et physiologie des mollusques : répercussions sur le bien-être animal. *ILAR J*, 52 : 185–195.
- Cutter, C.N.** 2006. Opportunités pour les technologies d'emballage biosourcées pour améliorer la qualité et la sécurité des aliments musculaires frais et transformés. *Science de la viande*, 74(1): 131–142.
- Das, M., Ganguly, A. & Haldar, P.** 2009. Espace requis pour l'élevage en masse de deux adultes acridiens indiens communs (Orthoptera : Acrididae) en conditions de laboratoire. *Américano-eurasienne J. Agric. & Environ. Sci.* 6(3): 313–316.
- Das, M., Ganguly, A. & Haldar, P.** 2010. Analyse des éléments nutritifs du fumier de sauterelle pour l'amélioration de la fertilité du sol. *Américano-eurasienne J. Agric. & Environ. Sci.* 7(6): 671–675.
- Davey, G.C.L.** 1994. L'araignée "dégoûtante": Le rôle de la maladie et de la maladie dans le perpétuation de la peur des araignées. *Société et animaux*, (2): 1.

- Davis, G.R.F. & Sosulski, F.W.** 1974. Qualité nutritionnelle des isolats de protéines de graines oléagineuses déterminé avec des larves du ver de farine jaune, *Tenebrio molitor* L. *The Journal of Nutrition*, 104(9) : 1172–1177.
- Decary, R.** 1937. L'entomophagie chez les indigènes de Madagascar. *Bulletin de la Société entomologique de France* (9 juin 1937), pp. 168–171.
- DeFoliart, G.R.** 1989. L'utilisation humaine des insectes comme nourriture et comme alimentation animale. *Bulletin de the Entomological Society of America*, 35 : 22–35.
- DeFoliart, G.R.** 1995. Insectes comestibles comme mini-élevage. *Biodiversité et Conservation*, 4(3): 306–321.
- DeFoliart, G.R.** 1997. Un aperçu du rôle des insectes comestibles dans la préservation de la biodiversité. *Écologie de l'alimentation et de la nutrition*, 36(2–4) : 109–132.
- DeFoliart, G.R.** 1999. Insectes comme nourriture : pourquoi l'attitude occidentale est importante. *Annuel Revue d'entomologie*, 44 : 21–50.
- DeFoliart, G.R.** 2002. L'utilisation humaine des insectes comme ressource alimentaire: un compte rendu bibliographique en cours. Wisconsin, États-Unis, Département d'entomologie, Université du Wisconsin-Madison. (également disponible sur : www.food-insects.com/book7_31/The%20Human%20Use%20of%20Insects%20as%20a%20Food%20Resource.htm)
- DeFoliart, G.R.** 2005. Un aperçu du rôle des insectes comestibles dans la préservation de la biodiversité. Dans M.G. Paoletti, éd., *Implications écologiques du mini-élevage : potentiel des insectes, des rongeurs, des grenouilles et des escargots*. p. 123–140. New Hampshire, États-Unis, Éditeurs scientifiques.
- DeFoliart, G., Dunkel, F.V. & Gracer, D.** 2009. *Le bulletin d'information sur les insectes alimentaires*. Salt Lake City, Utah, États-Unis. Aardvark Global Publishing.
- Del Toro, I., Ribbons, R.R. & Pelini, S.L.** 2012. Les petites choses qui dirigent le monde revisités : une revue des services et disservices écosystémiques médiés par les fourmis (Hymenoptera : Formicidae). *Myrmecological News*, 17 : 133–146.
- DeLong, D.M.** 1960. L'homme dans un monde d'insectes. *The Journal of Science de l'Ohio*, 60(4): 193–206.
- Diamond, J.** 2005. *Guns, germs and steel : a short history of everyone for the last 13 000 ans*. Royaume-Uni, Vintage.
- Dufour, D.L.** 1987. Les insectes comme nourriture : une étude de cas du nord-ouest de l'Amazonie. *Américain Anthropologue*, 89(2): 383.
- Durst, P. B. & Shono, K.** 2010. Insectes forestiers comestibles : explorer de nouveaux horizons et pratiques traditionnelles. Dans P. B. Durst, D.V. Johnson, RL Leslie. & K. Shono. *Les insectes forestiers comme nourriture : les humains ripostent, actes d'un atelier sur les ressources de l'Asie-Pacifique et leur potentiel de développement*, pp. 1–4. Bangkok, Bureau régional de la FAO pour l'Asie et le Pacifique.
- Dyson-Hudson, R. & Smith, E.A.** 1978. Territorialité humaine : une réévaluation écologique. *Anthropologue américain*, 80(1): 21–41.
- Dzerefos, C.M., Witkowski, ETF. & **Toms, R.** 2009. Caractéristiques du cycle biologique de la punaise comestible, *Encosternum delegorguei* (Hem., Tessaratomidae), un aliment traditionnel en Afrique australe. *J. Appl. Entomol.*, 133 : 749–759.

- Egert, M., Wagner, B., Lemke, T., Brune, A. & Friedrich, MW** 2003. Structure de la communauté microbienne dans l'intestin moyen et l'intestin postérieur de la larve se nourrissant d'humus de *Pachnoda ephippiata* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Microbiologie appliquée et environnementale*, 69(11): 6659–6668.
- Eisemann, C.H., Jorgensen W.K., Merritt, D.J., Rice, M.J., Cribb, B.W., Webb, P.D. & Zalucki, député** 1984. Les insectes ressentent-ils la douleur ? Une vision biologique. *Expérientia*, 40 : 164 – 167.
- Ekoué, S.K. & Hadzi, YA** 2000. Production d'asticots comme source de protéines pour jeunes volailles au Togo : observations préliminaires. *Tropicultura*, 18(4): 212–214.
- El-Mallakh, OS & El-Mallakh, RS** 1994. Insectes du Coran (Coran). *Américain Entomologiste*, 40 : 82–84.
- Elvin, C.M., Carr, A.G., Huson, M.G., Maxwell, J.M., Pearson, R.D., Vuocolo, T, Liyou, N.E., Wong, D.C.C., Meritt, D.J. & Dixon, NE** 2005. Synthèse et propriétés de pro-résiline recombinante réticulée. *Nature*, 437 : 999-1002.
- Ento. 2012. Disponible sur <http://cargocollective.com/ento/>. Consulté en septembre 2012.
- . 2012. La vie d'un bogue :
élevage d'insectes à grande échelle en relation avec le bien-être animal : projet 1052.
Wageningen,
Université de Wageningen.
- Erickson, M.C., Islam, M., Sheppard, C., Liao, J. & Doyle, M.P.** 2004. Réduction d'*Escherichia coli* O157:H7 et de *Salmonella enterica* sérotype Enteritidis chez le poulet fumier par les larves de la mouche soldat noire. *J. Food Prot.*, 67(4): 685–690.
- Ernst, W.H.O. & Sekhwela, M.B.M.** 1987. La composition chimique des lerps du psylle mopane *Arytaina mopane* (Homoptera, Psyllidae). *Insect Biochem.*, 17(6): 905–909.
- Commission européenne. 1997. Règlement (CE) n° 258/97 du Parlement européen et du Conseil du 27 janvier 1997 concernant les nouveaux aliments et les nouveaux ingrédients alimentaires.
Bruxelles.
- Commission européenne. 2008. Projet Ecodoptera (disponible sur : http://ec.europa.eu/environnement/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.createPage&s_ref=LIFE05%20ENV/E/000302&area=2&yr=2005&n_proj_id=2897&cfid=16586&cftoken=2e4adf8baa61f2ac-360A2F1D-DAE5-7FE0-A7720CC7129=modesprint&menus=mo)
- Fairman, R. J.** 2010. Instigation d'une éducation aux insectes: l'exposition de manger des bestioles effrayantes. *Antenne*, 34 : 169–170.
- FAO.** 1997a. Lignes directrices pour les petits transformateurs de fruits et légumes. *Bulletin des services agricoles de la FAO* 127. Rome.
- FAO.** 1997b. Aquaculture rurale : vue d'ensemble et cadre pour les examens par pays. Rome.
- FAO.** 2003. État des ressources génétiques des forêts et des arbres en zone sèche d'Afrique australe
Pays de la Communauté de développement. Rome.
- FAO.** 2004. Contribution des insectes de la forêt à la sécurité alimentaire : L'exemple des chenilles d'Afrique centrale. Document de travail sur les PFNL n° 1. FAO, Rome.
(aussi
disponible sur www.fao.org/docrep/007/j3463f/j3463f3400.htm).
- FAO.** 2007. Promesses et défis du secteur alimentaire informel dans les pays en développement.
Rome.

FAO. 2009a. Comment nourrir le monde en 2050. Communication présentée à l'Expert de haut niveau Forum, Rome, Italie, 12-13 octobre. (disponible sur www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf).

FAO. 2009b. Biodiversité et nutrition, un chemin commun. Rome.

FAO. 2010a. Élaboration d'une norme régionale pour les grillons comestibles et leurs produits. Document présenté à la réunion conjointe FAO/OMS Programme sur les normes alimentaires : FAO/Comité de coordination de l'OMS pour l'Asie, Bali, Indonésie.

FAO. 2010b. Biodiversité et alimentations durables : unis contre la faim. Rapport présenté lors de la Journée mondiale de l'alimentation/Semaine mondiale de l'alimentation animale, du 2 au 5 novembre 2010, à Rome.

FAO. 2010c. Consultation d'experts sur les indicateurs nutritionnels pour la biodiversité : Volume 2. Rome. **FAO.** 2011a. Vente d'aliments de rue et de collations. Rome.

FAO. 2011b. Petite ferme pour petits animaux. Rome.

FAO. 2011c. Situation de l'alimentation et de l'agriculture 2010-2011. Les femmes dans l'agriculture : fermer le écart entre les sexes pour le développement. Rome.

FAO. 2012a. Situation des forêts du monde 2012. Rome

FAO. 2012b. État des pêches dans le monde. Rome.

FAO. 2012c. L'eau et la pauvreté, une question de vie et de moyens de subsistance. (disponible sur www.fao.org/nr/water/issues/scarcity.html). Consulté en novembre 2012.

FAO. 2012d. FAO à Rio +20. (disponible sur www.fao.org/rioplus20/en/). Accédé Janvier 2013.

FAO. 2012e. Genre et alimentation. (disponible sur www.fao.org/docrep/012/a1184e/a1184e00.pdf). Consulté en novembre 2012.

FAO. 2012f. Base de données de composition pour la version 2 de la biodiversité, BioFoodComp2. (Dernier mise à jour : 10 janvier 2013). Consulté en janvier 2012. (disponible sur www.fao.org/infoods/infoods/tables-and-databases/fr/).

FAO/AIEA. 2001. Manuel d'application du système HACCP en mycotoxines prévention et contrôle. Document de la FAO sur l'alimentation et la nutrition, n° 73. Rome, FAO/AIEA Centre de formation et de référence pour le contrôle des aliments et des pesticides.

FAO/OMS. 2001a. Codex Alimentarius : Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires. Rome. (disponible sur www.codexalimentarius.org/).

FAO/OMS. 2001b. Besoins humains en vitamines et minéraux. Rome.

FAO/WUR. 2012. Réunion de consultation d'experts : évaluer le potentiel des insectes comme nourriture et nourrir en assurant la sécurité alimentaire. P. Vantomme, E. Mertens, A. van Huis & H. Klunder, éd. Rapport de synthèse, 23-25 janvier 2012, Rome. Rome, FAO.

Farina, L. , Demey, F. & Hardouin, J. 1991. Production de termites pour l'aviculture villageoise au Togo. *Tropicultura*, 9(4): 181–187.

- Fasoranti, J. O. & Ajiboye, DO** 1993. Certains insectes comestibles de l'État de Kwara, Nigeria. *Entomologiste américain*, 39(2): 113–116.
- Faure, JC** 1944. Les punaises pentatomides comme nourriture humaine. *Journal Ent. Soc. Afrique du Sud*, 7 : 110–112. FDA. 2011. Manuel des niveaux de défauts. (disponible sur www.fda.gov/food/guidancecompliance/informations_réglementaires/documents_d'orientation/assainissement/ucm056174.htm).
Accédé
Janvier 2013.
- Feng, Y. & Chen, X.** 2003. Utilisation et perspective des insectes comestibles en Chine. *Forêt Science et technologie*, 44(4) : 19-20.
- Feng, Y. & Chen, X.** 2009. Revues sur la recherche et l'utilisation de la santé des insectes aliments de soin. *Journal of Shandong Agricultural University (Sciences naturelles)*, 40(4): 676–680.
- Feng, Y., Zhao, M., He, Z., Chen, Z. & Sun, L.** 2009. Recherche et utilisation de insectes médicinaux en Chine. *Recherche entomologique*, 39(5): 313–316.
- Fessler, D.M.T. & Navarette, C.D.** 2003. La viande est bonne à tabou: Les proscriptions alimentaires comme produit de l'interaction des mécanismes psychologiques et des processus sociaux. *Journal of Cognition and Culture*, 3(1): 1–40.
- Fiala, N.** 2008. Répondre à la demande : une estimation du potentiel futur de gaz à effet de serre émissions provenant de la production de viande. *Économie écologique*, 67 : 412–419.
- Finke, M.D.** 2002. Composition nutritionnelle complète des invertébrés élevés commercialement sert de nourriture aux insectivores. *Zoo Biology*, 21(3): 269–285.
- Finke, M.D.** 2005. Composition nutritive du couvain d'abeille et son potentiel comme nourriture humaine. *Écologie de l'alimentation et de la nutrition*, 44(4), 257–270.
- Finke, M.D.** 2007. Estimation de la chitine dans les insectes entiers crus. *Biologie zoologique*, 26, 105–115. **Flood, J.** 1980. Les chasseurs de mites : préhistoire aborigène des Alpes australiennes. Canberra,