



ROYAUME DU MAROC
UNIVERSITE MOHAMMED V DE RABAT
FACULTE DE MEDECINE
ET DE PHARMACIE
RABAT



Année: 2021

Thèse N°: 54

ENTOMOPHAGIE ET RISQUES SANITAIRE

THESE

Présentée et soutenue publiquement le: / /2021

PAR

Monsieur SESSOUMA ABOU

Né le 04 Janvier 1992 à Niamberla

Pharmacien Interne au CHU Ibn Sina Rabat

*Pour l'Obtention du Diplôme de
Docteur en Pharmacie*

Mots Clés : Entomophagie; Insectes; Nutrition; Risques

Membres du Jury :

Monsieur Mimoun ZOUHDI

Professeur de Microbiologie

Madame Mariama CHADLI

Professeur de Microbiologie

Monsieur Ahmed GAOUZI

Professeur de Pédiatrie

Madame Saida TELLAL

Professeur de Biochimie

Madame Hafida NAOUI

Professeur de Parasitologie Mycologie

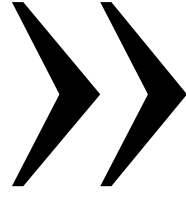
Président

Rapporteur

Juge

Juge

Juge



" و ما أوتيتم من العلم الا قليلا "

صدق الله العظيم

سورة الاسراء: الآية ٨٥



**UNIVERSITE MOHAMMED V
FACULTE DE MEDECINE ET DE
PHARMACIE RABAT**

DOYENS HONORAIRES :

1962 - 1969: Professeur Abdelmalek FARAJ
1969 - 1974: Professeur Abdellatif BERBICH
1974 - 1981: Professeur Bachir LAZRAK
1981 - 1989: Professeur Taieb CHKILI
1989 - 1997: Professeur Mohamed Tahar ALAOUI
1997 - 2003: Professeur Abdelmajid BELMAHI
2003 - 2013: Professeur Najia HAJJAJ - HASSOUNI

ADMINISTRATION :

Doyen :

Professeur Mohamed ADNAOUI

**Vice-Doyen chargé des Affaires Académiques et
estudiantines** Professeur Brahim LEKEHAL

**Vice-Doyen chargé de la Recherche et de la
Coopération** Professeur Taoufiq DAKKA

**Vice-Doyen chargé des Affaires Spécifiques à la
Pharmacie** Professeur Younes RAHALI

Secrétaire Général

Mr. Mohamed KARRA

*Enseignant militaire

**1 - ENSEIGNANTS-CHERCHEURS MEDECINS ET
PHARMACIENS PROFESSEURS DE L'ENSEIGNEMENT
SUPERIEUR :**

Décembre 1984

Pr. MAAOUNI Abdelaziz Médecine Interne - **Clinique Royale**
Pr. MAAZOUZI Ahmed Wajdi Anesthésie -Réanimation
Pr. SETTAF Abdellatif Pathologie Chirurgicale

Décembre 1989

Pr. ADNAOUI Mohamed Médecine Interne -**Doyen de la FMPR**
Pr. OUAZZANI Taïbi Mohamed Réda Neurologie

Janvier et Novembre 1990

Pr. KHARBACH Aïcha Gynécologie -Obstétrique
Pr. TAZI Saoud Anas Anesthésie Réanimation

Février Avril Juillet et Décembre 1991

Pr. AZZOUZI Abderrahim Anesthésie Réanimation
Pr. BAYAHIA Rabéa Néphrologie
Pr. BELKOUCHI Abdelkader Chirurgie Générale
Pr. BENSOUA Yahia Pharmacie galénique
Pr. BERRAHO Amina Ophtalmologie
Pr. BEZAD Rachid Gynécologie Obstétrique **Méd. Chef Maternité des Orangers**
Pr. CHERRAH Yahia Pharmacologie
Pr. CHOKAIRI Omar Histologie Embryologie
Pr. KHATTAB Mohamed Pédiatrie
Pr. SOULAYMANI Rachida Pharmacologie- **Dir. du Centre National PV Rabat**
Pr. TAOUFIK Jamal Chimie thérapeutique

Décembre 1992

Pr. AHALLAT Mohamed Chirurgie Générale **Doyen de FMPT**
Pr. BENSOUA Adil Anesthésie Réanimation
Pr. CHAHED OUAZZANI Laaziza Gastro-Entérologie
Pr. CHRAIBI Chafiq Gynécologie Obstétrique
Pr. EL OUAHABI Abdessamad Neurochirurgie
Pr. FELLAT Rokaya Cardiologie
Pr. JIDDANE Mohamed Anatomie
Pr. ZOUHDI Mimoun Microbiologie

Mars 1994

Pr. BENJAAFAR Nouredine Radiothérapie
Pr. BEN RAIS Nozha Biophysique
Pr. CAOUI Malika Biophysique
Pr. CHRAIBI Abdelmjid Endocrinologie et Maladies Métaboliques **Doyen de la FMPA**
Pr. EL AMRANI Sabah Gynécologie Obstétrique
Pr. ERROUGANI Abdelkader Chirurgie Générale - **Directeur du CHUIS**
Pr. ESSAKALI Malika Immunologie
Pr. ETTAYEBI Fouad Chirurgie Pédiatrique
Pr. IFRINE Lahssan Chirurgie Générale
Pr. RHRAB Brahim Gynécologie -Obstétrique
Pr. SENOUCI Karima Dermatologie

Mars 1994

Pr. ABBAR Mohamed* Urologie **Inspecteur du SSM**

Pr. BENTAHILA Abdelali
Pr. BERRADA Mohamed Saleh
Pr. CHERKAOUI Lalla Ouafae
Pr. LAKHDAR Amina
Pr. MOUANE Nezha

Mars 1995

*Enseignant militaire

Pr. ABOUQUAL Redouane
Pr. AMRAOUI Mohamed
Pr. BAIDADA Abdelaziz
Pr. BARGACH Samir
Pr. EL MESNAOUI Abbes
Pr. ESSAKALI HOUSSYNI Leila
Pr. IBEN ATTYA ANDALOUSSI Ahmed
Pr. OUZZANI CHAHDI Bahia
Pr. SEFIANI Abdelaziz
Pr. ZEGGWAGH Amine Ali

Décembre 1996

Pr. BELKACEM Rachid
Pr. BOULANOUAR Abdelkrim
Pr. EL ALAMI EL FARICHA EL Hassan
Pr. GAOUZI Ahmed
Pr. OUZEDDOUN Naima
Pr. ZBIR EL Mehdi*

Novembre 1997

Pr. ALAMI Mohamed Hassan
Pr. BIROUK Nazha
Pr. FELLAT Nadia
Pr. KADDOURI Nouredine
Pr. KOUTANI Abdellatif
Pr. LAHLOU Mohamed Khalid
Pr. MAHRAOUI CHAFIQ
Pr. TOUFIQ Jallal
Pr. YOUSFI MALKI Mounia

Novembre 1998

Pr. BENOMAR ALI
Pr. BOUGTAB Abdesslam
Pr. ER RIHANI Hassan
Pr. BENKIRANE Majid*

Janvier 2000

Pr. ABID Ahmed*
Pr. AIT OUAMAR Hassan
Pr. BENJELLOUN Dakhama Badr Sououd
Pr. BOURKADI Jamal-Eddine
Pr. CHARIF CHEFCHAOUNI Al Montacer
Pr. ECHARRAB El Mahjoub
Pr. EL FTOUH Mustapha
Pr. EL MOSTARCHID Brahim*

Pédiatrie
Traumatologie - Orthopédie
Ophtalmologie
Gynécologie Obstétrique
Pédiatrie

Réanimation Médicale
Chirurgie Générale
Gynécologie Obstétrique
Gynécologie Obstétrique
Chirurgie Générale
Oto-Rhino-Laryngologie
Urologie
Ophtalmologie
Génétique
Réanimation Médicale

Chirurgie Pédiatrie
Ophtalmologie
Chirurgie Générale
Pédiatrie
Néphrologie
Cardiologie **Directeur HMI Mohammed V**

Gynécologie-Obstétrique
Neurologie
Cardiologie
Chirurgie Pédiatrique
Urologie
Chirurgie Générale
Pédiatrie
Psychiatrie **Directeur Hôp.Ar-razi Salé**
Gynécologie Obstétrique

Neurologie **Doyen de la FM Abulcassis**
Chirurgie Générale
Oncologie Médicale
Hématologie

Pneumo-phtisiologie
Pédiatrie
Pédiatrie
Pneumo-phtisiologie
Chirurgie Générale
Chirurgie Générale
Pneumo-phtisiologie
Neurochirurgie

Pr. TACHINANTE Rajae
Pr. TAZI MEZALEK Zoubida

Novembre 2000

Pr. AIDI Saadia
Pr. AJANA Fatima Zohra
Pr. BENAMR Said
Pr. CHERTI Mohammed
Pr. ECH-CHERIF EL KETTANI Selma
Pr. EL HASSANI Amine
Pr. EL KHADER Khalid
Pr. GHARBI Mohamed El Hassan
Pr. MDAGHRI ALAOUI Asmae

Décembre 2001

*Enseignant militaire

Pr. BALKHI Hicham*
Pr. BENABDELJILIL Maria
Pr. BENAMAR Loubna
Pr. BENAMOR Jouda
Pr. BENELBARHDADI Imane
Pr. BENNANI Rajae
Pr. BENOUACHANE Thami
Pr. BEZZA Ahmed*
Pr. BOUCHIKHI IDRISSE Med Larbi
Pr. BOUMDIN El Hassane*
Pr. CHAT Latifa
Pr. EL HIJRI Ahmed
Pr. EL MAAQILI Moulay Rachid
Pr. EL MADHI Tarik

Rabat

Pr. EL OUNANI Mohamed
Pr. ETTAIR Said
(Cheikh Khalifa)
Pr. GAZZAZ Miloudi*
Pr. HRORA Abdelmalek
Pr. KABIRI EL Hassane*
Pr. LAMRANI Moulay Omar
Pr. LEKEHAL Brahim

Acad. Est.

Pr. MEDARHRI Jalil
Pr. MIKDAME Mohammed*
Pr. MOHSINE Raouf
Pr. NOUINI Yassine
Pr. SABBAB Farid
Pr. SEFIANI Yasser
Pr. TAOUFIQ BENCHEKROUN Soumia

Décembre 2002

Pr. AMEUR Ahmed*
Pr. AMRI Rachida

Anesthésie-Réanimation
Médecine Interne

Neurologie
Gastro-Entérologie
Chirurgie Générale
Cardiologie
Anesthésie-Réanimation
Pédiatrie - **Directeur Hôp. Cheikh Zaid**
Urologie
Endocrinologie et Maladies Métaboliques
Pédiatrie

Anesthésie-Réanimation
Neurologie
Néphrologie
Pneumo-phtisiologie
Gastro-Entérologie
Cardiologie
Pédiatrie
Rhumatologie
Anatomie
Radiologie
Radiologie
Anesthésie-Réanimation
Neuro-Chirurgie
Chirurgie-Pédiatrique **Directeur Hôp. Des Enfants**

Chirurgie Générale
Pédiatrie - **Directeur Hôp. Univ. International**

Neuro-Chirurgie
Chirurgie Générale **Directeur Hôpital Ibn Sina**
Chirurgie Thoracique
Traumatologie Orthopédie
Chirurgie Vasculaire Périphérique **V-D chargé Aff**

Chirurgie Générale
Hématologie Clinique
Chirurgie Générale
Urologie
Chirurgie Générale
Chirurgie Vasculaire Périphérique
Pédiatrie

Urologie
Cardiologie

| | |
|--------------------------------------|---|
| Pr. AOURARH Aziz* | Gastro-Entérologie |
| Pr. BAMOU Youssef* | Biochimie-Chimie |
| Pr. BELMEJDOUB Ghizlene* | Endocrinologie et Maladies Métaboliques |
| Pr. BENZEKRI Laila | Dermatologie |
| Pr. BENZZOUBEIR Nadia | Gastro-Entérologie |
| Pr. BERNOUSSI Zakiya | Anatomie Pathologique |
| Pr. CHOHO Abdelkrim* | Chirurgie Générale |
| Pr. CHKIRATE Bouchra | Pédiatrie |
| Pr. EL ALAMI EL Fellous Sidi Zouhair | Chirurgie Pédiatrique |
| Pr. FILALI ADIB Abdelhai | Gynécologie Obstétrique |
| Pr. HAJJI Zakia | Ophtalmologie |
| Pr. KRIOUILE Yamina | Pédiatrie |
| Pr. OUJILAL Abdelilah | Oto-Rhino-Laryngologie |
| Pr. RAISS Mohamed | Chirurgie Générale |
| Pr. SIAH Samir* | Anesthésie Réanimation |
| Pr. THIMOU Amal | Pédiatrie |
| Pr. ZENTAR Aziz* | Chirurgie Générale |

Janvier 2004

| | |
|-----------------------------|---|
| Pr. ABDELLAH El Hassan | Ophtalmologie |
| Pr. AMRANI Mariam | Anatomie Pathologique |
| Pr. BENBOUZID Mohammed Anas | Oto-Rhino-Laryngologie |
| Pr. BENKIRANE Ahmed* | Gastro-Entérologie |
| Pr. BOULAADAS Malik | Stomatologie et Chirurgie Maxillo-faciale |

*Enseignant militaire

| | |
|---------------------------|-----------------------------|
| Pr. BOURAZZA Ahmed* | Neurologie |
| Pr. CHAGAR Belkacem* | Traumatologie Orthopédie |
| Pr. CHERRADI Nadia | Anatomie Pathologique |
| Pr. EL FENNI Jamal* | Radiologie |
| Pr. EL HANCHI ZAKI | Gynécologie Obstétrique |
| Pr. EL KHORASSANI Mohamed | Pédiatrie |
| Pr. HACHI Hafid | Chirurgie Générale |
| Pr. JABOUIRIK Fatima | Pédiatrie |
| Pr. KHARMAZ Mohamed | Traumatologie Orthopédie |
| Pr. MOUGHIL Said | Chirurgie Cardio-Vasculaire |
| Pr. OUBAAZ Abdelbarre* | Ophtalmologie |
| Pr. TARIB Abdelilah* | Pharmacie Clinique |
| Pr. TIJAMI Fouad | Chirurgie Générale |
| Pr. ZARZUR Jamila | Cardiologie |

Janvier 2005

| | |
|---------------------------|---|
| Pr. ABBASSI Abdellah | Chirurgie Réparatrice et Plastique |
| Pr. AL KANDRY Sif Eddine* | Chirurgie Générale |
| Pr. ALLALI Fadoua | Rhumatologie |
| Pr. AMAZOUZI Abdellah | Ophtalmologie |
| Pr. BAHIRI Rachid | Rhumatologie Directeur Hôp. Al Ayachi Salé |
| Pr. BARKAT Amina | Pédiatrie |
| Pr. BENYASS Aatif* | Cardiologie |
| Pr. DOUDOUH Abderrahim* | Biophysique |
| Pr. HAJJI Leila | Cardiologie (mise en disponibilité) |

Pr. HESSISSEN Leila
Pr. JIDAL Mohamed*
Pr. LAAROUSSI Mohamed
Pr. LYAGOUBI Mohammed
Pr. SBIHI Souad
Pr. ZERAIDI Najia

AVRIL 2006

Pr. ACHEMLAL Lahsen*
Pr. BELMEKKI Abdelkader*
Pr. BENCHEIKH Razika
Pr. BOUHAFS Mohamed El Amine
Pr. BOULAHYA Abdellatif*
Pr. CHENGUETI ANSARI Anas
Pr. DOGHMI Nawal
Pr. FELLAT Ibtissam
Pr. FAROUDY Mamoun
Pr. HARMOUCHE Hicham
Pr. IDRIS LAHLOU Amine*
Pr. JROUNDI Laila
Pr. KARMOUNI Tariq
Pr. KILI Amina
Pr. KISRA Hassan
Pr. KISRA Mounir
Pr. LAATIRIS Abdelkader*
Pr. LMIMOUNI Badreddine*
Pr. MANSOURI Hamid*
Pr. OUANASS Abderrazzak
Pr. SAFI Soumaya*
Pr. SOUALHI Mouna
Pr. TELLAL Saida*
*Enseignant militaire

Pédiatrie
Radiologie
Chirurgie Cardio-vasculaire
Parasitologie
Histo-Embryologie Cytogénétique
Gynécologie Obstétrique

Rhumatologie
Hématologie
O.R.L
Chirurgie - Pédiatrique
Chirurgie Cardio - Vasculaire. **Directeur Hôpital Ibn Sina Marr.**
Gynécologie Obstétrique
Cardiologie
Cardiologie
Anesthésie Réanimation
Médecine Interne
Microbiologie
Radiologie
Urologie
Pédiatrie
Psychiatrie
Chirurgie - Pédiatrique
Pharmacie Galénique
Parasitologie
Radiothérapie
Psychiatrie
Endocrinologie
Pneumo - Phtisiologie
Biochimie

Pr. ZAHRAOUI Rachida

Octobre 2007

Pr. ABIDI Khalid
Pr. ACHACHI Leila
Pr. AMHAJJI Larbi*
Pr. AOUI Sarra
Pr. BAITE Abdelouahed*
Pr. BALOUCH Lhousaine*
Pr. BENZIANE Hamid*
Pr. BOUTIMZINE Nourdine
Pr. CHERKAOUI Naoual*
Pr. EL BEKKALI Youssef*
Pr. EL ABSI Mohamed
Pr. EL MOUSSAOUI Rachid
Pr. EL OMARI Fatima
Pr. GHARIB Nouredine
Pr. HADADI Khalid*

Pneumo - Phtisiologie
Réanimation médicale
Pneumo phtisiologie
Traumatologie orthopédie
Parasitologie
Anesthésie réanimation
Biochimie-chimie
Pharmacie clinique
Ophtalmologie
Pharmacie galénique
Chirurgie cardio-vasculaire
Chirurgie générale
Anesthésie réanimation
Psychiatrie
Chirurgie plastique et réparatrice
Radiothérapie

Pr. ICHOU Mohamed*
Pr. ISMAILI Nadia
Pr. KEBDANI Tayeb
Pr. LOUZI Lhoussain*
Pr. MADANI Naoufel
Pr. MARC Karima
Pr. MASRAR Azlarab
Pr. OUZZIF Ez zohra*
Pr. SEFFAR Myriame
Pr. SEKHSOKH Yessine*
Pr. SIFAT Hassan*
Pr. TACHFOUTI Samira
Pr. TAJDINE Mohammed Tariq*
Pr. TANANE Mansour*
Pr. TLIGUI Houssain
Pr. TOUATI Zakia

Mars 2009

Pr. ABOUZAHIR Ali*
Pr. AGADR Aomar*
Pr. AIT ALI Abdelmounaim*
Pr. AKHADDAR Ali*
Pr. ALLALI Nazik
Pr. AMINE Bouchra
Pr. ARKHA Yassir
Pr. BELYAMANI Lahcen*
Pr. BJIJOU Younes
Pr. BOUHSAIN Sanae*
Pr. BOUI Mohammed*
Pr. BOUNAIM Ahmed*
Pr. BOUSSOUGA Mostapha*
Pr. CHTATA Hassan Toufik*
Pr. DOGHMI Kamal*
Pr. EL MALKI Hadj Omar
Pr. EL OUENNASS Mostapha*
Pr. ENNIBI Khalid*
Pr. FATHI Khalid
Pr. HASSIKOU Hasna*
*Enseignant militaire

Pr. KABBAJ Nawal
Pr. KABIRI Meryem
Pr. KARBOUBI Lamya
Pr. LAMSAOURI Jamal*
Pr. MARMADE Lahcen
Pr. MESKINI Toufik
Pr. MESSAOUDI Nezha*
Pr. MSSROURI Rahal
Pr. NASSAR Ittimade
Pr. OUKERRAJ Latifa

Oncologie médicale
Dermatologie
Radiothérapie
Microbiologie
Réanimation médicale
Pneumo phtisiologie
Hématologie biologique
Biochimie-chimie
Microbiologie
Microbiologie
Radiothérapie
Ophtalmologie
Chirurgie générale
Traumatologie-orthopédie
Parasitologie
Cardiologie

Médecine interne
Pédiatrie
Chirurgie Générale
Neuro-chirurgie
Radiologie
Rhumatologie
Neuro-chirurgie **Directeur Hôp.des Spécialités**
Anesthésie Réanimation
Anatomie
Biochimie-chimie
Dermatologie
Chirurgie Générale
Traumatologie-orthopédie
Chirurgie Vasculaire Périphérique
Hématologie clinique
Chirurgie Générale
Microbiologie
Médecine interne
Gynécologie obstétrique
Rhumatologie

Gastro-entérologie
Pédiatrie
Pédiatrie
Chimie Thérapeutique
Chirurgie Cardio-vasculaire
Pédiatrie
Hématologie biologique
Chirurgie Générale
Radiologie
Cardiologie

Pr. RHORFI Ismail Abderrahmani*

Octobre 2010

Pr. ALILOU Mustapha
Pr. AMEZIANE Taoufiq*
Pr. BELAGUID Abdelaziz
Pr. CHADLI Mariama*
Pr. CHEMSI Mohamed*
Pr. DAMI Abdellah*
Pr. DARBI Abdellatif*
Pr. DENDANE Mohammed Anouar
Pr. EL HAFIDI Naima
Pr. EL KHARRAS Abdennasser*
Pr. EL MAZOUZ Samir
Pr. EL SAYEGH Hachem
Pr. ERRABIH Ikram
Pr. LAMALMI Najat
Pr. MOSADIK Ahlam
Pr. MOUJAHID Mountassir*
Pr. ZOUAIDIA Fouad

Decembre 2010

Pr. ZNATI Kaoutar

Mai 2012

Pr. AMRANI Abdelouahed
Pr. ABOUELALAA Khalil*
Pr. BENCHEBBA Driss*
Pr. DRISSI Mohamed*
Pr. EL ALAOUI MHAMDI Mouna
Pr. EL OUAZZANI Hanane*
Pr. ER-RAJI Mounir
Pr. JAHID Ahmed

Février 2013

Pr. AHID Samir
Pr. AIT EL CADI Mina
Pr. AMRANI HANCHI Laila
Pr. AMOR Mourad
Pr. AWAB Almahdi
Pr. BELAYACHI Jihane
Pr. BELKHADIR Zakaria Houssain
Pr. BENCHEKROUN Laila
Pr. BENKIRANE Souad
Pr. BENSghir Mustapha*
Pr. BENYAHIA Mohammed*
Pr. BOUATIA Mustapha
Pr. BOUABID Ahmed Salim*

*Enseignant militaire

Pneumo-Phtisiologie

Anesthésie réanimation
Médecine Interne **Directeur ERSSM**
Physiologie
Microbiologie
Médecine Aéronautique
Biochimie- Chimie
Radiologie
Chirurgie Pédiatrique
Pédiatrie
Radiologie
Chirurgie Plastique et Réparatrice
Urologie
Gastro-Entérologie
Anatomie Pathologique
Anesthésie Réanimation
Chirurgie Générale
Anatomie Pathologique

Anatomie Pathologique

Chirurgie pédiatrique
Anesthésie Réanimation
Traumatologie-orthopédie
Anesthésie Réanimation
Chirurgie Générale
Pneumophtisiologie
Chirurgie Pédiatrique
Anatomie Pathologique

Pharmacologie
Toxicologie
Gastro-Entérologie
Anesthésie-Réanimation
Anesthésie-Réanimation
Réanimation Médicale
Anesthésie-Réanimation
Biochimie-Chimie
Hématologie
Anesthésie Réanimation
Néphrologie
Chimie Analytique et Bromatologie
Traumatologie orthopédie

| | |
|---------------------------------------|--|
| Pr. BOUTARBOUCH Mahjouba | Anatomie |
| Pr. CHAIB Ali* | Cardiologie |
| Pr. DENDANE Tarek | Réanimation Médicale |
| Pr. DINI Nouzha* | Pédiatrie |
| Pr. ECH-CHERIF EL KETTANI Mohamed Ali | Anesthésie Réanimation |
| Pr. ECH-CHERIF EL KETTANI Najwa | Radiologie |
| Pr. ELFATEMI NIZARE | Neuro-chirurgie |
| Pr. EL GUERROUJ Hasnae | Médecine Nucléaire |
| Pr. EL HARTI Jaouad | Chimie Thérapeutique |
| Pr. EL JAOUDI Rachid* | Toxicologie |
| Pr. EL KABABRI Maria | Pédiatrie |
| Pr. EL KHANNOUSSI Basma | Anatomie Pathologique |
| Pr. EL KHLOUFI Samir | Anatomie |
| Pr. EL KORAICHI Alae | Anesthésie Réanimation |
| Pr. EN-NOUALI Hassane* | Radiologie |
| Pr. ERRGUIG Laila | Physiologie |
| Pr. FIKRI Meryem | Radiologie |
| Pr. GHFIR Imade | Médecine Nucléaire |
| Pr. IMANE Zineb | Pédiatrie |
| Pr. IRAQI Hind | Endocrinologie et maladies métaboliques |
| Pr. KABBAJ Hakima | Microbiologie |
| Pr. KADIRI Mohamed* | Psychiatrie |
| Pr. LATIB Rachida | Radiologie |
| Pr. MAAMAR Mouna Fatima Zahra | Médecine Interne |
| Pr. MEDDAH Bouchra | Pharmacologie |
| Pr. MELHAOUI Adyl | Neuro-chirurgie |
| Pr. MRABTI Hind | Oncologie Médicale |
| Pr. NEJJARI Rachid | Pharmacognosie |
| Pr. OUBEJJA Houda | Chirurgie Pédiatrique |
| Pr. OUKABLI Mohamed* | Anatomie Pathologique |
| Pr. RAHALI Younes | Pharmacie Galénique Vice-Doyen à la Pharmacie |
| Pr. RATBI Ilham | Génétique |
| Pr. RAHMANI Mounia | Neurologie |
| Pr. REDA Karim* | Ophthalmologie |
| Pr. REGRAGUI Wafa | Neurologie |
| Pr. RKAIN Hanan | Physiologie |
| Pr. ROSTOM Samira | Rhumatologie |
| Pr. ROUAS Lamiaa | Anatomie Pathologique |
| Pr. ROUIBAA Fedoua* | Gastro-Entérologie |
| Pr. SALIHOUN Mouna | Gastro-Entérologie |
| Pr. SAYAH Rochde | Chirurgie Cardio-Vasculaire |
| Pr. SEDDIK Hassan* | Gastro-Entérologie |
| Pr. ZERHOUNI Hicham | Chirurgie Pédiatrique |
| Pr. ZINE Ali* | Traumatologie Orthopédie |
| AVRIL 2013 | |
| Pr. EL KHATIB MOHAMED KARIM* | Stomatologie et Chirurgie Maxillo-faciale |
| MARS 2014 | |
| Pr. ACHIR Abdellah | Chirurgie Thoracique |
| Pr. BENCHAKROUN Mohammed* | Traumatologie- Orthopédie |

Pr. BOUCHIKH Mohammed
Pr. EL KABBAJ Driss*
Pr. EL MACHTANI IDRISSE Samira*
Pr. HARDIZI Houyam
Pr. HASSANI Amale*
*Enseignant militaire

Chirurgie Thoracique
Néphrologie
Biochimie-Chimie
Histologie- Embryologie-Cytogénétique
Pédiatrie

Pr. HERRAK Laila
Pr. JEADI Anass*
Pr. KOUACH Jaouad*
Pr. MAKRAM Sanaa*
Pr. RHISSASSI Mohamed Jaafar
Pr. SEKKACH Youssef*
Pr. TAZI MOUKHA Zakia

Pneumologie
Hématologie Biologique
Génécologie-Obstétrique
Pharmacologie
CCV
Médecine Interne
Généologie-Obstétrique

DECEMBRE 2014

Pr. ABILKACEM Rachid*
Pr. AIT BOUGHIMA Fadila
Pr. BEKKALI Hicham*
Pr. BENAZZOU Salma
Pr. BOUABDELLAH Mounya
Pr. BOUCHRIK Mourad*
Pr. DERRAJI Soufiane*
Pr. EL AYOUBI EL IDRISSE Ali
Pr. EL GHADBANE Abdedaim Hatim*
Pr. EL MARJANY Mohammed*
Pr. FEJJAL Nawfal
Pr. JAHIDI Mohamed*
Pr. LAKHAL Zouhair*
Pr. OUDGHIRI NEZHA
Pr. RAMI Mohamed
Pr. SABIR Maria
Pr. SBAI IDRISSE Karim*

Pédiatrie
Médecine Légale
Anesthésie-Réanimation
Chirurgie Maxillo-Faciale
Biochimie-Chimie
Parasitologie
Pharmacie Clinique
Anatomie
Anesthésie-Réanimation
Radiothérapie
Chirurgie Réparatrice et Plastique
O.R.L
Cardiologie
Anesthésie-Réanimation
Chirurgie Pédiatrique
Psychiatrie
Médecine préventive, santé publique et Hyg.

AOUT 2015

Pr. MEZIANE Meryem
Pr. TAHIRI Latifa

Dermatologie
Rhumatologie

PROFESSEURS AGREGES :

JANVIER 2016

Pr. BENKABBOU Amine
Pr. EL ASRI Fouad*
Pr. ERRAMI Nouredine*
Pr. NITASSI Sophia

Chirurgie Générale
Ophtalmologie
O.R.L
O.R.L

JUIN 2017

Pr. ABI Rachid*
Pr. ASFALOU Ilyasse*
Pr. BOUAITI El Arbi*
Pr. BOUTAYEB Saber
Pr. EL GHISSASSI Ibrahim
Pr. HAFIDI Jawad

Microbiologie
Cardiologie
Médecine préventive, santé publique et Hyg.
Oncologie Médicale
Oncologie Médicale
Anatomie

Pr. MAJBAR Mohammed Anas
Pr. OURAINI Saloua*
Pr. RAZINE Rachid
Pr. SOUADKA Amine
Pr. ZRARA Abdelhamid*

MAI 2018

Pr. AMMOURI Wafa
Pr. BENTALHA Aziza
Pr. EL AHMADI Brahim
Pr. EL HARRECH Youness*
Pr. EL KACEMI Hanan
Pr. EL MAJJAOUI Sanaa
*Enseignant militaire

Pr. FATIHI Jamal*
Pr. GHANNAM Abdel-Ilah
Pr. JROUNDI Imane
Pr. MOATASSIM BILLAH Nabil
Pr. TADILI Sidi Jawad
Pr. TANZ Rachid*

NOVEMBRE 2018

Pr. AMELLAL Mina
Pr. SOULY Karim
Pr. TAHRI Rajae

NOVEMBRE 2019

Pr. AATIF Taoufiq*
Pr. ACHBOUK Abdelhafid*
Pr. ANDALOUSSI SAGHIR Khalid
Pr. BABA HABIB Moulay Abdellah*
Pr. BASSIR RIDA ALLAH
Pr. BOUATTAR TARIK
Pr. BOUFETTAL MONSEF
Pr. BOUCHENTOUF Sidi Mohammed*
Pr. BOUZELMAT HICHAM*
Pr. BOUKHRIS JALAL*
Pr. CHAFRY BOUCHAIB*
Pr. CHAHDI HAFSA*
Pr. CHERIF EL ASRI ABAD*
Pr. DAMIRI AMAL*
Pr. DOGHMI NAWFAL*
Pr. EL LALAOUI SIDI-YASSIR
Pr. EL ANNAZ HICHAM*
Pr. EL HASSANI MOULAY EL MEHDI*
Pr. EL HJOUJI ABDERRAHMAN*
Pr. EL KAOUI HAKIM*
Pr. EL WALI ABDERRAHMAN*
Pr. EN-NAFAA ISSAM*
Pr. HAMAMA JALAL*
Pr. HEMMAOUI BOUCHAIB*

Chirurgie Générale
O.R.L
Médecine préventive, santé publique et Hyg.
Chirurgie Générale
Immunologie

Médecine interne
Anesthésie-Réanimation
Anesthésie-Réanimation
Urologie
Radiothérapie
Radiothérapie

Médecine Interne
Anesthésie-Réanimation
Médecine préventive, santé publique et Hyg.
Radiologie
Anesthésie-Réanimation
Oncologie Médicale

Anatomie
Microbiologie
Histologie-Embryologie-Cytogénétique

Néphrologie
Chirurgie réparatrice et plastique
Radiothérapie
Gynécologie-Obstétrique
Anatomie
Néphrologie
Anatomie
Chirurgie-Générale
Cardiologie
Traumatologie-Orthopédie
Traumatologie-Orthopédie
Anatomie pathologique
Neuro-chirurgie
Anatomie Pathologique
Anesthésie-Réanimation
Pharmacie-Galénique
Virologie
Gynécologie-Obstétrique
Chirurgie Générale
Chirurgie Générale
Anesthésie-Réanimation
Radiologie
Stomatologie et Chirurgie Maxillo-faciale
O.R.L

Pr. HJIRA NAOUFAL*
Pr. JIRA MOHAMED*
Pr. JNIE NE ASMAA
Pr. LARAQUI HICHAM*
Pr. MAHFOUD TARIK*
Pr. MEZIANE MOHAMMED*
Pr. MOUTAKI ALLAH YOUNES*
Pr. MOUZARI YASSINE*
Pr. NAOUI HAFIDA*
Pr. OBTEL MAJDOULINE
Pr. OURRAI ABDELHAKIM*
Pr. SAOUAB RACHIDA*
Pr. SBITTI YASSIR*
Pr. ZADDOUG OMAR*
Pr. ZIDOUH SAAD*

Dermatologie
Médecine interne
Physiologie
Chirurgie-Générale
Oncologie Médicale
Anesthésie-Réanimation
Chirurgie Cardio-Vasculaire
Ophtalmologie
Parasitologie-Mycologie
Médecine préventive, santé publique et Hyg.
Pédiatrie
Radiologie
Oncologie Médicale
Traumatologie-Orthopédie
Anesthésie-Réanimation

*Enseignant militaire

2 - ENSEIGNANTS-CHERCHEURS SCIENTIFIQUES PROFESSEURS DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR :

| | |
|-------------------------------------|---|
| Pr. ABOUDRAR Saadia | Physiologie |
| Pr. ALAMI OUHABI Naima | Biochimie-chimie |
| Pr. ALAOUI KATIM | Pharmacologie |
| Pr. ALAOUI SLIMANI Lalla Naïma | Histologie-Embryologie |
| Pr. ANSAR M'hammed | Chimie Organique et Pharmacie Chimique |
| Pr. BARKIYOU Malika | Histologie-Embryologie |
| Pr. BOUHOUCHE Ahmed | Génétique Humaine |
| Pr. BOUKLOUZE Abdelaziz | Applications Pharmaceutiques |
| Pr. DAKKA Taoufiq | Physiologie Vice-Doyen chargé de la Rech. et de la Coop. |
| Pr. FAOUZI Moulay El Abbas | Pharmacologie |
| Pr. IBRAHIMI Azeddine | Biologie moléculaire/Biotechnologie |
| Pr. OULAD BOUYAHYA IDRISSE Mohammed | Chimie Organique |
| Pr. RIDHA Ahlam | Chimie |
| Pr. TOUATI Driss | Pharmacognosie |
| Pr. ZAHIDI Ahmed | Pharmacologie |

PROFESSEURS HABILITES :

| | |
|---------------------------------|---------------------------|
| Pr. BENZEID Hanane | Chimie |
| Pr. CHAHED OUZZANI Lalla Chadia | Biochimie-chimie |
| Pr. DOUKKALI Anass | Chimie Analytique |
| Pr. EL JASTIMI Jamila | Chimie |
| Pr. KHANFRI Jamal Eddine | Histologie-Embryologie |
| Pr. LYAHYAI Jaber | Génétique |
| Pr. OUADGHIRI Mouna | Microbiologie et Biologie |
| Pr. RAMLI Youssef | Chimie |
| Pr. SERRAGUI Samira | Pharmacologie |
| Pr. TAZI Ahnini | Génétique |
| Pr. YAGOUBI Maamar | Eau, Environnement |

Mise à jour le 05/03/2021
KHALED Abdellah
Chef du Service des Ressources Humaines
FMPR

*Enseignant militaire



Dédicaces

A mes chers parents

J'ai toujours hésité à vous faire des dédicaces de peur de tomber dans l'ingratitude car pour moi aucune dédicace ne pourrait traduire valablement la place que vous occupez dans ma vie

Je vous dédie ce travail

Pour l'amour que vous m'avez toujours donné,

Pour les énormes sacrifices que vous consentis

pour mon instruction et mon bien-être,

Pour vos prières tout au long de mes études.

Veillez trouver, chers parents, dans ce modeste travail,

le fruit de vos sacrifices ainsi que l'expression

de ma profonde affection et ma vive reconnaissance

A mes frères et sœurs

Pour votre amour et pour les liens de sang qui nous unissent.

*Vous avez toujours été et vous serez toujours
une source d'énergie pour moi.*

A tous mes promotionnaire de l'internat pharmacie 2018

Treize cavaliers solidaires, formidables.

*A mes camarades étrangers de la 30 ème promotion
pharmacie Rabat*

*Avec vous, j'ai trouvé des frères et des sœurs
Les liens qui nous unissent ne sauraient plus être défaits.*

A mes ami(e)s Jean-Marie, Sara,

Amal, Zeynaba, Oumaima, Soumaila

Pour votre sympathie et votre disponibilité



Remerciements

A Notre maitre et rapporteur de thèse

Madame Mariama CHADLI

Professeur de Microbiologie

Pour m'avoir inspiré ce sujet digne d'intérêt

Pour m'avoir fait l'honneur d'encadrer ce travail,

Pour vos multiples conseils judicieux et votre grande disponibilité

tout au long de l'élaboration de cette thèse.

Mon bref passage dans votre service m'a beaucoup appris.

Par ces lignes je tiens à vous exprimer ma profonde gratitude

et mes sincères remerciements.

A notre Maître et Président de Jury

Monsieur Mimoun ZOUHDI

Professeur de Microbiologie

*Pour l'honneur que vous me faites en acceptant
de présider le jury de ma thèse*

*Veillez accepter l'expression de mon profond respect
et mes vifs remerciements.*

*A notre Maître et juge
Monsieur Ahmed GAOUZI
Professeur de Pédiatrie*

*Pour m'avoir fait l'honneur de participer
à mon jury de thèse,
Mes remerciements les plus sincères.*

*A notre Maître et juge
Madame Saida TELLAL
Professeur de Biochimie*

*Pour m'avoir fait l'honneur de participer à mon jury de thèse,
Pour m'avoir enseigné le cours de nutrition en 3ème pharmacie
Veuillez trouver l'expression de mes plus vifs remerciements.*

*A notre Maître et juge
Madame Hafida NAOUI,
Professeur de Parasitologie-Mycologie*

*Pour avoir gentiment accepté de prendre
part à mon jury de thèse.*

*Veillez accepter, chère Professeure, mes remerciements
les plus sincères.*



Liste des abréviations

LISTE DES ABREVIATIONS

| | |
|-----------------------|---|
| C | : degré Celsius |
| AFSCA | : Agence Fédérale pour la Sécurité de la Chaîne Alimentaire |
| AGI | : Acide gras insaturé |
| AGMI | : Acides gras Mono-Insaturés |
| AGPI | : Acides Gras Poly-Insaturés |
| AGS | : Acides Gras saturés |
| ANSES | : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail |
| As | : Arsenic |
| Av J-C | : avant Jésus Christ |
| BP | : Before Present |
| Cd | : Cadmium |
| CH₄ | : Méthane |
| Co | : Cobalt |
| CO₂ | : Dioxyde de Carbone |
| Cr | : Chrome |
| Cu | : Cuivre |
| FAO | : Food and Agriculture Organisation (Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture) |
| g | : gramme |
| GES | : Gaz à Effet de Serre |
| Ha | : Hectare |
| Kg | : Kilogramme |
| m² | : mètre carré |
| ng | : nanogramme |
| NH₄ | : Ammoniac |
| Ni | : Nickel |
| NO₂ | : Protoxyde d'azote |

| | |
|------------|---|
| OMS | : Organisation Mondiale de la Santé |
| Pb | : Plomb |
| PRP | : Potentiel de Réchauffement Planétaire |
| Sn | : Etain |
| T | : Température |
| ufc | : Unité Formant Colonie |
| µg | : microgramme |
| UTO | : Unité Taxonomique Opérationnelle |
| Zn | : Zinc |



Liste des illustrations

LISTES DES FIGURES

| | |
|---|----|
| Figure 1: Représentation du cycle de développement d'un insecte hétérométabole [12] | 10 |
| Figure 2: Cycle de développement du criquet [13]. | 11 |
| Figure 3: Représentation du cycle de développement d'un insecte holométabole [12]. | 12 |
| Figure 4: Cycle de développement du papillon [14]. | 13 |
| Figure 5: Nombre d'espèces d'insectes comestibles répertoriées par pays [1]. | 15 |
| Figure 6: Les espèces d'insectes comestibles dans le monde réparties en différents groupes [16]. | 18 |
| Figure 7: Charançon rouge du palmier (<i>Rhynchophorus ferrugineus</i>) : l'adulte (a), la larve (b) [23]. | 19 |
| Figure 8: <i>Tenebrio molitor</i> dont la larve en (a) et l'adulte en (b) [25]. | 20 |
| Figure 9: <i>Oryctes rhinocéros</i> avec l'adulte à gauche et la larve à droite [28]. | 21 |
| Figure 10: <i>Imbrasia belina</i> (Ver mopane) avec la chenille à gauche et l'adulte à droite [35]. | 22 |
| Figure 11: <i>Cirina forda</i> , l'imago (a), la larve (b) [36, 37]. | 23 |
| Figure 12: En (a), chenilles du bambou vivantes. En (b), chenilles du bambou vendues sur le marché local de Chiang Mai, Thaïlande [1, 38]. | 24 |
| Figure 13: Le Cocon (a) et les chrysalides frites (b) du <i>Bombyx mori</i> [40, 41]. | 25 |
| Figure 14: Œufs de fourmi du genre <i>Liometopum</i> [43]. | 27 |
| Figure 15: Fourmi pot-de-miel [44]. | 28 |

| | |
|---|----|
| Figure 16: Un nid de guêpes communes (<i>Vespula vulgaris</i>) (a) et les larves de guêpe surgelées importées de Madagascar (b) [47, 48]..... | 29 |
| Figure 17: Criquet migrateur grégaire (gauche) et solitaire (droite) [50, 51]. .. | 31 |
| Figure 18: En (a), Chapuline vivante et en (b), vendeuse de chapulines à Oaxaca, Mexique [1, 53]..... | 32 |
| Figure 19: <i>Acheta domesticus</i> (grillons domestique) [55]. | 33 |
| Figure 20: <i>Dactylopius coccus</i> sur le cactus (a) et le carmin de cochenille (b) [57, 58] ; | 34 |
| Figure 22 <i>Encosternum delegorguei</i> (a), Punaises pour la dégustation (b) [1, 61]..... | 35 |
| Figure 23: Termitière (a) et une reine de termite (b) [1, 62] | 36 |
| Figure 24:: En (a), vente de chenilles à Kinshasa, République démocratique du Congo et en (b), une diversité d'insectes en vente à Bangkok, Thaïlande [1]. .. | 44 |
| Figure 25: En (a), chenilles de karité prêtes pour la consommation vendues au Burkina Faso et en (b), mélange de grillons et de vers de farine vendu en France [75, 76]..... | 44 |
| Figure 26: En (a), farine de vers ténébrions vendue en ligne et en (b), biscuits aux chenilles vendus au Burkina Faso [77, 78]..... | 45 |
| Figure 27: composition nutritionnelle des principales espèces d'insectes comestibles [79]..... | 48 |
| Figure 28: Teneur des insectes en acides aminés essentiels (en mg/g de protéine brute) comparé aux apports recommandés par l'OMS (en mg/g de protéine) [79]. | 54 |
| Figure 29: Rendements des productions comparées de viandes conventionnelles et de grillons [114]..... | 66 |

| | |
|---|----|
| Figure 30: Les émissions de GES et d'ammoniac du ver de farine, du criquet, du grillon comparées à celles du porc et des bovins [5] | 68 |
| Figure 31: Surfaces consacrées à la production d'un kg de protéines de ver de farine, de lait, de porc, de poulet et de bœuf [1, 120]..... | 70 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|--|----|
| Tableau I : Exemples des valeurs énergétiques d'espèces d'insectes préparées de différentes façons, par région [1]. | 49 |
| Tableau II: Teneur en protéines des insectes comestibles (exprimée en en % de matière sèche) [79]. | 50 |
| Tableau III: Variations de la teneur en protéines du criquet puant <i>Zonocerus variegatus</i> selon le stade de développement [84]. | 51 |
| Tableau IV: Comparaison de la teneur moyenne en protéines des insectes, des reptiles, des poissons et des mammifères [1]. | 52 |
| Tableau V: Comparaison de la teneur en acides aminés du <i>Tenebrio molitor</i> avec la viande de bœuf [1, 86]. | 55 |
| Tableau VI: Teneurs en matières grasses et en certains acides gras de quelques espèces d'insectes consommées au Cameroun [100]. | 58 |
| Tableau VII: La teneur en minéraux des chrysalides du vers à soi comparée à celle d'autres animaux courants et à l'apport journalier recommandé (teneur par poids frais) [104]. | 61 |



Sommaire

SOMMAIRE

| | |
|--|----|
| INTRODUCTION | 1 |
| I. HISTOIRE DE L'ENTOMOPHAGIE | 5 |
| 1.Entomophagie : Temps Anciens, Temps Modernes | 5 |
| 2.Entomophagie Et Religions | 7 |
| II.BIOLOGIE DE L'INSECTE | 9 |
| 1.Place De L'insecte Dans Le Règne Animal | 9 |
| 1.Stades De Développement De L'insecte | 9 |
| a.développement hétérométabole | 10 |
| b.développement holométabole | 12 |
| 2.Nombre D'espèces D'insectes Comestibles Et Leur Répartition Mondiale | 14 |
| III.PRINCIPALES ESPECES D'INSECTES COMESTIBLES | 17 |
| 1.L'ordre Des Coléoptères | 18 |
| 2.L'ordre Des Lépidoptères (Les Papillons) | 21 |
| 3.L'ordre Des Hyménoptères | 26 |
| 4.L'ordre Des Orthoptères (Criquets, Sauterelles, Grillons) | 29 |
| 5.L'ordre Des Hémiptères | 33 |
| a.sous-ordre des homoptères (cigales, cicadelles et cochenilles) | 33 |
| b.sous-ordre des hétéroptères (les punaises) | 34 |
| 6.L'ordre Des Isoptères (Les Termites) | 35 |
| IV.REGIONS PRATIQUANT L'ENTOMOPHAGIE | 37 |
| V.OBTENTION D'INSECTES COMESTIBLE | 41 |
| 1.La Collecte | 41 |
| 2.L'abattage | 41 |
| 3.Transformation Et Conservation | 42 |
| VI.COMPOSITION NUTRITIONNELLE DES INSECTES | 47 |
| 1.Valeur Energétique | 49 |
| 2.Teneur En Protéines | 50 |
| 3.Teneur En Acides Aminés | 54 |
| 4.Teneur En Matières Grasses | 56 |
| 5.Glucides | 60 |
| 6.Teneur En Micronutriments | 60 |

| | |
|--|-----------|
| a.teneur en élément minéraux..... | 60 |
| b.teneur en vitamines..... | 62 |
| 7.Teneur En Fibres | 63 |
| VII.QUELQUES AVANTAGES ENVIRONNEMENTAUX DE L'ELEVAGE DES INSECTES | 65 |
| 1.Conversion Alimentaire | 65 |
| 2.Consommation D'eau..... | 66 |
| 3.Emissions D'ammoniaC Et De Gaz A Effet De Serre | 67 |
| 4.Besoins En Terres Arables | 69 |
| VIII.RISQUES SANITAIRES LIES A L'ENTOMOPHAGIE..... | 72 |
| 1.Risque Chimique | 72 |
| 2.Substances Toxiques Et Les Facteurs Antinutritionnels | 72 |
| a.substances toxiques..... | 72 |
| i.les phanérottoxiques | 72 |
| ii.Les Cryptotoxiques | 73 |
| b.facteurs antinutritionnels | 74 |
| c.les contaminants chimiques | 76 |
| i.Les Pesticides | 76 |
| ii.Les Métaux Lourds | 77 |
| iii.Médicaments Vétérinaires..... | 77 |
| 3.Danger Physique..... | 78 |
| 4.Risque Microbiologique | 78 |
| a.Danger Bactériologique Et Toxines..... | 79 |
| I.Flore Bactérienne Des Insectes Crus..... | 79 |
| Ii.Effet De La Transformation Sur La Flore Bactérienne..... | 80 |
| b.Risque Fongique..... | 82 |
| c.Risque Parasitaire | 82 |
| d.Risque Viral..... | 83 |
| e.Agents Transmissibles Non Conventionnels (ATNC)..... | 83 |
| 5.Risque Allergique..... | 85 |
| a.Réactions Allergiques Rapportées Dans La Littérature..... | 85 |
| bAllergènes Des Insectes Comestibles Et Réactions Croisées | 86 |

| | |
|--|----|
| IX. QUELQUES RECOMMANDATIONS | 90 |
| 1. Recommandations De L'anses Et De La FAO..... | 90 |
| 2. Recommandations Pour Une Préparation Traditionnelle Sans Danger Des Insectes..... | 91 |
| CONCLUSION | 92 |
| RESUMES | 95 |
| BIBLIOGRAPHIE | 99 |



Introduction

D'ici 2050, le monde hébergera 9 milliards d'êtres humains ainsi que des milliards d'animaux d'élevage. Une population humaine et animale qu'il faudra nourrir. Cela implique une augmentation majeure de la production de nourriture. Cependant avec la raréfaction des terres agricoles, les changements climatiques ainsi la surpêches des océans, la production alimentaire mondiale risque d'être gravement impactée [1]. Le problème de sécurité alimentaire globale qui risque de se poser pourrait être plus ressenti dans les pays en développement [2]. En 2019 déjà, plus de 820 millions de personnes ne mangeaient pas à leur faim [3], il est donc nécessaire de réévaluer notre alimentation et comment nous le produisons. De nouveaux moyens de production alimentaire plus efficaces, la diminution du gâchis alimentaire sont nécessaires afin de répondre aux présents défis liés à l'alimentation et de la nutrition de la planète [1].

Parmi les réponses possibles à la problématique alimentaire actuelle, la FAO recommande, dans un rapport produit en 2013, d'envisager l'élevage d'insectes comestibles à grande échelle [1]. D'autant que les insectes ont toujours fait partie de l'alimentation humaine et on estime à plus de 2 milliards de consommateurs réguliers d'insectes à travers le monde [1]. Cependant, ce nombre est en baisse dû à l'urbanisation et aux changements des habitudes de consommation alimentaire que connaît de nombreuses régions du monde [4]. La consommation actuelle des insectes concerne principalement ceux qui sont collectés dans la nature, mais de plus en plus de fermes de production d'insectes se développent à travers le monde y compris en Europe. Selon plusieurs publications, les insectes sont ubiquitaires, se reproduisent rapidement, présentent des taux de croissance et de conversion alimentaire élevés, ont un faible impact sur l'environnement [5, 6]. Ils peuvent être élevés à partir des déchets organiques[1]. Ils sont nutritifs, avec une teneur élevée en calories, en protéines, en matières grasses et en minéraux.[1].

Depuis la parution, en 2013, du rapport de la FAO, l'entomophagie(du grec « entomos » qui signifie « insecte » et de « phagen » qui signifie « manger ») est un sujet d'actualité et à regagner un intérêt dans la littérature scientifique. Nous avons abordé ce sujet sous deux angles :

- Premièrement, nous avons étudié les insectes comestibles, leur répartition mondiale, les espèces les plus consommées, les régions où les insectes sont consommés, la composition nutritionnelle des insectes comestibles tout en comparant avec celle des animaux consommés habituellement et enfin les avantages environnementaux de l'élevage des insectes.
- Deuxièmement, nous avons étudié les risques sanitaires liés à la consommation d'insectes.



*Histoire
de l'entomophagie*

I. HISTOIRE DE L'ENTOMOPHAGIE

1. Entomophagie : temps anciens, temps modernes

Actuellement, l'entomophagie est historiquement pratiquée par de nombreux peuples en Asie, en Océanie, en Afrique et en Amérique latine. Cependant cette pratique reste relativement rare en Amérique du Nord et en Europe. La pratique actuelle de l'entomophagie en Europe semble être une nouveauté cependant il ne s'agirait que de la réapparition d'une ancienne pratique de cette région. L'entomophagie est une pratique ancestrale, les insectes ont toujours accompagné les humains au cours de l'histoire. En effet, plusieurs écrits montrent que les insectes ont fait partie du régime alimentaire de l'Homme il ya des milliers d'années.

L'analyse isotopique de l'os de l'australopithèque indique un régime alimentaire composé, en grande partie, des animaux tels que les insectes [7, 8]. En plus, l'analyse de coprolithes humains datant de 9500 à 5400 BP (Before Present : avant 1950) a révélé la présence de fragments d'insectes, ce qui laisse penser que les insectes faisaient partie intégrante du régime alimentaire de l'*Homo sapiens* [9].

Dans le palais d'Assurbanipal **en Mésopotamie** (Moyen-Orient), au VIII^e siècle av J-C, on pense que les criquets faisaient partie des repas servis lors des banquets royaux [1].

En Europe, la première référence à l'entomophagie concerne la Grèce où on y mangeait des cigales. Aristote (**384 - 322 av J-C**), dans son ouvrage intitulé *Historia Animalium* écrit : « La larve de cigale, lorsqu'elle atteint sa pleine taille dans le sol, devient une nymphe; alors elle a le meilleur goût avant que sa carapace n'éclate [c'est-à-dire, avant la dernière mue]. ». Il précise également que les femelles remplies d'œufs avaient un meilleur goût [1]. Diodore de Sicile (historien Grec du I^e siècle av J-C) appelait les habitants d'Éthiopie *Acridophagi*, « mangeurs de criquets et de sauterelles » (*Acridophagi* qui fait allusion à la famille des *Acrididae* appartenant à

l'ordre des coléoptères) [1]. Plus récemment, Ulysse Aldovandi (scientifique Italien), dans son ouvrage *De Animalibus Insectis Libri Septem* de 1602, rapporte que les soldats allemands présents en Italie prenaient du plaisir à manger sans relâche les vers à soie frits. George Cuvier (naturaliste français) écrit : « Les enfants du sud de la France aiment consommer les cuisses charnues des sauterelles. » (Cuvier, 1827) [1]. En 1858, Freeman (auteur anglais) rapporte : « Les Français jouent à attraper des sauterelles qu'ils mettaient sur une pique pour les faire griller sur le feu et les déguster. » (Freeman, 1858)[9].

L'entomophagie est également évoquée dans la littérature chinoise. Li Shizhen (médecin, herboriste et naturaliste) dans son ouvrage « *L'Histoire de la Pharmacopée naturelle* », ouvrage parlant de la médecine chinoise sous la dynastie Ming (1368 – 1644), décrit une diversité d'aliments comprenant de nombreux insectes et évoque également l'intérêt thérapeutique des insectes [1].

Aux Etats-Unis, pour lutter contre les criquets des Montagnes Rocheuses (*Melanoplus spretus*) qui envahissaient les Etats de l'ouest de l'Amérique, l'entomologiste américain Charles Valentine Riley (1843-1895), préconisait de les manger. Il rapporte qu'il consomme lui-même ces criquets. A sa première expérience, lui qui s'attendait à un goût désagréable, a été surpris de voir que les insectes avaient un goût acceptable [1, 10].

L'entomologiste britannique V. M. Holt a considérablement influencé ses compatriotes à travers son livre intitulé « *Why Not Eat Insects?* » publié en 1885 dans lequel il suggère que pour lutter efficacement contre les insectes qui ravagent les cultures, il faut les consommer [1].

2. Entomophagie et religions

Les modes alimentaires ont été historiquement influencés par les croyances religieuses [1]. L'entomophagie est évoquée dans divers documents théologiques comme les textes catholiques, juifs et musulmans.

Dans la bible, l'ancien testament, les insectes sont évoqués comme aliment : « Mais de tout ce qui vole et qui marche sur quatre pieds, vous mangerez ceux qui ont des jambes au-dessus de leurs pieds, pour sauter sur la terre » (Lévitique XI: 21), « Voici ceux que vous mangerez: le criquet, le criquet chauve, le coléoptère et la sauterelle, selon leurs espèces » (Lévitique XI: 22) [1] .

On trouve également dans la tradition islamique, des textes faisant allusion à l'entomophagie et la majorité parlent de la permission de consommer les criquets. On peut citer en exemple : « Il est permis de manger les criquets » (Sahih Muslim, 21.4801) et « Les criquets sont le gibier de la mer; vous pouvez les manger » (Sunan ibn Majah, 4.3222) [1].



Biologie de l'insecte

II. BIOLOGIE DE L'INSECTE

1. Place de l'insecte dans le règne animal

La classification traditionnelle ou classique du monde vivant, basée sur le travail du naturaliste suédois Linné (1707-1778), repose sur une hiérarchie fixe de catégories définie comme suite : règne ---> embranchement --->classe --->ordre ---> famille---> genre --->espèce.

Les insectes appartiennent à la classe des insectes et à l'embranchement des arthropodes. L'embranchement des arthropodes rassemble des animaux invertébrés qui se distinguent par un squelette externe chitineux, un corps segmenté en trois parties qui sont la tête, le thorax et l'abdomen, des appendices segmentés (d'où leur nom « arthropode » qui vient du grec « *Arthron* » qui signifie articulation et de « *podos* » qui veut dire pied).Les arthropodes qui ont trois paires de pattes et deux antennes forment la classe des insectes. La classe des insectes regroupe une trentaine d'ordres dont les principaux sont les coléoptères, les lépidoptères, les hyménoptères, les diptères, les orthoptères, les hémiptères, les isoptères et les odonatoptères.

Dans le règne animal, la classe des insectes présente le plus de diversité. Plus d'un millions d'espèces d'insectes ont été décrites sur un nombre total estimé à entre 6 et 10 millions d'espèces [1].

1. Stades de développement de l'insecte

Le cycle de développement de l'insecte passe par plusieurs stades : œuf, larve, nymphe et adulte (imago). Les stades larvaires et nymphaux ne sont pas toujours présents. On distingue deux grands types de développement en fonction de l'espèce [11] : le développement hétérométabole et le développement holométabole.

a. Développement hétérométabole

Dans ce type de développement, la métamorphose est incomplète (**figure 1**). Lorsque l'œuf éclot, il en sort une larve, qu'on appelle alors « juvénile », qui ressemble morphologiquement à l'adulte sauf au niveau de la taille et de la maturation sexuelle et parfois au niveau de la couleur. Le juvénile et l'adulte ont des modes de vie et des régimes similaires. Le juvénile passe par plusieurs stades juvéniles entrecoupés de mues permettant la croissance et la maturation [11].

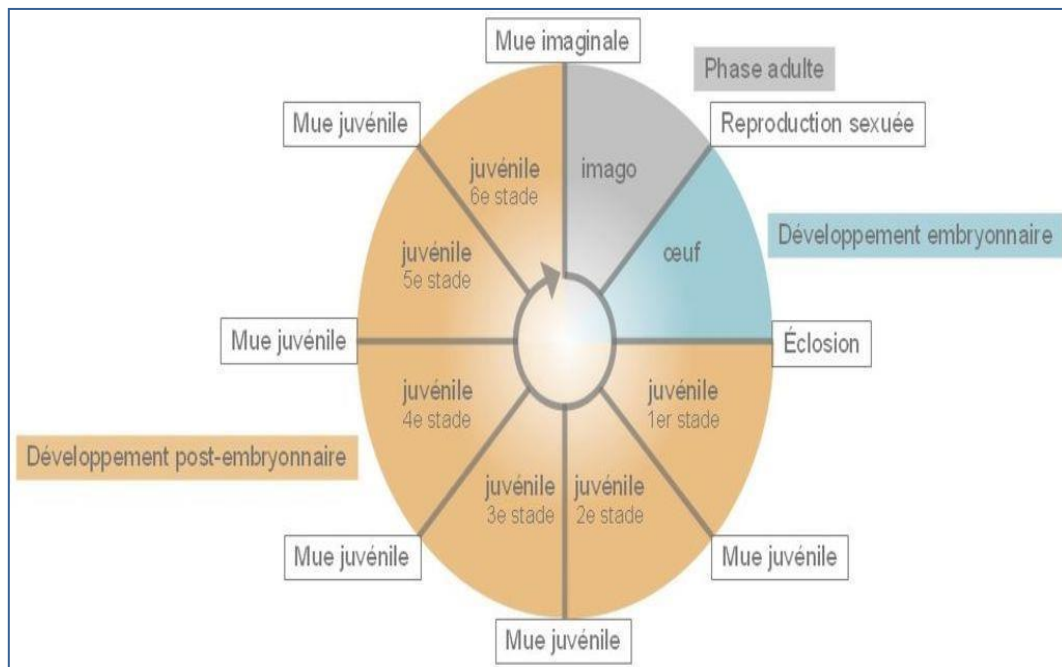


Figure 1: Représentation du cycle de développement d'un insecte hétérométabole[12]

Ce mode de développement se rencontre chez les orthoptères, les psocoptères, les hémiptères, les hétéroptères, les odonoptères, les pléoptères, les éphéméroptères...

Exemple :

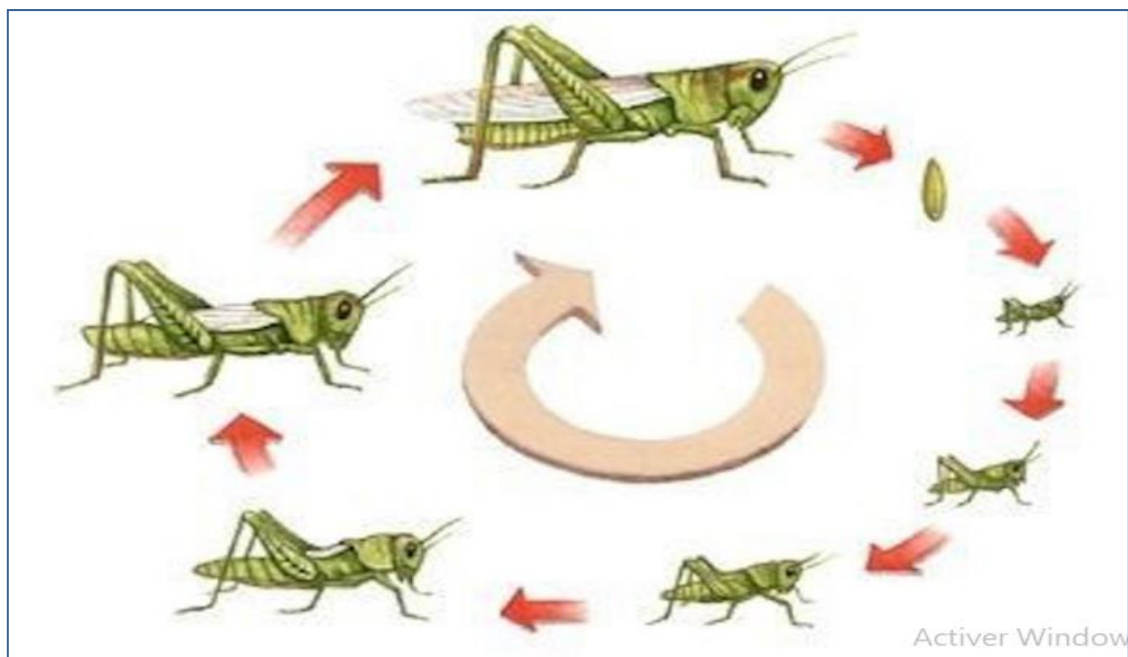


Figure 2: Cycle de développement du criquet [13].

b. Développement holométabole

Ce type de développement est caractérisé par une métamorphose complète. L'insecte passe par 4 stades bien distincts : Oeuf-Larve-Nymph-adulte (Figure 3). La biologie de la larve est complètement différente de celle de l'adulte. La nymphe, qui est le stade intermédiaire entre la larve et l'adulte, est immobile et ne se nourrit pas (elle vit des réserves accumulées pendant le stade larvaire). L'adulte qui sort de la nymphe est complètement différent de la larve[11].

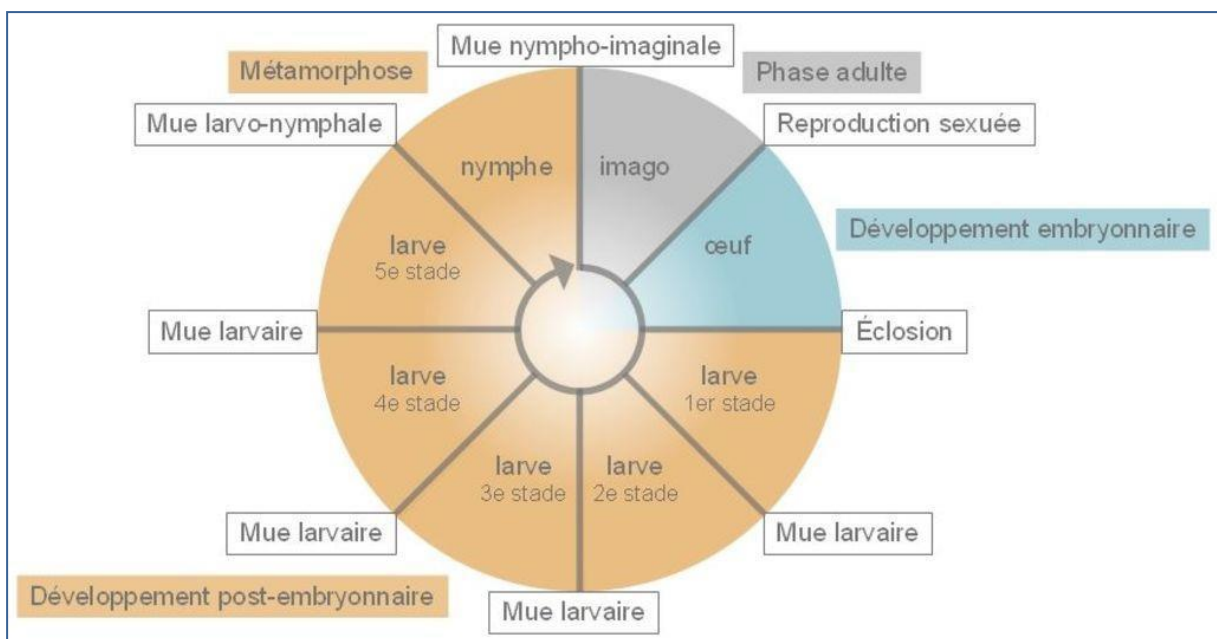


Figure 3: Représentation du cycle de développement d'un insecte holométabole[12].

Le développement holométabole est retrouvé, entre autres, chez les coléoptères, les hyménoptères, les lépidoptères et les diptères.

Exemple :

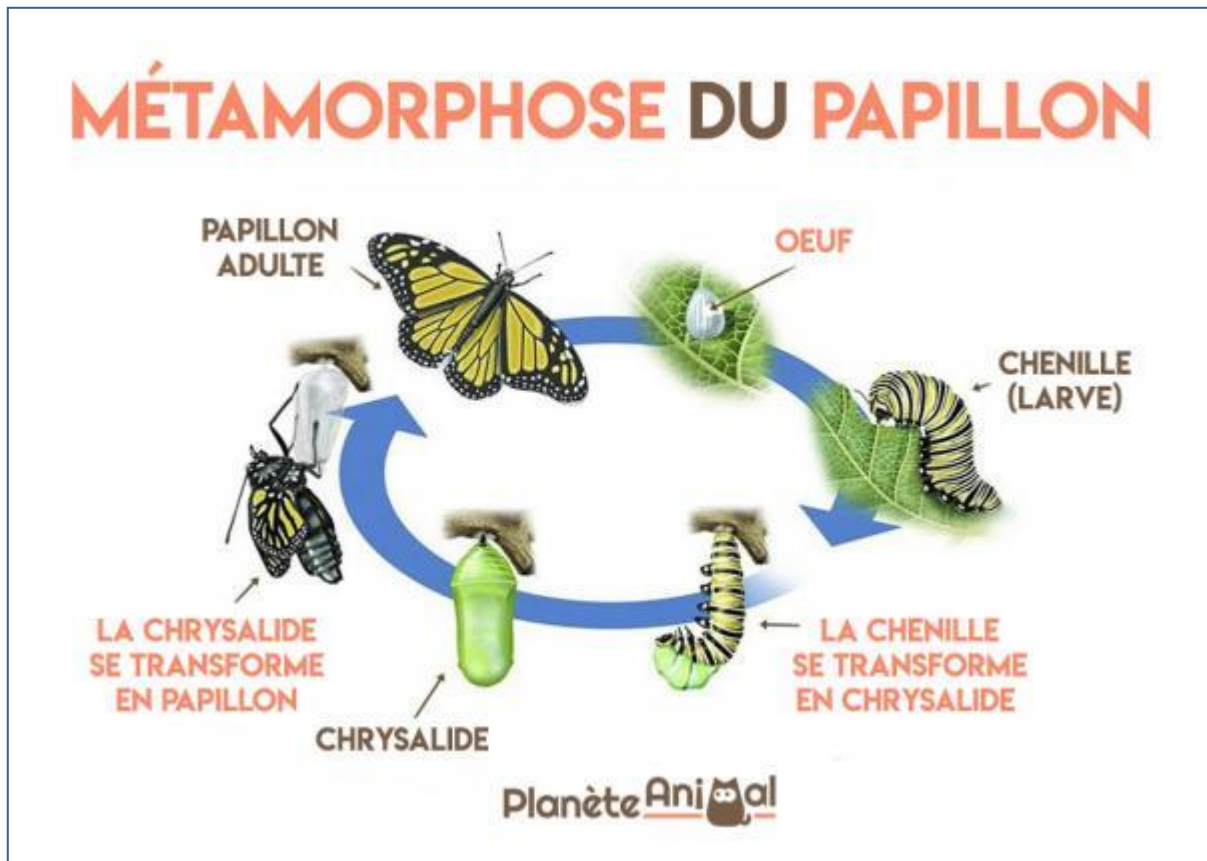


Figure 4: Cycle de développement du papillon [14].

En général, chez les espèces hétérométaboles (criquets, grillons, termites et libellules), c'est le stade adulte qui est consommé, alors que chez les espèces holométaboles (guêpe, papillons, ver à soie), ce sont les larves et/les pupes qui sont consommées [15].

2. Nombre d'espèces d'insectes comestibles et leur répartition mondiale

Les difficultés liées à l'utilisation de la classification de Linné pour décrire les insectes et l'emploi de plusieurs noms vernaculaires par de nombreuses cultures pour désigner une même espèce d'insectes font qu'il est difficile de chiffrer définitivement le nombre total d'espèces d'insectes comestibles dans le monde [1].

A partir de la littérature, Yde Jongema a effectué en 2017 une compilation des espèces d'insectes comestibles dans le monde. Il a noté 2111 espèces d'insectes comestibles [16]. Cependant d'autres études plus anciennes ont enregistré des chiffres plus bas : DeFoliart, en 1997, a estimé à moins de 1000 le nombre d'espèces d'insectes comestibles [17], Ramos Elorduy a compté au moins 1681 espèces en 2005 [18].

Des estimations à l'échelle nationale et régionale ont aussi été effectuées.

L'Amérique héberge le plus grand nombre d'espèces d'insectes comestibles avec 679 espèces recensées qui sont retrouvées en grande partie en Amérique latine principalement au Mexique [19]. Dans le bassin amazonien, 428 espèces comestibles ont été noté [20].

En deuxième position, vient l'Afrique avec 524 espèces comestibles et 36 pays consommateurs [19] principalement dans les régions centrales et australes.

Le continent asiatique vient en troisième position avec 349 espèces comestibles avec 29 pays qui consomment les insectes [19]. Cependant il est probable que le nombre d'espèces comestibles en Asie soit sous-estimé [19]. Plus de 150 espèces comestibles ont été dénombré en Thaïlande [21].

La figure 5 présente le nombre d'espèces d'insectes comestibles répertoriées dans chaque pays en 2012.

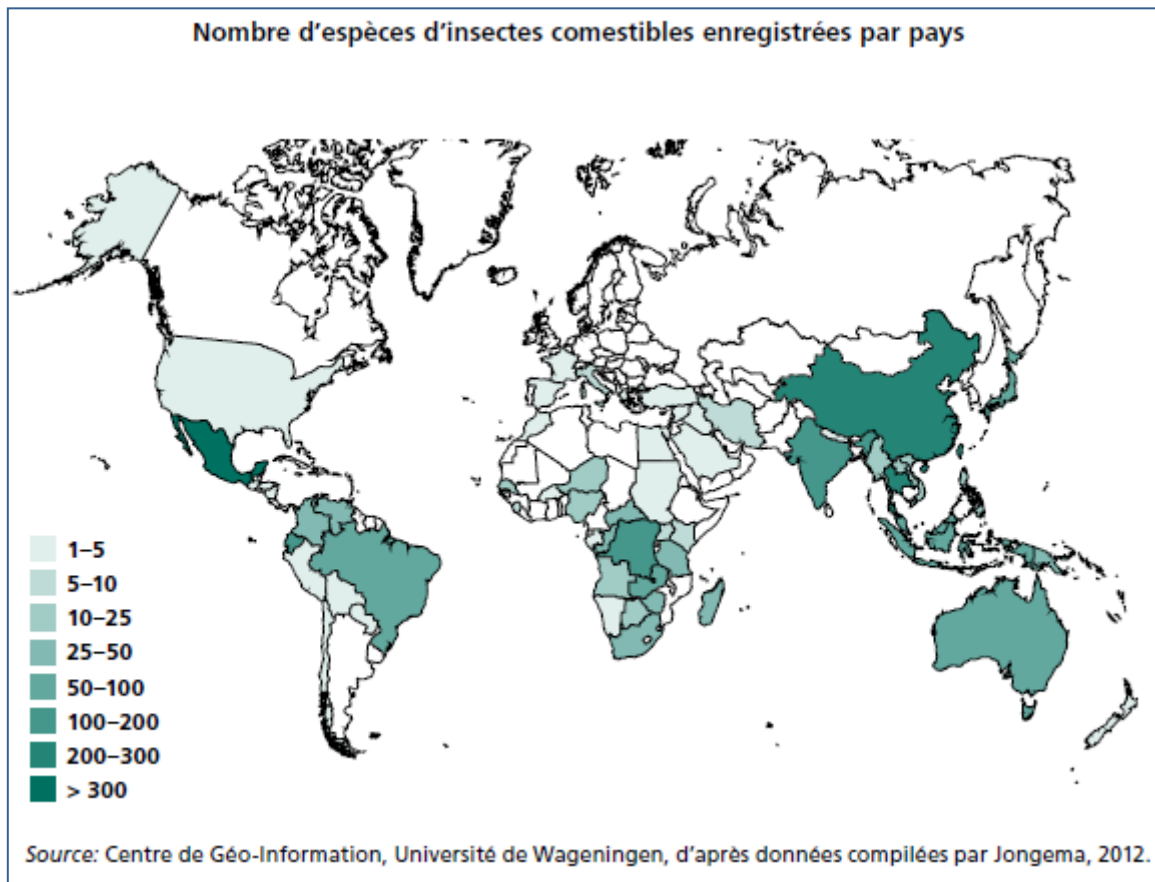


Figure 5: Nombre d'espèces d'insectes comestibles répertoriées par pays [1].



*Principales espèces
d'insectes comestibles*

III.PRINCIPALES ESPECES D'INSECTES COMESTIBLES

Globalement, les espèces d'insectes les plus communément consommées appartiennent aux ordres suivants (figure 6) [16] :

- L'ordre des coléoptères (scarabées) qui regroupe le plus grand nombre d'espèces comestibles correspondant à 659 espèces comestibles.Ce qui est normal vu que ce ordre regroupe 40% de tous les espèces d'insectes connues [1];
- L'ordre des lépidoptères (papillons, mites et les chenilles) avec 362 espèces comestibles ;
- L'ordre des hyménoptères (les abeilles, les guêpes et les fourmis) qui compte 321 espèces recensées comme comestibles ;
- L'ordre des Orthoptères (les sauterelles, les criquets et les grillons) qui compte 278 espèces recensées comme étant comestibles ;
- L'ordre des hémiptères (les cigales, cicadelles, cochenilles et punaises) : 237 espèces comestibles ;
- L'ordre des odonates(les libellules) : 61 espèces comestibles ;
- l'ordre des isoptères(les termites) : 59 espèces comestibles ;
- l'ordre des diptères (les mouches) :37 espèces comestibles ;
- L'ordre des blattoptères : 37 espèces comestible ;
- Autre ordres : 60 espèces comestibles.

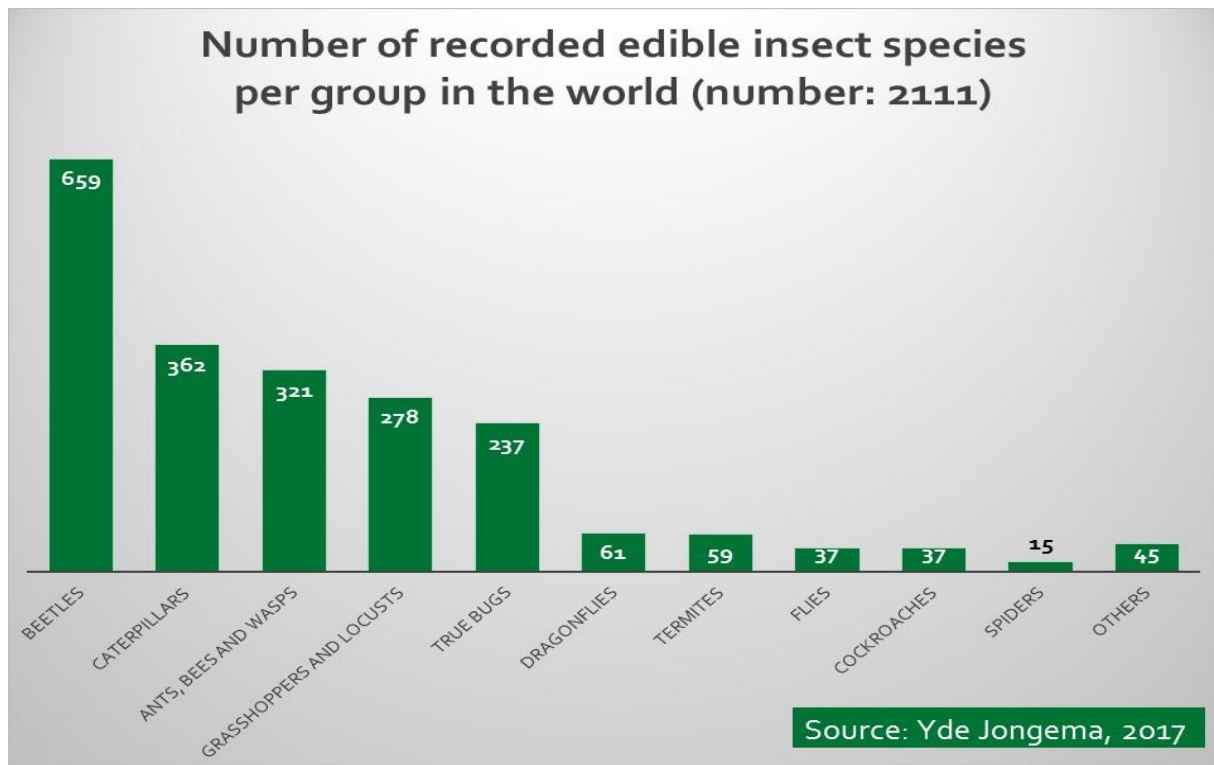


Figure 6: Les espèces d'insectes comestibles dans le monde réparties en différents groupes [16].

1. L'ordre des coléoptères

En général, seules les larves de ces espèces sont consommées[1]. Les coléoptères les plus consommés sont : *Rhyncophorus* sp, *Tenebrio molitor* , *Oryctes rhinoceros*.

• *Rhyncophorus spp*

Le *Rhyncophorus spp* (charançon du palmier)est le coléoptère le plus consommé sous les tropiques. Il est répandu en Afrique tropicale et équatoriale où on retrouve l'espèce *R. phoenicis* , en Asie (la Papouasie-Nouvelle-Guinée, l'Indonésie, les Philippines, la Thaïlande....) où on retrouve l'espèce *R. ferrugineus* et en Amérique tropicale (l'Amérique du Sud, le Mexique, l'Amérique centrale et les Caraïbes) où on rencontre l'espèce *R. palmarum*[1].

Les charançons du palmier ont pour hôte les palmiers (cocotiers, dattiers, palmiers à huile). Les femelles adultes pondent, au niveau des jeunes feuilles ou des stipes des palmiers, des œufs qui vont donner des larves. Les larves vont creuser jusqu'au cœur du palmier entraînant sa mort. La détection des larves se fait traditionnellement en collant l'oreille contre le stipe du palmier et en écoutant le bruit qu'elles font en rongant le palmier. La longueur de la larve est en moyenne de 10,5 cm, la largeur de 5,5 cm et le poids moyen de 6,7g. En général, les larves une fois récoltées, sont lavées et frites puis consommées. Du fait de leur forte teneur en matières grasses, la friture ne nécessite pas l'ajout d'huile [1, 22].

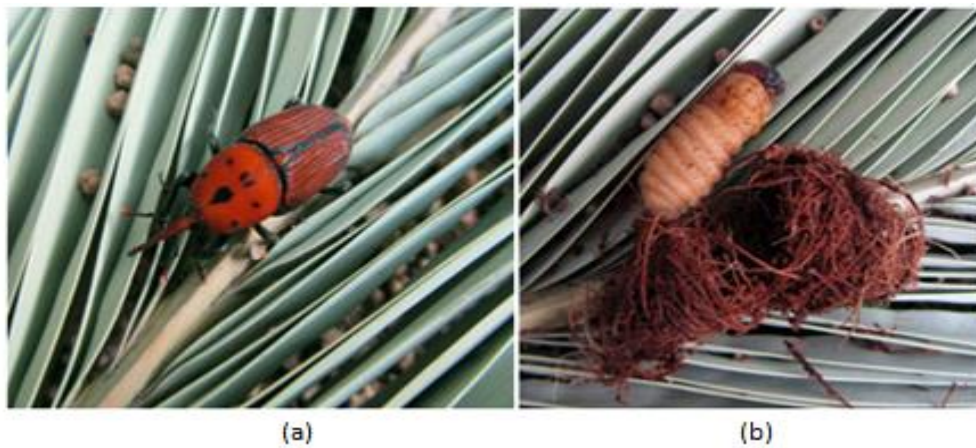


Figure 7: Charançon rouge du palmier (*Rhynchophorus ferrugineus*) :
l'adulte (a), la larve (b)[23].

Les charançons du palmier permettent un semi-élevage. En Papouasie - Nouvelle- Guinée, le peuple asmat abat des palmiers à proximité des habitations et y implante les larves du charançon du palmier. Ces palmiers abattus constituent des sites de reproduction des larves du charançon. Pendant les fêtes, ces larves sont récoltées et constituent un plat de fête [19, 22]. Cette pratique se rencontre également chez le peuple Joti en amazonie [24].

• *Tenebrio molitor*

Le *tenebrio molitor* (ténébrion meunier) de la famille des tenebrionidae est très utilisé dû au fait qu'il est facile à élever. Le ver de farine, qui est le stade larvaire de cette espèce, se nourrit de farine (d'où son nom). La larve peut atteindre 2,5 cm de long [25]. Au Pays-Bas, les larves du *Tenebrion molitor* ainsi que le petit ténébrion (*Alphitobius diaperinus*) et du ténébrion géant (*Zophobas morio*), sont utilisées dans la nourriture des insectivores (reptiles, poissons, oiseaux de compagnie). Elles sont également considérées très propices à l'alimentation humaine et sont proposées dans des boutiques d'alimentation spécialisées [1]. Les larves sont consommées généralement cuites, frites ou lyophilisées [25].

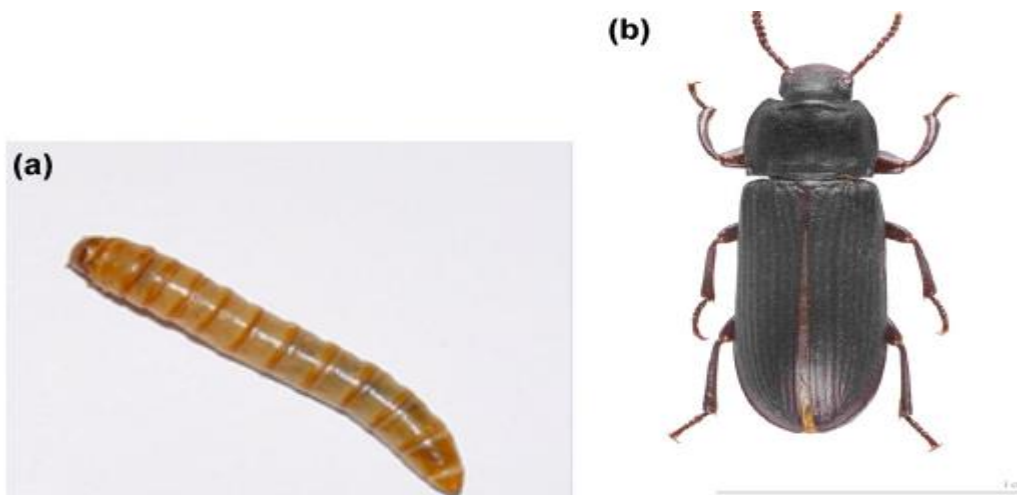


Figure 8: *Tenebrio molitor* dont la larve en (a) et l'adulte en (b) [25].

• *Oryctes rhinoceros*

Cet insecte doit son nom à sa corne caractéristique et est principalement consommé en Asie et en Afrique. Il s'attaque principalement aux cocotiers. La larve se nourrit de la chair de cocotier en décomposition, l'adulte de feuille et fleurs [26, 27].



Figure 9: *Oryctes rhinoceros* avec l'adulte à gauche et la larve à droite [28].

2. L'ordre des lépidoptères (les papillons)

Les papillons sont principalement consommés au stade larvaire (la larve est appelée chenille). La consommation des adultes reste une pratique rare. Il a été rapporté que les papillons du bogong (*Agrotis infusa*) étaient consommés par les aborigènes d'Australie [1, 29].

Les chenilles constituent un groupe très diversifié d'insectes comestibles. En parcourant le Zimbabwe, la Zambie et la RDC, Malaisse a recensé 38 espèces différentes de chenilles [30].

En plus d'être une source de protéines et de micronutriments, elles constituent un moyen de subsistance pour de nombreuses populations du monde. En Afrique subsaharienne, 30% des insectes consommés sont des chenilles [31]. En RDC, les chenilles représentent jusqu'à 40% du totale des protéines animales consommées et à Kinshasa la consommation moyenne de chenille par ménage est estimée à 300 g par semaine [1, 32].

- *Imbrasia belina* (Chenille mopane)(figure 10)

Elle est certainement la chenille la plus communément appréciée et consommée et également la plus importante du point de vu économique. Sa répartition est liée à celle de son hôte qui est le mopane (*Colophospermum mopane*). Elle est présente en Angola, au Botswana, au Mozambique, en Namibie, en République d’Afrique du Sud, en Zambie et au Zimbabwe. Les chenille ne constituent pas uniquement une nourriture de subsistance consommée juste en période de pénurie alimentaire, elles sont également un aliment recherché et une source de revenu pour de nombreuses familles[1, 33]. En 2006, Ghazoul a estimé que ce sont 9,5 milliards de chenilles mopanes qui sont récoltées chaque année dans le sud de l’Afrique , une activité qui est évaluée à 85 millions de dollars Américain[34].

La récolte des chenilles se fait manuellement notamment par les femmes et les enfants. Une fois récoltées, elles subissent une purgation puis elles sont bouillies dans l’eau salée. Après l’ébouillantage, les chenilles sont soit séchées au soleil soit fumées. Les chenilles séchées se conservent pendant des mois [1].



Figure 10: *Imbrasia belina* (Ver mopane) avec la chenille à gauche et l’adulte à droite [35].

- ***Cirina forda* (Chenille de karité)**

Cette espèce vit dans plusieurs pays africains dont la République démocratique du Congo, la République centrafricaine, le Mali, le Togo et Burkina Faso. Les chenilles de karité sont très appréciées et très consommées dans ces pays. Elles sont ramassées dans la nature, dans les karités (*Vitellaria paradoxa*) qui sont leurs arbres hôtes et autres végétaux forestiers indigènes. La récolte se fait entre juillet et octobre [11].

Les chenilles fraîches et séchées sont vendues en Afrique centrale et en Afrique de l'Ouest. Au Burkina Faso, à Bobo-Dioulasso, les chenilles de karité communément appelées chitoumou sont particulièrement appréciées par les habitants. Les chenilles peuvent être consommées frites, mélangées avec des légumes [11].



Figure 11: *Cirina forda* , l'imago (a), la larve (b) [36, 37].

- *Omphisa fuscidentalis* (Chenille du bambou)

Appelée aussi la foreuse du bambou en Asie, la chenille du bambou est bien appréciée en Thaïlande et au Laos. En Thaïlande, la foreuse du bambou est un aliment encouragé par le ministère de l'agriculture et aussi par les coopératives comme source viable de revenus [1]. Les chenilles du bambou peuvent être consommées frites aromatisées ou non d'épices.



Figure 12: En (a), chenilles du bambou vivantes. En (b), chenilles du bambou vendues sur le marché local de Chiang Mai, Thaïlande [1, 38].

- *Bombyx mori* (le ver à soie)

Les vers à soie sont élevés depuis très longtemps en Asie et en Europe. Ils sont élevés pour leur potentiel technologique et alimentaire. Même s'ils sont élevés principalement pour la production de la soie, les chrysalides sont traditionnellement consommées dans de nombreux pays asiatiques (Chine, Thaïlande, Japon, Péninsule coréenne) où elles sont considérées comme un met de choix. En Thaïlande, l'incorporation des chrysalides du ver à soie dans la composition des aliments destinés aux enfants en état de malnutrition a été autorisée par le ministère de la santé publique depuis 1987 [1, 39].

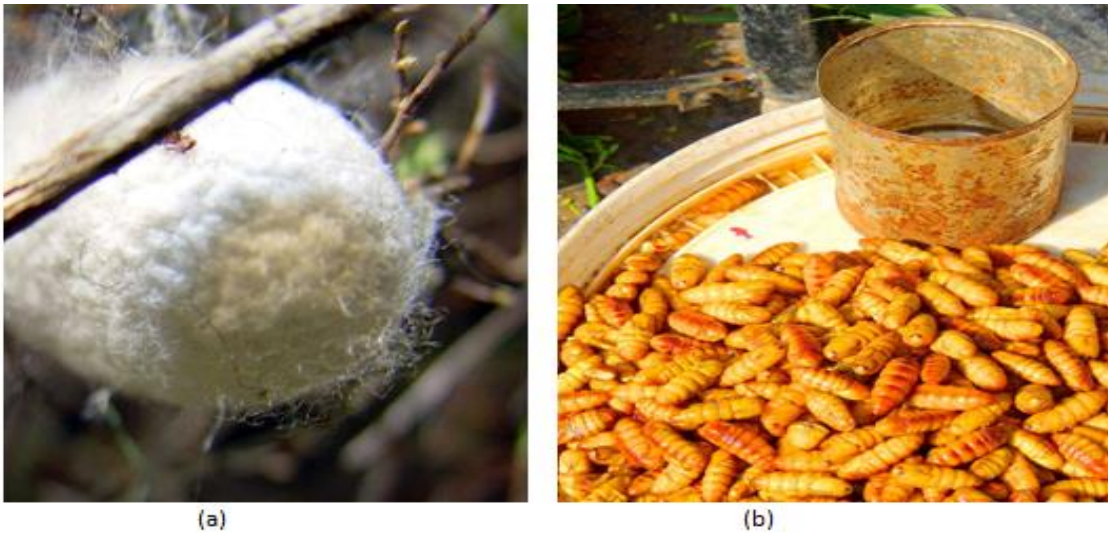


Figure 13: Le Cocon (a) et les chrysalides frites(b) du *Bombyx mori* [40, 41].

3. L'ordre des hyménoptères

Dans ce groupe, c'est le stade larvaire qui généralement consommé. Le stade adulte est très peu consommé à cause de la présence du dard par lequel le venin est injecté. On distingue trois grandes familles : la famille des Formicidae, la famille des Apidae et la famille des Vespidae [27].

- **La famille des Formicidae**

Les fourmis constituent des friandises très recherchées dans plusieurs régions du monde.

En Asie, les larves et les nymphes, aussi appelées œufs de fourmi, sont très appréciées. Par exemple, en Thaïlande, les œufs de fourmi sont vendus en boîtes de conserves [1]. La fourmi tisserande *Polymachis dives* est utilisée comme ingrédient dans la préparation d'une diversité d'aliments énergisants et autres produits de santé vendus en Chine. Cette fourmi se rencontre dans de nombreux pays d'Asie tels que la Chine, le Bangladesh, l'Inde [1, 42].

Au Mexique, les œufs de fourmi du genre *Liometopum* (figure 14) sont ramassés sur des racines des plantes (*Agave tequilana* ou *Agave americana*) et sont utilisés pour faire un plat très prisé appelé *escamole* [1].



Figure 14: Œufs de fourmi du genre *Liometopum*[43].

Certaines fourmis dites « pot-de-miel » (figure 15) sont recherchées par certains peuples. Ces fourmis ont pour fonction d'accumuler le miellat des pucerons et de servir de réservoir de nourriture pour toute la colonie. Elles vivent accrochées au plafond de la galerie et elles sont nourries par les ouvrières. Le miellat est accumulé dans leur gastre distendu. Le miellat est régurgité selon les besoins de la colonie. Les fourmis pot-de-miel sont consommées en Australie et aussi au Mexique [1].



Figure 15: Fourmi pot-de-miel[44].

- **La famille des vespidae (les guêpes)**

Ce sont les larves qui sont consommées. Les larves de certaines espèces de guêpes jaunes telles que *Vespula spp* et *Dolichovespula spp* sont très appréciées au Japon où elles sont aussi dénommées hebo. Il arrive que l'approvisionnement local soit insuffisant, les larves sont alors importées de l'Australie et du Viêt-Nam[1, 45].

Les larves de guêpes (figure 16) sont également très appréciées sur l'Ile de la Réunion où elles nommées le « caviar de l'île de la Réunion ». La récolte locale étant fréquemment insuffisante, les larves sont importées de Madagascar ou d'autres pays d'Afrique. Les larves sont consommées frites accompagnées de riz ou de haricots et de rougaille [46].

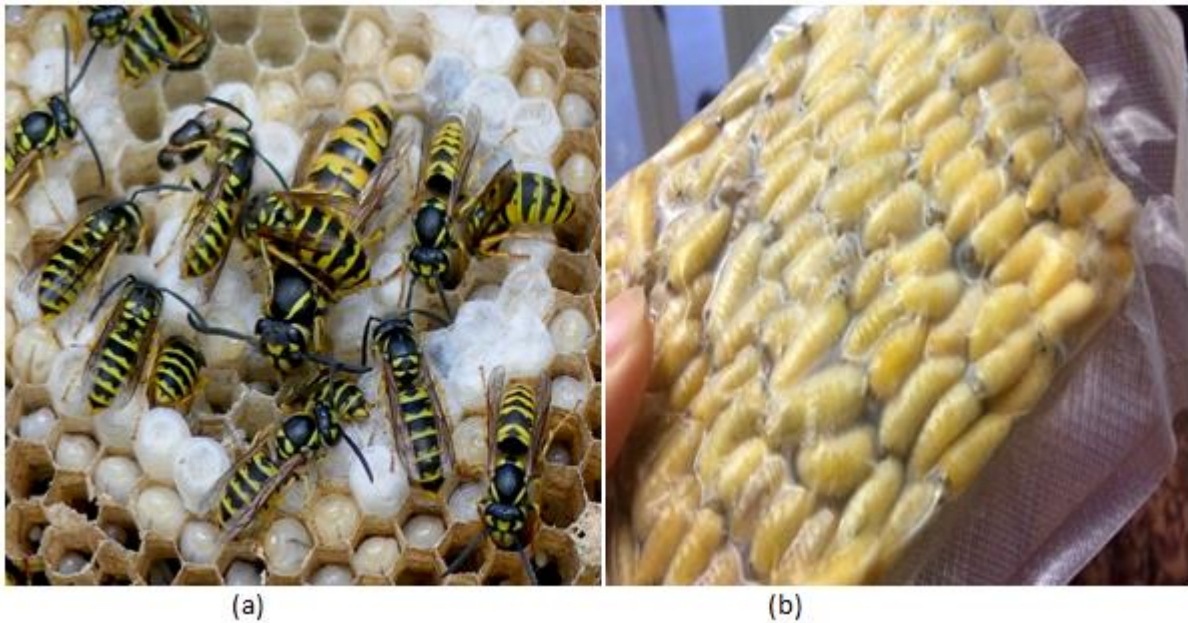


Figure 16: Un nid de guêpes communes (*Vespula vulgaris*) (a) et les larves de guêpe surgelées importées de Madagascar (b) [47, 48].

- **La famille des Apidae (les Abeilles)**

Les couvains des abeilles (œufs, larves et nymphes) ainsi que les adultes de certaines familles sont comestibles [1]. La consommation des larves d'abeilles était au départ involontaire, l'ingestion des larves et nymphes se faisant lors de la consommation du miel. Au nord de la Thaïlande, les Abeilles et la guêpe constituent les insectes alimentaires les plus importants. Le couvain d'abeille y est très recherché sur les marchés et est de fait très chère [1, 49].

4. L'ordre des orthoptères (Criquets, sauterelles, grillons)

Il existe plus de 20 000 espèces d'orthoptères dans le monde. Cet ordre regroupe les criquets, les sauterelles et les grillons [11]. Ce sont des insectes à métamorphose incomplète. C'est le stade adulte qui est consommé.

- **Les criquets**

Les criquets sont consommés partout dans le monde. En Afrique, il existe 4 sortes de criquets qui sont consommés : le criquet pèlerin (*schistocerca gregaria*), le criquet migrateur (*Locusta migratoria*), le criquet nomade (*Nomadacris septemfasciata*) et le criquet brun. Ce sont des insectes herbivores qui se nourrissent d'herbes, de feuilles et de céréales. Les criquets passent d'une phase solitaire à une phase grégaire. Lorsque les conditions environnementales sont bonnes (lors d'une période de bonnes précipitations) ils peuvent se multiplier rapidement et former des essaims qui parcourent de grandes distances en dévastant les champs. De ce fait, Ils peuvent faire l'objet de traitement par les insecticides au cours des campagnes gouvernementales de lutte chimique et aussi par les agriculteurs. Ils peuvent donc contenir des pesticides. L'avantage des essaims est qu'ils sont faciles à ramasser. La récolte des criquets et des sauterelles a lieu très tôt le matin avant que leur corps ait eu le temps de se réchauffer [1, 11].

En Thaïlande, des criquets tels le criquet de Bombay (*Patanga succinta*) sont très populaires. Autre fois le criquet de Bombay était considéré comme une menace pour l'agriculture, de nos jours, avec la collecte intensive il ne l'est plus. Certains agriculteurs vont même jusqu'à cultiver du maïs uniquement pour attirer ces criquets qui sont économiquement plus rentables sur le marché que le maïs [1, 46].



Figure 17: Criquet migrateur grégaire (gauche) et solitaire (droite)[50, 51].

- **Les sauterelles**

Ils existent environ 80 espèces de sauterelles qui sont consommées dans le monde.

En Amérique latine, la chapuline serait la sauterelle la plus consommée et fait partie du régime alimentaire local depuis des siècles. Au Mexique, dans les vallées de l'état d'Oaxaca, les chapulines grillées avec l'huile, de l'ail, du citron et du sel, sont utilisées comme ingrédient alimentaire aussi bien par les communautés autochtones que par la population urbaine[1, 52]. Au niveau local et également à l'exportation, les chapulines représentent une part non négligeable du marché. Cependant, en dépit de leurs avantages, les chapulines peuvent présenter des niveaux de contamination au plomb qui sont parfois élevés [52].

En Afrique de l'ouest, au Niger, c'est très commun de voir des points de vente des sauterelles au niveau des marchés ou en bordure de route. Selon certains chercheurs, les sauterelles collectées dans un champ de millet étaient économiquement plus rentables que le millet lui-même sur le marché local [31].

En l'Afrique de l'Est, dans la région du lac Victoria, la sauterelle *Ruspolia* (*Ruspolia spp.*) fait parti, depuis longtemps, de la culture alimentaire. Elle est de couleur variable mais généralement verte ou jaune. Elle peut être consommée crue après avoir enlevé les ailes ou frite [11].

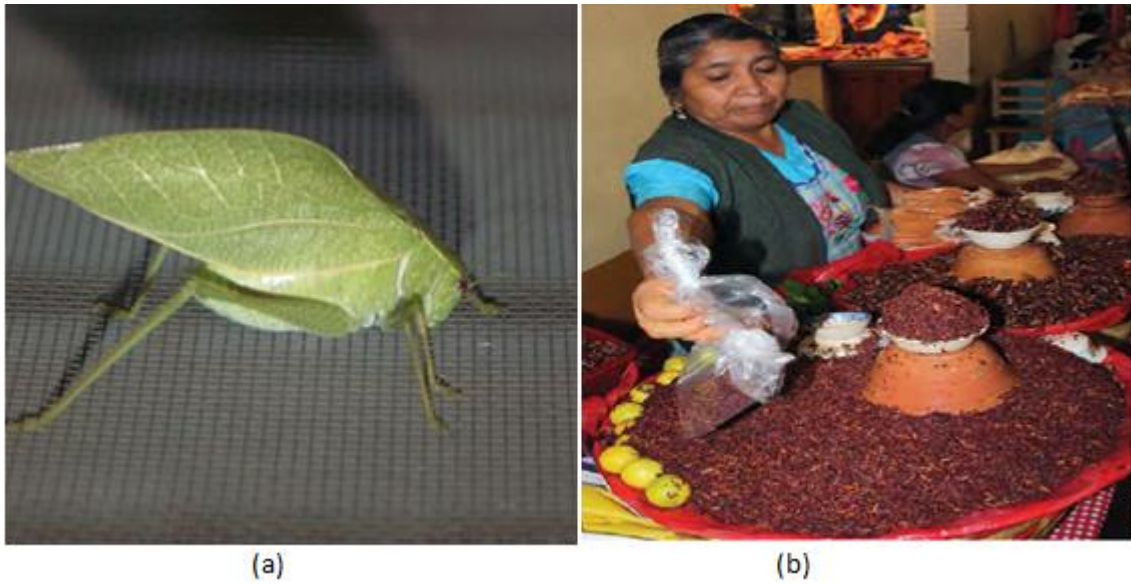


Figure 18:En (a), Chapuline vivante et en (b), vendeuse de chapulines à Oaxaca, Mexique[1, 53].

- **Les grillons**

Les espèces les plus couramment consommées sont *Gryllus bimaculatus*, *Teleogryllus occipitalis*, *T. mitratus* (ces trois espèces sont récoltées dans la nature) et *Acheta domesticus* (qui est élevé). Les grillons sont surtout consommés en Asie. Le grillon domestique (*Acheta domesticus*), présent dans la plupart des régions du monde (Afrique, Europe, une partie de l'Asie, États-), est particulièrement consommé en Thaïlande où il est préféré par rapport aux autres espèces pour sa chair tendre[1]. En 2002, 53 des 76 provinces de la Thaïlande disposaient des fermes d'élevage de grillons et en 2012, on y dénombrait plus de 22000 éleveurs de grillons [54]. Les grillons sont également élevés et utilisés comme nourriture des animaux.

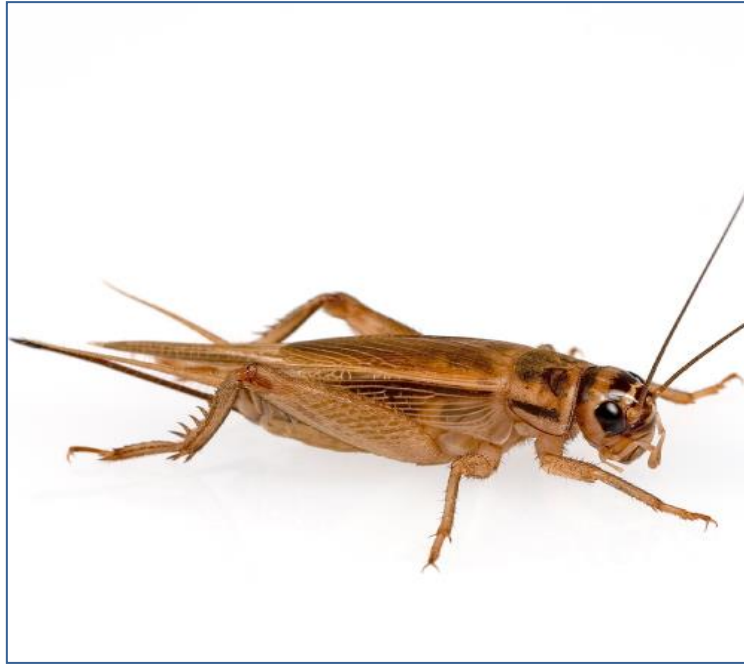


Figure 19: *Acheta domesticus*(grillons domestique)[55].

5. L'ordre des hémiptères

Cet ordre comprend environ 237 espèces comestibles et comporte deux sous-ordre : l'ordre des homoptères (cigales, cicadelles et cochenilles) et l'ordre des hétéroptères (les punaises) [16].

a. Sous-ordre des homoptères (cigales, cicadelles et cochenilles)

Les cigales constituent des aliments très appréciées au Malawi. La récolte se fait en plaçant sur les troncs d'arbres des tiges recouvertes de substance collante qui adhèrera aux ailes de ces insectes [1].

Les cigales sont également appréciées en Afrique du sud, au Vietnam et aussi par les aborigènes d'Australie[46].

Certains produits de consommation courante sont issus des insectes. Par exemple Le carmin (colorant référencé E120) est obtenu à partir de la cochenille du cactus (*Dactylopius coccus*) qui sur le cactus comme son nom l'indique [1].



(a)



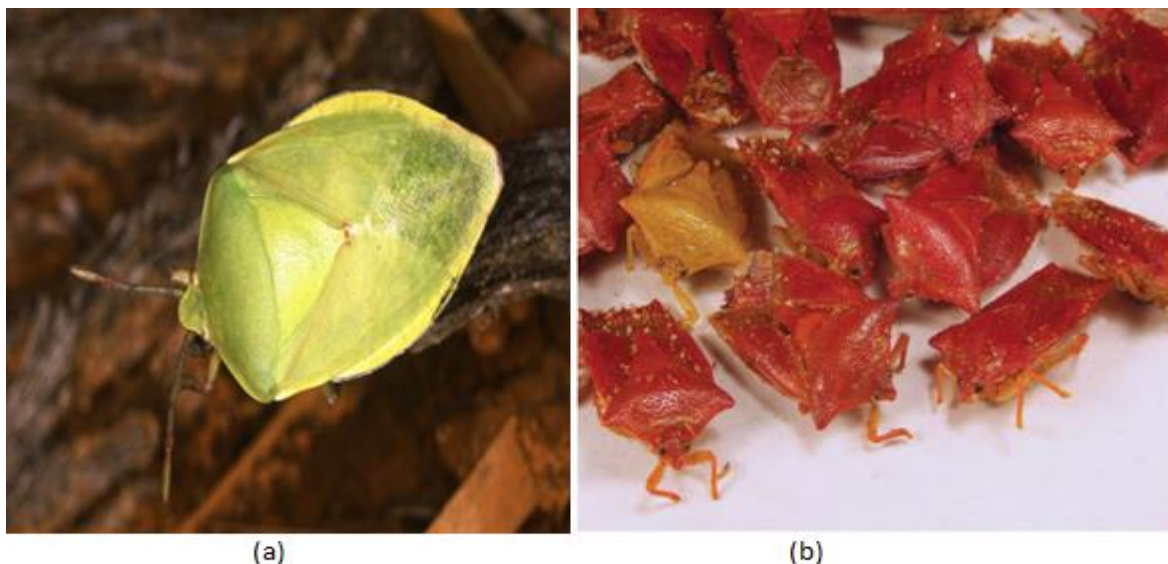
(b)

Figure 20: *Dactylopius coccus* sur le cactus (a) et le carmin de cochenille (b)[57, 58] ;

b. Sous-ordre des hétéroptères(les punaises)

La consommation des punaises de la famille des pentatomidae est une pratique largement répandue notamment en Afrique australe (Afrique du Sud, Malawi et Zimbabwe) où la punaise comestible *Encosternum delegorguei* (connue sous des noms divers, dont Thongolifha, Harurwa et Nkhunguni.) est considérée comme un mets raffiné. Elles sont consommées grillées. Cependant, une étape de préparation est en général nécessaire pour enlever la substance qui donne un goût amer à ces punaises [1, 11].

Cependant, la plupart des punaises comestibles sont aquatiques. Au Mexique, les punaises sont élevées traditionnellement en milieu aquatique depuis des siècles. Elles sont vendues à des prix élevés pendant les périodes de fortes demandes notamment à une semaine la fête de Pâques. Le dessèchement des points d'eau ainsi que la pollution constituent une menace à l'élevage de ces insectes [1, 60].



21Figure 22 *Encosternum delegorguei* (a), Punaises pour la dégustation (b) [1, 61].

6. L'ordre des isoptères (les termites)

Les termites sont des insectes à métamorphose incomplète et c'est l'adulte qui est consommé. Les termites construisent de grands nids très élaborés pouvant atteindre 8 m de haut chez certaines espèces et on peut trouver plusieurs milliers de termites composés de nombreux ouvriers et soldats avec un seul roi et une seule reine.

Les termites Les termites constituent un aliment très apprécié dans certaines parties du monde. Ils sont consommés après avoir été débarrassés des ailes, frits et séchés au soleil. De nombreuses espèces sont consommées, mais les espèces appartenant au genre *Macrotermitinæ* formé de termites de taille importante sont beaucoup plus consommées [1].

La récolte des termites se fait au début de la saison pluvieuse à la suite des premières pluies, en ce moment les termites ailés émergent de trous près de la termitière. selon van Huis, certaines populations d'Afrique frappent le sol autour de la termitière cathédrales (imitant ainsi le battement de la pluie), ce qui provoque l'émergence des termites de la termitière [31].

En Amazonie, la récolte des termites se fait à l'aide de feuilles de palmiers. En introduisant la nervure dans la galerie, les soldats s'y accrochent et sont entraînés à l'extérieure [1].

La reine des termites est un met particulièrement apprécié pour sa valeur nutritive. En Ouganda et en Zambie, la valeur nutritionnelle des reines est telle qu'elles sont données aux enfants malades. Les soldats sont aussi fréquemment consommés. Ils sont généralement frits ou pilés et incorporés dans des préparations telles que les gâteaux. Les soldat sont disponibles toute l'année contrairement aux formes ailées[1].

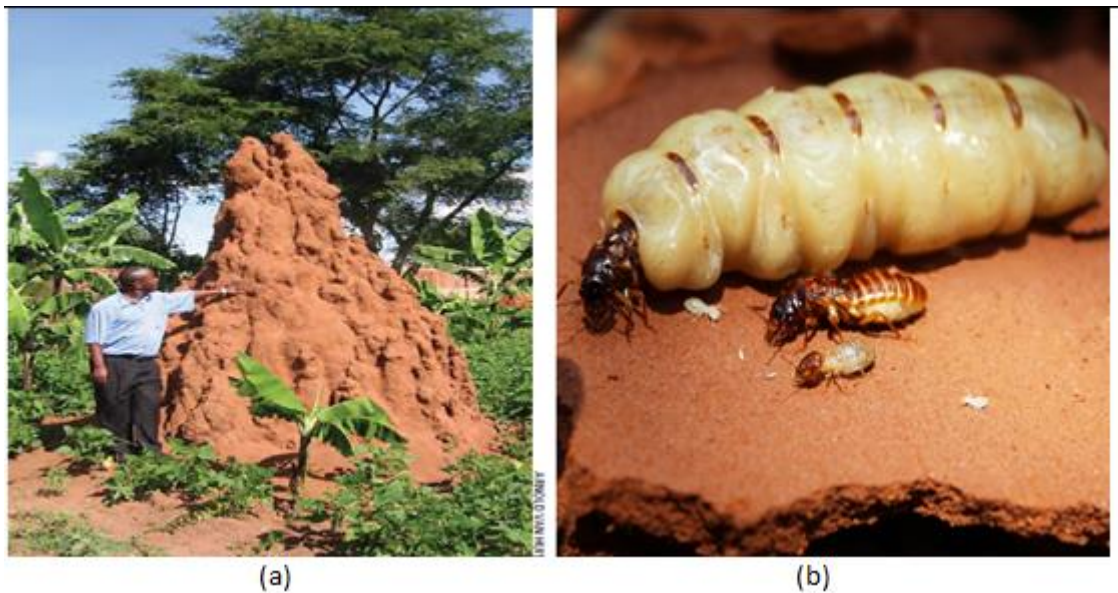


Figure 23: Termitière (a) et une reine de termite (b) [1, 62]



Régions Pratiquant L'entomophagie

IV. REGIONS PRATIQUANT L'ENTOMOPHAGIE

À un moment ou un autre de l'histoire, l'entomophagie a été pratiquée sur la plupart des continents [19]. Bien qu'elle a disparu dans certaines parties du monde, elle se maintient notamment en Asie, Afrique et Amérique latine[1]. En 2009, ce sont

près de 2086 espèces comestibles qui étaient consommées par près de 3071 groupes ethniques repartis dans 130 pays du monde [63]. Cette consommation est surtout basée sur une récolte des insectes dans la nature et est donc dépendante de l'abondance des insectes (une abondance variable selon les régions et les saisons) et des connaissances des collecteurs sur ces insectes [64]. L'entomophagie était d'abord développée en milieu rural où les consommateurs voyaient en ces insectes comestibles sauvages une importante source de protéines accessibles [65]. Par la suite, cette pratique s'est répandue dans les villes au sein des couches défavorisées de la population de ces villes. La collecte des insectes dans la nature qui constituent encore le seul moyen d'obtention des insectes comestibles dans certaines régions fait de plus en plus place à un élevage de masse des insectes [65]. Au départ, il s'agissait de proto-élevages qui consistent à créer des conditions favorables à la croissance des insectes, ce qui permettait une récolte facile : c'est l'exemple du charançon du palmier en Afrique centrale [66]. Par la suite, de véritables élevages ont vu le jour. Dans un premier temps, développés dans de petites fermes, il existe de nos jours des entreprises spécialisées dans la production de masse des insectes comestibles particulièrement dans les pays asiatiques tels que la Thaïlande [65].

En Europe à l'exception des Pays-Bas, des Etats-Unis et d'autres pays anglo-saxon, la consommation d'insectes occupe une place marginale. Il existe une perception négative des insectes qui est pleinement enracinée dans les sociétés occidentales [67]. Plusieurs raisons expliquent cette marginalisation de l'entomophagie. La consommation des insectes a été rattachée à l'époque des chasseurs-cueilleurs et donc à une alimentation type primitif ou à la pauvreté [68]. Avec le développement de l'agriculture, de l'élevage des animaux domestiques comme sources de protéines et le passage du nomadisme au mode de vie sédentaires, les insectes sont virtuellement synonymes de nuisances. Par exemple, les moustiques avec leurs piqûres indésirables, les mouches qui peuvent tomber dans nos plats, les termites

qui détruisent les ouvrages en bois et les criquets qui ravagent les cultures. En plus certains insectes sont vecteurs de transmission de maladie. C'est le cas des maladies telles que le paludisme, la maladie du sommeil, la maladie de Chagas qui sont transmises par des insectes [1, 67]. La vue de l'insecte suscite aussi un dégoût chez certaines personnes [69]. La néophobie (la peur de la nouveauté) constitue également un obstacle à la consommation des insectes [70]. En Europe, les insectes comestibles commencent à susciter de l'intérêt chez les consommateurs et des entreprises spécialisées dans l'élevage des insectes comestibles telles Micronutris en France ont vu le jour [65]. En Belgique, l'Agence fédérale pour la sécurité de la chaîne alimentaire (AFSCA) a donné son accord pour la commercialisation pour la consommation humaine de 10 espèces d'insectes dont le criquet migrateur africain, le ver de farine, le Bombyx du mûrier, le grillon domestique. La commercialisation de ces insectes est conditionnée par l'observation des bonnes pratiques en matière de législation alimentaire notamment l'hygiène, l'étiquetage et la traçabilité ceci en attendant une législation claire au niveau Européen [65].

Néanmoins, il existe une consommation non intentionnelle des insectes dans toutes les régions du monde, y compris l'occident. En effet, le *Codex Alimentarius* interdit la présence d'insectes entiers vivants dans les farines et les graines alimentaires, cependant il autorise la présence de fragments d'insecte à un pourcentage ne dépassant pas 0,1%. Marcel Dicke, un entomologiste néerlandais, estime que nous consommons involontairement entre 500g et 1000g de fragments d'insectes par an à travers les produits faits à partir de la farine (pain, pâtes ..), le chocolat, les légumes et les fruits[71].



*Obtention d'insectes
comestible*

V. OBTENTION D'INSECTES COMESTIBLE

1. La collecte

Les insectes comestibles consommés peuvent être issus:

➤ soit d'un **élevage contrôlé** notamment en Chine et en Thaïlande où l'élevage d'insectes comestibles est très développé [71] ;

➤ soit de la **collecte des insectes sauvages** : Cette collecte est généralement saisonnière, les insectes collectés étant tout de suite consommés (crus ou grillés). Elle permet de satisfaire les besoins locaux dans de nombreux pays asiatiques, africains et sud-américains. Ces insectes viennent ainsi enrichir le régime alimentaire de nombreuses personnes, un régime constitué presque entièrement de céréales qui sont pauvre en protéines et en lipides [71].

Cependant, la consommation basée uniquement sur la collecte d'insectes dans le milieu naturel soulève des questions de développement durable et de biodiversité, présente aussi le risque de surexploitation voire d'extinction de certaines espèces [64]. En plus, de nombreuses régions ne permettent plus une récolte suffisante pour couvrir les besoins. Enfin, la récolte dans la nature ne permet pas un réel contrôle des insectes comestibles mis sur le marché et par conséquent ne permet pas un contrôle du risque sanitaire [72].

2. L'abattage

Dans le cas d'un élevage contrôlé, l'abattage des insectes est précédé d'un jeûne de quelques heures à quelques jours permettant ainsi la vidange du contenu digestif. Deux techniques d'abattage sont employées [71] :

• **La congélation à -18°C pendant 24h au minimum.** L'avantage de cette technique est qu'elle modifie peu la composition nutritionnelle. Cependant, elle n'assure aucune décontamination microbiologique ni parasitaire ;

• **L'ébullantage** qui consiste à placer les insectes dans de l'eau bouillante pendant 1 à 5 min. cette technique assure une cuisson des insectes et une bonne décontamination, mais elle n'a pas d'action sur les spores bactériennes. En outre, elle dénature les nutriments. Les insectes bouillis sont immédiatement transformés ou conservés à 4°C en attendant d'être transformés.

3. Transformation et conservation

Le processus de transformation doit permet d'assurer une décontamination. Pour permettre une meilleure conservation, la plupart des insectes sont déshydratés [71]. Plusieurs méthodes de déshydratation peuvent être mises en œuvre :

• **Déshydrations par séchage au soleil ou par fumage** : Ces méthodes n'assurent pas une bonne décontamination et présentent en plus un risque de contamination secondaire très important [1, 73] ;

• **La déshydratation en four sec ventilé, à basse température** (entre 60 et 110 °C, généralement 90°C) pendant plus de 5h. Cette technique permet d'obtenir une bonne pasteurisation des insectes abattus par congélation [71] ;

• **La friture** (plus rarement employée) dans de l'huile bouillante à haute température (supérieure à 160 °C). Elle assure une meilleure décontamination microbiologique des insectes et une dénaturation des venins de nature protéique. Cependant, l'inconvénient est le risque de néoformation de molécules plus ou moins toxiques. Cette méthode artisanale est pratiquée en Asie et dans certaines régions d'Afriques[71] ;

• **Le toastage** qui consiste à appliquer des températures plus élevées de séchage (supérieure à 120°C) en fin de cycle afin de développer des arômes spécifiques ou d'améliorer la texture (avoir par exemple des insectes croustillants). Cette méthode assure une pasteurisation, mais elle a peu d'action sur les spores [71].

Pour une meilleure conservation (inhibition des bactéries et pas de développement de moisissures), la méthode de séchage doit amener les insectes à une a_w (activité en eau) < 0,7.

D'autres méthodes de transformation sont envisagées :

- **La lyophilisation** : c'est une déshydratation par sublimation et donc à basse température. Elle permet une conservation à long terme des aliments. Cependant, cette méthode est peu assainissant et n'est donc pas adaptée pour les insectes abattus par simple congélation. Elle est envisageable pour les insectes ayant été préalablement bouillis [71] ;

- **L'acidification** : selon des chercheurs, la fermentation lactique inactiverait les entérobactéries et stabiliserait la population de bactéries sporulantes d'une farine de ver de farine [71, 74].

Les insectes, une fois déshydratés, se conservent à température ambiante et dans un emballage hermétique. La teneur en acides gras insaturés (AGI) constitue le principal facteur limitant. En effet, la présence des AGI augmente la sensibilité au phénomène de peroxydation. En outre, la structure et la présentation (par exemple forme solide divisée), favorise le rancissement. La durée pourrait être prolongée en pratiquant un conditionnement sous atmosphère neutre sous vide [71].

Après transformation :

- Les insectes peuvent être consommés en entiers (figures 23, 24), en état ou incorporés dans des préparations types biscuits[1, 71] ;

- Ils peuvent être utilisés comme ingrédient sous forme de farine après broyage (figure 25). L'avantage de cette étape est qu'elle rend l'insecte méconnaissable par le consommateur et augmente ainsi son acceptabilité. La farine peut être utilisée pour enrichir divers préparations, pour faire des gâteaux , du pain et des biscuits[1, 71].



Figure 24:: En (a), vente de chenilles à Kinshasa, République démocratique du Congo et en (b), une diversité d'insectes en vente à Bangkok, Thaïlande [1].



Figure 25: En (a), chenilles de karité prêtes pour la consommation vendues au Burkina Faso et en (b), mélange de grillons et de vers de farine vendu en France [75, 76]



Figure 26: En (a), farine de vers ténébrions vendue en ligne et en (b), biscuits aux chenilles vendus au Burkina Faso [77, 78].



*Composition
nutritionnelle des insectes*

VI.COMPOSITION NUTRITIONNELLE DES INSECTES

L'un des enjeux primordiaux de l'élevage des insectes pour la consommation humaine est de pouvoir nourrir au mieux la planète dans les décennies à venir malgré une population mondiale grandissante. Les insectes constituent déjà une source de revenue non négligeables pour plusieurs personnes à travers le monde notamment en Afrique et en Asie , donc le développement de l'élevage des insectes présenterait un avantage économique certain pour les populations concernées [64]. Actuellement, la malnutrition, les carences en protéines et en micronutriments touchent une partie des habitants de la planète. Il est donc primordial de s'intéresser au potentiel nutritionnel des insectes afin de voir si les insectes peuvent se substituer de manière satisfaisante à une partie de la demande en protéines animales.

Les études évaluant la valeur nutritionnelle des insectes comestibles sont peu nombreuses et ne concernent qu'un nombre limité d'espèces (sur les quelques 2000 espèces comestibles), par conséquent, les résultats doivent être pris avec précaution [71].

La composition nutritionnelle des insectes comestibles est très variable. Elle varie selon l'espèce et pour la même espèce, elle varie selon le stade de développement très particulièrement chez les insectes comestibles dont le mode de développement est dit holométabole (les lépidoptères, les coléoptères, les orthoptères qui sont des espèces à métamorphose complète). Elle diffère également selon l'habitat et l'alimentation de l'insecte. La préparation et les méthodes de production appliquées (friture, séchage au soleil, lyophilisation....) influence aussi la composition. On note également une variation, pour la même espèce, de la valeur nutritionnelle selon les études. Ces différences de données entre études peuvent s'expliquer par la diversité des méthodes employées pour l'étude des composés [1, 79].

A partir des données de la littérature, Rumpold et Schlüter [79] ont compilé les compositions nutritionnelles de 236 insectes. Selon leur résultat, les protéines représentent la composante majoritaire de la matière sèche des insectes comestibles suivies par la matière grasse puis des fibres (figure 26). Même s'il existe une variation significative entre les données, de nombreuses espèces d'insectes comestibles sont riches en calories, en protéines, en graisses insaturées, en minéraux comme le fer, le Zinc, le cuivre le phosphore et en certaines vitamines telles que la Vit B2, Vit B5, Vit B8 [1]. Selon Agbidye et al, 100 g de chenilles pourrait couvrir 76% de l'apport protéique journalier et près de 100% de l'apport vitaminique quotidien recommandé pour l'homme [80].

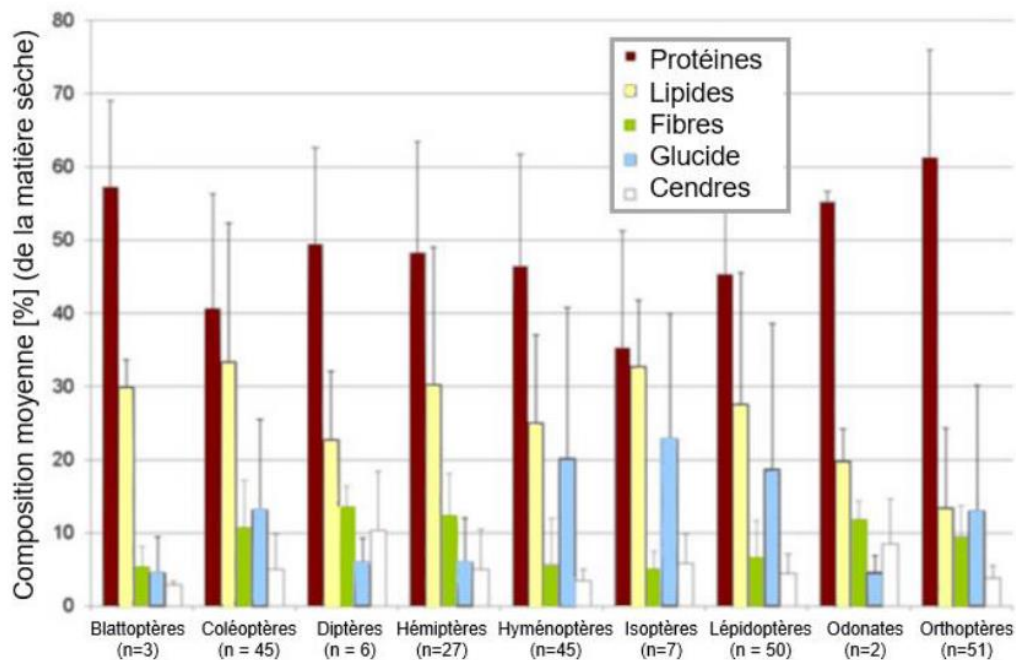


Figure 27: composition nutritionnelle des principales espèces d'insectes comestibles [79].

1. Valeur énergétique

Une étude menée en 1997 sur 78 espèces d'insectes de l'Etat de Oaxaca au Mexique a montré que l'apport calorique variaient de 293 à 762 Kcal pour 100g de matière sèche[81]. Rumpold et Schlüter ont trouvé, dans leur méta-analyse, une teneur énergétique qui varie entre 216 et 776 Kcal pour 100g de matière sèche [79].

Le contenu énergétique de 100g d'insectes (poids frais)) est similaire à celui de 100g de viande (excepté la viande porc très riche en matière grasse)[1, 21].

En rappel,l'apport conseillé en énergie est, pour un homme adulte, en moyenne de 2 400 à 2 600 calories par jour selon l'activité [82].

La teneur en énergie, en kilocalorie pour 100g (poids frais), de quelques insectes sélectionnés à travers le monde est présentée dans le tableau I.

Tableau I: Exemples des valeurs énergétiques d'espèces d'insectes préparées de différentes façons, par région [1].

| Localisation | Nom commun | Nom scientifique | Valeur énergétique (kcal/100 g poids frais) |
|---------------------------|--|---------------------------------|---|
| Australie | Criquet australien, cru | <i>Chortoicetes terminifera</i> | 499 |
| Australie | Fourmi tisserande verte, crue | <i>Oecophylla smaragdina</i> | 1 272 |
| Canada, Québec | Mélanople à pattes rouges, entière, crue | <i>Melanoplus femurrubrum</i> | 160 |
| États-Unis, Illinois | Ver jaune de farine, larve du ténébrion meunier, cru | <i>Tenebrio molitor</i> | 206 |
| États-Unis, Illinois | Ténébrion meunier, adulte cru | <i>Tenebrio molitor</i> | 138 |
| Côte d'Ivoire | Termite, adulte, désailé, séché, farine | <i>Macrotermes subhyalinus</i> | 535 |
| Mexique, État de Veracruz | Fourmi coupeuse de feuilles, adulte crue | <i>Atta mexicana</i> | 404 |
| Mexique, État de Hidalgo | Fourmi-pot-de-miel, adulte crue | <i>Myrmecocystus melliger</i> | 116 |
| Thaïlande | Grillon provençal, cru | <i>Gryllus bimaculatus</i> | 120 |
| Thaïlande | Nèpe géante (scorpion d'eau), crue | <i>Lethocerus indicus</i> | 165 |
| Thaïlande | Criquet d'Indonésie, cru | <i>Oxya japonica</i> | 149 |
| Thaïlande | Criquet brun tacheté, cru | <i>Cyrtacanthacris tatarica</i> | 89 |
| Thaïlande | Ver à soie domestique, chrysalide crue | <i>Bombyx mori</i> | 94 |
| Pays-Bas | Criquet migrateur, adulte cru | <i>Locusta migratoria</i> | 179 |

2. Teneur en protéines

Dans leur étude, Rumpold et Schlüter ont montré que les protéines constituent la principale composante de la matière sèche des insectes avec une teneur moyenne qui varie entre 35.34% (Isoptères) et 61.32% (Orthoptères) selon l'ordre (Tableau II). Cette étude montre également qu'au sein d'un même ordre, la composition variait selon l'espèce. Par exemple, dans l'ordre des coléoptères, la composition varie de 8.85 à 71.10% selon l'espèce. Les espèces avec les teneurs les plus élevées se trouvent dans l'ordre des orthoptères [79]. En comparaison, la teneur en protéine d'une graine de soja est en moyenne de 35,8% et donc inférieure à celle des orthoptères[79].

Tableau II: Teneur en protéines des insectes comestibles
(exprimée en % de matière sèche) [79].

| Ordre | Nombre d'espèces | Variation de la teneur en protéine (en % de matière sèche) | Teneur moyenne en protéines (en % de matière sèche) |
|--------------|------------------|--|---|
| Blattoptères | 3 | 43,90-65,60 | 57,30 |
| Coléoptères | 45 | 8,85-71,10 | 40,69 |
| Hémiptères | 27 | 27,00-72,00 | 48,33 |
| Diptères | 6 | 35,87-63,99 | 49,48 |
| Hyménoptères | 45 | 4,90-66,00 | 46,47 |
| Isoptères | 7 | 20,40-65,62 | 35,34 |
| Lépidoptères | 50 | 13,17-74,34 | 45,38 |
| Odonates | 2 | 54,24-56,22 | 55,23 |
| Orthoptères | 51 | 6,25-77,13 | 61,32 |

La teneur en protéines varie selon le mode de préparation. Les chenilles mopanes séchées ont une teneur en protéines de 57 % alors que grillées, cette teneur est de 48 %. Les termites ont une teneur de 20 % si crus, 32% si frits et 37% si fumés[83].

La teneur en protéines dépend aussi de l'alimentation et le stade de développement de l'insecte. Au Nigeria, une étude a montré que la teneur en protéines des sauterelles nourries avec du son riches en acides gras essentiels était près du double de celle des sauterelles nourries au maïs. Le stade adulte est généralement plus riche en protéines que le stade larvaire (tableau III) [1, 84].

Tableau III: Variations de la teneur en protéines du criquet puant *Zonocerus variegatus* selon le stade de développement [84].

| Étape du cycle de l'insecte | Grammes de protéines pour 100 g de poids frais |
|-----------------------------|--|
| Stade: | |
| Premier | 18,3 |
| Deuxième | 14,4 |
| Troisième | 16,8 |
| Quatrième | 15,5 |
| Cinquième | 14,6 |
| Sixième | 16,1 |
| Adulte | 21,4 |

Certains auteurs se sont intéressés à la qualité des protéines des insectes comestibles. Finke et al ont observé que la qualité des protéines de grillons (*Acheta domesticus* and *Anabrus simplex*) servies au rat était supérieure ou égale à celle du soja[85]. Une étude, qui a été menée au Mexique sur 78 espèces d'insectes, a montré que la digestibilité des protéines variait de 76 à 98 % [81].

La teneur en protéines des insectes a été comparée avec celle des reptiles, des poissons et des mammifères comme le montre le tableau IV. Le tableau montre que certains insectes ont une teneur en protéines similaire voire supérieure à celle du bœuf alors que d'autres ont des teneurs inférieures.

Tableau IV: Comparaison de la teneur moyenne en protéines des insectes, des reptiles, des poissons et des mammifères [1].

| Groupe animal | Espèces et nom communs | Produit comestible | Teneur en protéines (g/100g poids frais) |
|-------------------------------------|--|--------------------|--|
| Insectes (crus) | Criquet et sauterelle (<i>Locusta migratoria</i> , <i>Acridium melanorhodon</i> , <i>Ruspolia differens</i>) | Larve | 14-18 |
| | Criquet et sauterelle (<i>Locusta migratoria</i> , <i>Acridium melanorhodon</i> , <i>Ruspolia differens</i>) | Adulte | 13-28 |
| | <i>Sphenarium purpurascens</i> (chapulines, Mexique) | Adulte | 35-48 |
| | Ver à soie (<i>Bombix mori</i>) | Larve | 10-17 |
| | Charançon du palmier: <i>Rhynchophorus palmarum</i> , <i>R. phoenicis</i> , <i>Callipogon barbatus</i> | Larve | 7-36 |
| | Ver de farine (<i>Tenebrio molitor</i>) | Larve | 14-25 |
| | Grillons | Adulte | 8-25 |
| | Termites | Adulte | 13-28 |
| Bovins | | Bœuf (cru) | 19-26 |
| Reptiles | Tortues: <i>Chelodina rugosa</i> , <i>Chelonia depressa</i> | Chair | 25-27 |
| Produits halieutiques (crus) | Poisson | Tilapia | 16-19 |
| | | Manquereau | 16-28 |
| | Crustacés | Crevette | 13-27 |
| | | Homard | 17-19 |

3. Teneur en acides aminés

L'étude de Rumpold and Schlüter montre que la teneur moyenne en acides aminés essentielle (en mg/g de protéine brute) de la plupart des principaux ordres d'insectes couvre les besoins, pour un adulte, en acides aminés essentiels (mg/g de protéines) recommandés par l'OMS (figure 27). Le spectre des acides aminés est également très variable selon l'espèce. Par exemple dans l'ordre des lépidoptères, la teneur en méthionine varie de 0 à 47mg/g de protéines [79].

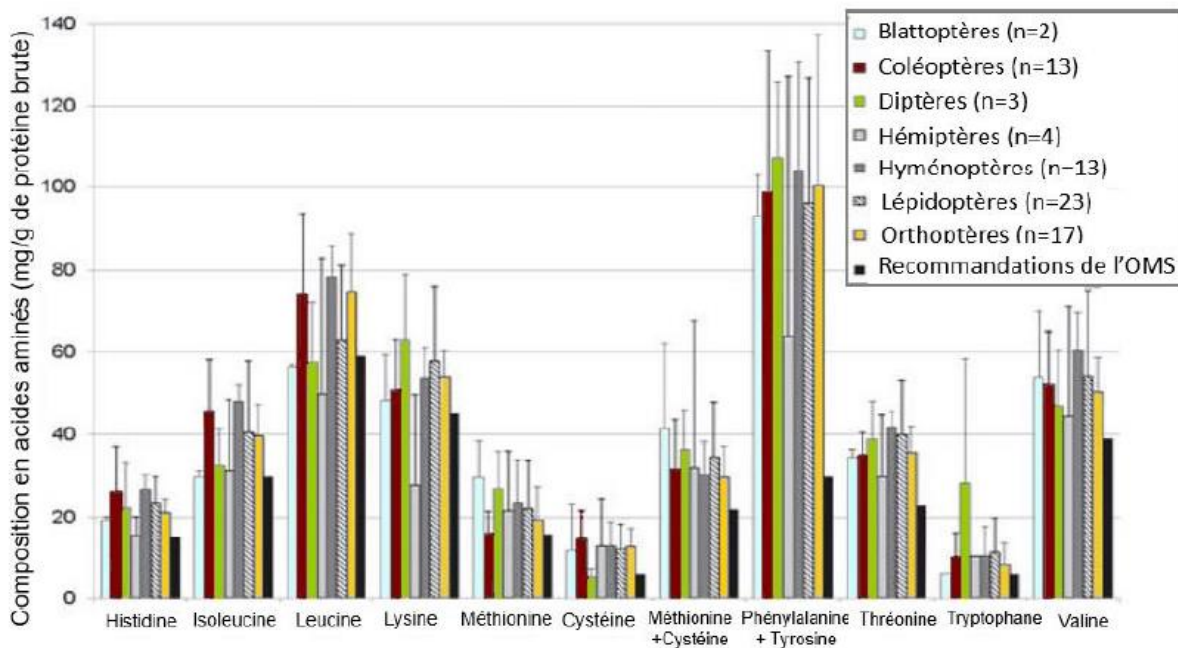


Figure 28: Teneur des insectes en acides aminés essentiels(en mg/g de protéine brute) comparé aux apports recommandés par l'OMS (en mg/g de protéine) [79].

Le tableau V présente la teneur en acide aminé d'essentielle du *Tenebrio molitor* comparé à celle de la viande de bœuf. Il montre que le *Tenebrio molitor* a une teneur plus élevée en certains acides aminés essentiels par rapport au bœuf. Par contre, il a une très faible teneur en méthionine en comparaison au bœuf.

Tableau V: Comparaison de la teneur en acides aminés du *Tenebrio molitor* avec la viande de bœuf [1, 86].

| Acide aminés essentielle | <i>T. molitor</i> (g/kg de matière sèche) | Bœuf (g/kg de matière sèche) |
|--------------------------|---|------------------------------|
| Isoleucine | 24,7 | 16 |
| Leucine | 52,2 | 42 |
| Lysine | 26,8 | 45 |
| Méthionine | 6,3 | 16 |
| Phénylalanine | 17,3 | 24 |
| Thréonine | 20,2 | 25 |
| Tryptophane | 3,9 | |
| Valine | 28,9 | 20 |

Les céréales qui constituent la base de l'alimentation dans toutes les régions du monde peuvent être pauvres ou manquer de certains acides aminés. Certaines espèces d'insectes peuvent être intéressantes pour compléter les régimes alimentaires pauvres en certains acides aminés. Dans les pays africains où le maïs est l'aliment de base, on rencontre souvent des carences en certains acides aminés tels que le tryptophane et la lysine. Dans des pays comme l'Angola, *Macrotermes bellicosus* pourrait être facilement utilisée pour enrichir le régime alimentaire des populations car cette espèce fait partie déjà des ingrédients traditionnels [1, 87].

4. Teneur en matières grasses

La matière grasse représente le composant le plus important après les protéines. Le contenu lipidique des insectes est très variable selon l'espèce, le régime alimentaire et le stade de développement. Elle varie entre 7 et 77g/100g de poids sec selon l'espèce [88]. Les larves et les nymphes ont une teneur en matières grasses supérieure à celle des adultes.

Selon la méta-analyse de Rumpold and Schlüter, la teneur moyenne en matières grasses varie entre 13.41% (orthoptère) à 33.40% (coléoptère) selon l'ordre. Les espèces d'insectes qui possèdent les plus fortes teneurs sont la chenille *Phasus triangularis* (lépidoptère) avec 77,13% , la larve du charançon du palmier *Rhynchophorus phoenicis* (coléoptère) avec 69.78% et une guêpe *Polistes instabilis* (hyménoptère) avec 62.00% [79].

La teneur moyenne en acides gras saturés (AGS) varie de 29,88 % (hyménoptères) à 43,89% (isoptères) avec l'acide palmitique et l'acide stéarique qui constituent les principaux acides gras saturés. La teneur moyenne en acides gras mono-insaturés (AGMI) varie de 22% (isoptères) à 48,76% (hyménoptères). La teneur moyenne en acides gras polyinsaturés (AGPI) varie de 15,95% (diptère) à 39,76% (lépidoptères). Les principaux AGMI sont l'acide palmitoléique et l'acide oléique. Les principaux AGPI sont l'acide linoléique, l'acide linoléique, l'acide α -linoléique et γ -linoléique. Le ratio moyen des acides gras saturés sur les acides gras insaturés varie de 0.43 à 0.79, ce qui montre que les acides gras insaturés prédominent dans le spectre des acides gras des insectes comestibles [79].

Pour la prévention des pathologies coronaires, un apport quotidien de 500mg de l'acide eicosapentaénoïque (EPA) (C20:5) + l'acide docosahexaénoïque (DHA) (C22:6) est recommandé, ce qui peut être satisfait par la consommation de 180g de poisson gras par semaine [89]. Cependant les insectes, dans leur grande majorité, contiennent uniquement des traces de ces deux AGPI ou ils n'ont pas été détectés [79].

Certaines espèces d'insectes contiennent de fortes teneurs en graisses saturées, parfois supérieures à celle de la viande [90]. Bien que la haute teneur en lipide puisse être indésirable dans les pays développés du fait de la valeur calorique élevée, elle pourrait être intéressante dans les régions en dénutrition où le déficit en calories constitue l'un des principaux facteurs de malnutrition [91].

Les acides gras des insectes sont généralement comparables à ceux de la volaille et des poissons du point de vue de leur degré d'insaturation, mais les insectes contiennent plus d'AGPI. Par opposition, le bœuf et le porc contiennent beaucoup d'AGMI et peu d'AGPI [1, 6].

La composition en lipide est très influencée par l'alimentation [79, 92]. Plus l'alimentation des insectes est riche en AGPI, plus les insectes seront riches en AGPI [93]. Le rapport oméga-6/oméga-3 peut être également contrôlé par l'alimentation. Par exemple, l'ajout de graines de lin (riches en oméga-3) à la ration de la fausse teigne (*G. mellonella*) a permis de diminuer le ratio oméga-6/oméga-3 de 4,68 à 0,86 [94]. La composition en lipide peut être influencée aussi par l'environnement. Selon une étude, des basses températures entraîneraient une augmentation du degré d'insaturation des acides gras du ver de farine [95].

Le cholestérol est le stérol le plus important des insectes et sa teneur varie selon le régime alimentaire des insectes puisqu'ils sont incapables de le synthétiser [96]. Une étude menée par Yhoun-aree pour déterminer la teneur en cholestérol d'insectes collectés en Thaïlande a montré, pour 100g de matières fraîches, une teneur en cholestérol de 105 mg/100 g pour le grillon domestique, 66 mg/100 g pour le criquet bombay, 56 mg/100 g pour le scarabée [97]. En comparaison, l'œuf cru contient 372 mg de cholestérol par 100 g soit 3 fois plus de cholestérol [98]. Une étude [99] sur 4 insectes consommés au Nigeria a montré des teneurs plus faibles qui varient entre 7.31 mg/100 g de matière sèche chez *Imbrasis belina* et 22.91 mg/100 g de matière sèche chez *R. phoenicis*.

Womeni *et al.* [100] ont mené une étude pour déterminer la teneur en matière grasse ainsi que la composition en acides gras des huiles de quelques espèces insectes (tableau VI). Leur résultat montre que les huiles sont riches en AGPI et contiennent fréquemment les acides gras essentiels tels que l'acide linoléiques et α -linoléinique. Ces deux acides gras essentiels sont très importants particulièrement pour le bon développement des nourrissons et des enfants [101].

Tableau VI: Teneurs en matières grasses et en certains acides gras de quelques espèces d'insectes consommées au Cameroun [100].

| Espèces d'insectes comestibles | Teneur en matières grasses (en % de la matière sèche) | Composition des principaux acides gras (% de la teneur en huile) | AGS, AGMI ou AGPI* |
|---|---|--|--------------------|
| Charançon africain du palmier (<i>Rhynchophorus phoenicis</i>) | 54 | Acide palmitoléique (38%) | AGMI |
| | | Acide linoléique (45%) | AGPI |
| Sauterelle comestible (<i>Ruspolia differens</i>) | 67 | Acide palmitoléique (28%) | AGMI |
| | | Acide linoléique (46%) | AGPI |
| | | Acide α -linoléinique (16%) | AGPI |
| Criquet puant (<i>Zonocerus variegates</i>) | 9 | Acide palmitoléique (24%) | AGMI |
| | | Acide oléique (11%) | AGMI |
| | | Acide linoléique (21%) | AGPI |
| | | Acide α -linoléinique (15%) | AGPI |
| Termites (<i>Macrotermes sp.</i>) | 49 | Acide palmitique (30%) | AGS |
| | | Acide oléique (48%) | AGMI |
| | | Acide stéarique (9%) | AGS |
| Chenille de saturnidé (<i>Imbrasia sp.</i>) | 24 | Acide palmitique (8%) | AGS |
| | | Acide oléique (9%) | AGMI |
| | | Acide linoléique (7%) | AGPI |
| | | Acide α -linoléinique (38%) | AGPI |

Les acides gras insaturés constituent un facteur limitant pour la conservation car leur présence va accélérer l'oxydation des insectes ainsi que des préparations alimentaires fait avec les insectes [1].

5. Glucides

Les insectes comestibles sont dans leur grande majorité pauvres en glucides avec une teneur maximale qui dépasse rarement 10% de la masse totale [88]. Il existe cependant des exceptions comme la fourmi pot-de-miel *Myrmecosistus melliger* qui est l'insecte le plus riche en glucides avec une teneur en glucide de 77,7 % de poids Sec [81].

6. Teneur en micronutriments

Il s'agit des minéraux et des vitamines. Ils occupent une importante place dans la valeur nutritionnelle d'un aliment. Les carences en micronutriments constituent des troubles nutritionnels fréquents dans beaucoup de pays en développement. Les personnes atteintes de ces carences peuvent souffrir de retard de croissances, de déficience intellectuelle, des troubles du système immunitaire et aussi des troubles de la reproduction [102]. Tout comme les autres éléments nutritifs des insectes, les teneurs en minéraux et vitamines varient fortement en fonction de l'ordre, de l'espèce, du stade de développement et de l'alimentation de l'insecte [1, 79].

a. Teneur en élément minéraux

Rumpold et Schluter [79] ont étudié la teneur en éléments minéraux de 85 espèces d'insectes. Selon cette étude, la consommation de 100 g d'insectes comestibles ne permet pas de satisfaire les besoins quotidiens en calcium et en potassium. Tous les insectes sont pauvres en sodium en dehors de quelques chenilles dont 100g de matière fournit une quantité de sodium supérieure à l'apport journalier maximale. Une consommation quotidienne de 100g de certains insectes pourrait couvrir les besoins humains en certains minéraux le Fe, le Zn, le Cu, le Se, le Mg, le Mn ou le P. Les insectes comestibles, du fait de leur faible teneur en sodium, pourraient être utilisés dans les régimes hyposodés [1].

Selon une étude [103] menée au Kenya, certains grillons et termites présentent des teneurs élevées en fer et en zinc et donc la consommation pourrait contribuer à réduire les carences en ces minéraux dans les pays en développement. Le charançon du palmier (*Rhynchophorus phoenicis*) contient 26,5 mg de zinc pour 100 g de poids sec alors que la viande de bœuf ne contient que 12,5 mg Zinc pour 100 g de poids sec [92].

La teneur en fer de la majorité des insectes est similaire voire plus élevée que celle du bœuf, du poule ou du porc [21, 92]. Par exemple, la teneur en fer pour 100g de matière sèche est de : 6 mg chez bœuf, varie de 31 à 77 mg chez la chenille mopane et varie de 8 et 20 mg chez le criquet (*Locusta migratoria*) [5, 92]. Le tableau VII montre que la pupa du ver à soie est plus de 4 fois plus riche en fer et plus de 3 fois plus riche en calcium que la viande de bœuf.

Tableau VII: La teneur en minéraux des chrysalides du vers à soie comparée à celle d'autres animaux courants et à l'apport journalier recommandé (teneur par poids frais)[104].

| Composition (mg/100g) | Chrysalide du ver à soie | Viande de bœuf | Viande de porc | Viande poulet | Apport journalier recommandé |
|-----------------------|--------------------------|----------------|----------------|---------------|------------------------------|
| Phosphore | 175 | 191,5 | 160 | nd | 1000mg |
| Fer | 7 | 1,67 | 0,8 | nd | 10mg |
| Calcium | 24 | 6,5 | 8 | 8 | 1000mg |
| Zinc | 2,1 | 3,41 | 1,6 | 1,26 | 10mg |
| Cuivre | 0,45 | 0,05 | 0,13 | 0,06 | 1,2mg |
| Magnésium | 54 | 19,25 | 17 | 26 | Nd |
| Manganèse | 0,69 | Nd | Nd | nd | 1mg |

nd : non défini

En 2017, ce sont deux milliards d'individus qui souffraient de carences en micronutriments (tels que les vitamines A, D, l'acide folique (B9) ou le fer, le zinc et l'iode) dans le monde, dont un tiers de la population africaine. Dans tous les pays africains, plus 20% des femmes en âge de procréer souffrent d'anémie et 37% des anémies sont dues à une carence en fer [105, 106].

Les insectes constituent une bonne source de fer et de zinc et leur incorporation dans le menu quotidien pourrait contribuer à lutter contre les carences en ces minéraux[1]. Cependant, plus d'études sont nécessaires pour évaluer la biodisponibilité chez l'Homme des minéraux des insectes comestibles [64].

b. Teneur en vitamines

Les insectes sont riches en riboflavine (vitamine B2), en vitamine B8 et dans certains cas en acide folique. Cependant, ils ne constituent pas une bonne source de vitamine A,C, de niacine et dans la plupart des cas de thiamine [79].

Une étude[92] menée sur une série d'insectes a montré que la teneur en vitamine B1 variait de 0,11 à 8,9 mg pour 100 g alors que le pain complet ne fournit que 0,16 mg pour 100 g. Elle a montré également que les grillons domestiques (*Acheta domesticus*) sont riches en vitamine B12 avec une teneur de 5,4 µg pour 100 g chez les adultes et 8,7 µg chez les juvéniles.

La teneur en vitamine E chez la larve du charançon du palmier était de 35 mg de α -tocophérol pour 100 g et de 9 mg de β + γ -tocophérol pour 100 g de poids sec. Une étude[107] a montré que la poudre du ver à soie (*Bombyx mori*) avait une teneur relativement élevée en vitamine E avec 9,65 mg pour 100 g. En comparaison, l'apport quotidien recommandé en vitamine E est de 15mg [92].

Dans le cadre d'un élevage contrôlé d'insectes, la teneur en vitamine pourrait être contrôlée via l'alimentation [108].

7. Teneur en fibres

Les insectes contiennent des quantités significatives de fibres. La chitine, principale composante de l'exosquelette de l'insecte, constitue la forme de fibre la plus commune chez l'insecte. Elle est indigeste pour l'homme car ce dernier ne possède pas la chitinase. Cependant certains humains en contiendraient dans leur suc gastrique mais cette chitinase présente chez l'homme est inactive [109]

Rumpold et Schlüter [79] ont trouvé que la teneur moyenne des insectes en fibre, selon l'ordre, variait de 5,06 % à 13,56% de la matière sèche.

En résumé, la composition nutritionnelle des insectes est sujette à de forte variation due à plusieurs facteurs. En plus de l'espèce, d'autres facteurs externes tels que le climat, l'alimentation, l'habitat, le mode de préparation doivent être pris en compte. [83][79, 88]. Dans le cadre de l'intégration des insectes dans l'alimentation humaine et afin de palier à ces variations, les pratiques d'élevage ou la composition de régime alimentaire et les méthodes d'analyse doivent être standardisées [110]. Le choix de l'espèce d'insecte comestible pour compléter un régime alimentaire sera adapté selon la composition du régime en question [79].



*Quelques avantages
environnementaux
de l'élevage des insectes*

VII. QUELQUES AVANTAGES ENVIRONNEMENTAUX DE L'ELEVAGE DES INSECTES

1. Conversion alimentaire

La demande en viande ne cesse d'augmenter ce qui entraîne parallèlement une augmentation importante des besoins en nourriture pour animaux (céréales et protéines). Les besoins en nourriture pour animaux pourraient être réduits en utilisant les insectes qui ont un meilleur taux de conversion alimentaire par rapport aux autres animaux. Pour obtenir 1 Kg de protéines à partir du bétail, il faut nourrir celui-ci avec en moyenne 6 kg de protéines végétales [111]. Cependant, le taux de conversion des aliments chez l'animal reste variable selon l'espèce et aussi selon la méthode de production employée. Au Etats-Unis, pour produire 1 Kg d'animal vivant, il faut 2,5 kg d'aliments pour les poulets, 5 kg d'aliments pour les porcs et 10 kg d'aliments pour les bovins [112]. Par comparaison, les insectes nécessitent peu d'aliments. Pour produire 1 kg de grillons vivants, il faut moins de 1,7 kg d'aliments [113]. En raisonnant en termes de poids comestible (puisque la totalité d'un animal n'est en général pas comestible), les insectes paraissent encore plus avantageux. Une étude [6] a montré que plus de 80 % du grillon sont comestibles et digestes contre 55 % pour le poulet et le porc et 40 % pour le bétail. La capacité de conversion alimentaire du grillon est près du double de celle de la volaille, quatre fois celle du porc et douze fois celle des bovins (figure 28) [1].

Cette meilleure efficacité de conversion de la nourriture ingérée par les insectes par rapport aux autres animaux (porcs, bœufs) s'explique, en partie, par le fait que les insectes sont des animaux à sang froid et ont donc besoin de moins d'énergie pour maintenir leur température et assurer le métabolisme [1].

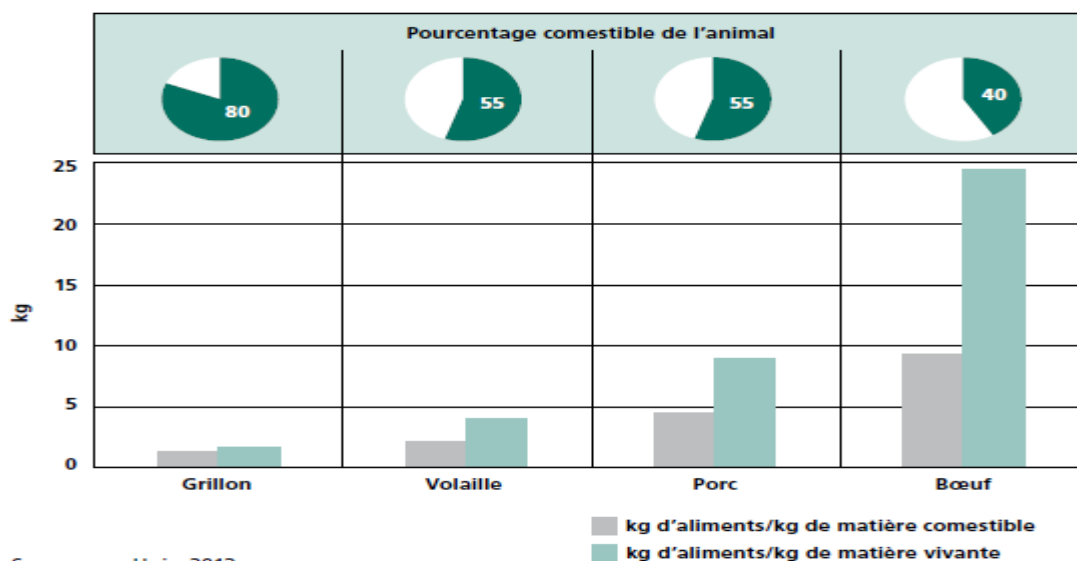


Figure 29: Rendements des productions comparées de viandes conventionnelles et de grillons [114].

2. Consommation d'eau

L'agriculture consomme environ 70% de l'eau douce mondiale et un tiers de cette eau est attribué à la production animale [115, 116].

Cependant, la production agricole est déjà limitée dans de nombreuses parties du monde due au manque d'eau et la FAO estime que d'ici 2025, ce sont près de deux tiers que de la population mondiale qui seront confrontés à des problèmes pour se ravitailler en eau. Le manque d'eau pourrait menacer la biodiversité et la production alimentaire mondiale. L'élevage des insectes pourrait être une solution prometteuse car il demande significativement moins d'eau que celui du bétail [1, 117].

Pour comparer deux types d'élevages, les chercheurs utilisent l'eau virtuelle ou empreinte en eau des différentes espèces. C'est un indicateur applicable à tous les secteurs d'activité. L'empreinte en eau sert à mesurer le volume d'eau douce requis pour une production. Par exemple, l'eau virtuelle utilisée dans un élevage correspond

à : l'eau utilisée pour la production de l'alimentation (fourrage ou de protéines végétales), l'eau utilisée pour la boisson des animaux et l'eau utilisée pour le nettoyage des infrastructures. Des chercheurs ont comparé l'eau virtuelle (ou l'empreinte hydrique) utilisée dans l'élevage des insectes par rapport à celle d'autres élevages conventionnels. Selon une étude, la production d'une tonne de protéines de ver de farine demande 4341 m³ d'eau virtuelle, une tonne de protéines de porc demande 5988 m³, une tonne de protéines de poulet demande 4325 m³ et une tonne de protéines de bœuf nécessite 15 415 m³[118].

En outre, l'utilisation des pesticides dans la culture des aliments pour les bovins contribue directement à la pollution de l'eau potable [116].

3. Emissions d'ammoniac et de gaz à effet de serre

L'élevage du bétail contribue à l'émission de 18% des gaz à effet de serre (GES)[119]. Parmi les principaux GES, il y'a le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄) et le protoxyde d'azote (N₂O). Les GES n'ont pas le même potentiel de réchauffement planétaire (PRP). Le méthane (CH₄) a un PRP 23 fois plus importante que celui du CO₂ ; quand au N₂O, son PRP est 298 fois plus importante que celui du CO₂[120]. L'ammoniac qui constitue le rejet principal des bovins participe à la pollution des sols et de l'eau. La production animale est à l'origine de 9% des rejets de CO₂, 35 à 40% des émissions de CH₄, 65% des rejets de N₂O, 64% des émissions NH₄[5]. Des insectes tels que les vers de farine, les grillons et les criquets ont des émissions de GES très basses par rapport au bœuf et au porc (figure 29) [5]. La production de l'ammoniac par ces insectes est également plus faible que celle du porc. En outre, tous les insectes ne produisent pas de méthane, uniquement les cafards, les termites et les scarabées sont capables d'émettre du méthane, les autres insectes étant dépourvus de bactéries méthanogènes dans leur tube digestif, ne produisent pas de méthane [121].

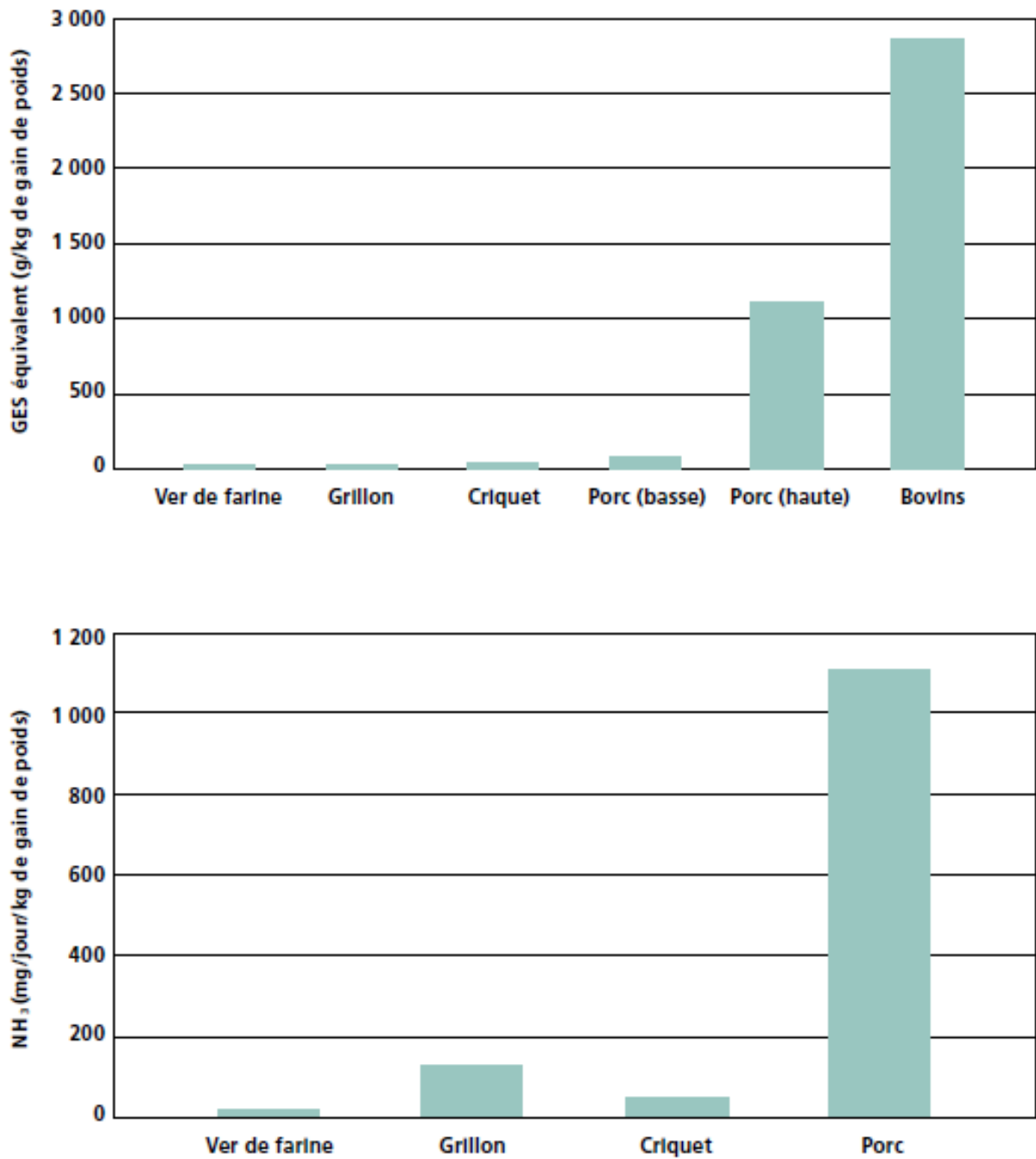


Figure 30: Les émissions de GES et d’ammoniac du ver de farine, du criquet, du grillon comparées à celles du porc et des bovins [5] .

4. Besoins en terres arables

L'évolution vers une production animale plus durable doit intégrer un élément important qui est l'utilisation de la terre par l'élevage. La surface réservée à l'élevage comprend d'une part la surface utilisée pour la production de l'alimentation des animaux et d'autre part celle utilisée pour l'élevage proprement dit [122]. En 2006, l'élevage du bétail mobilisait 70 % des terres à usage agricole et la demande globale en produits d'élevage devrait doubler (de 229 millions à 465 millions de tonnes) entre 2000 et 2050 [1].

Cependant, toute augmentation de la production animale implique forcément une augmentation des besoins en aliments pour animaux et donc plus de surfaces agricoles et plus de déboisement. Pour répondre à ces besoins, il faut des solutions innovantes [1].

L'élevage d'insectes présente des avantages par rapport à l'utilisation des terres cultivées. Oonincx et al ont quantifié la surface utilisée tout au long de la chaîne de production du ver de farine et comparé à celle utilisée pour la production de viande en élevage conventionnel. Selon leur étude, pour produire 1 Kg de protéines de ver de farine, de lait, de porc, de poulet et de bœuf il faut respectivement 1 ha, 2,5 ha, 3,5 ha, 2 et 10 ha de surface (figure 30) [120]. Donc la production de 1 kg de protéines de bœuf nécessite une surface 10 fois plus importante que celle nécessaire à la production de 1kg de protéines de ver de farine. En outre, plus de 99% de la surface utilisée pour produire 1kg de protéines de ver de farine était réservée à la culture de son alimentation. [120].

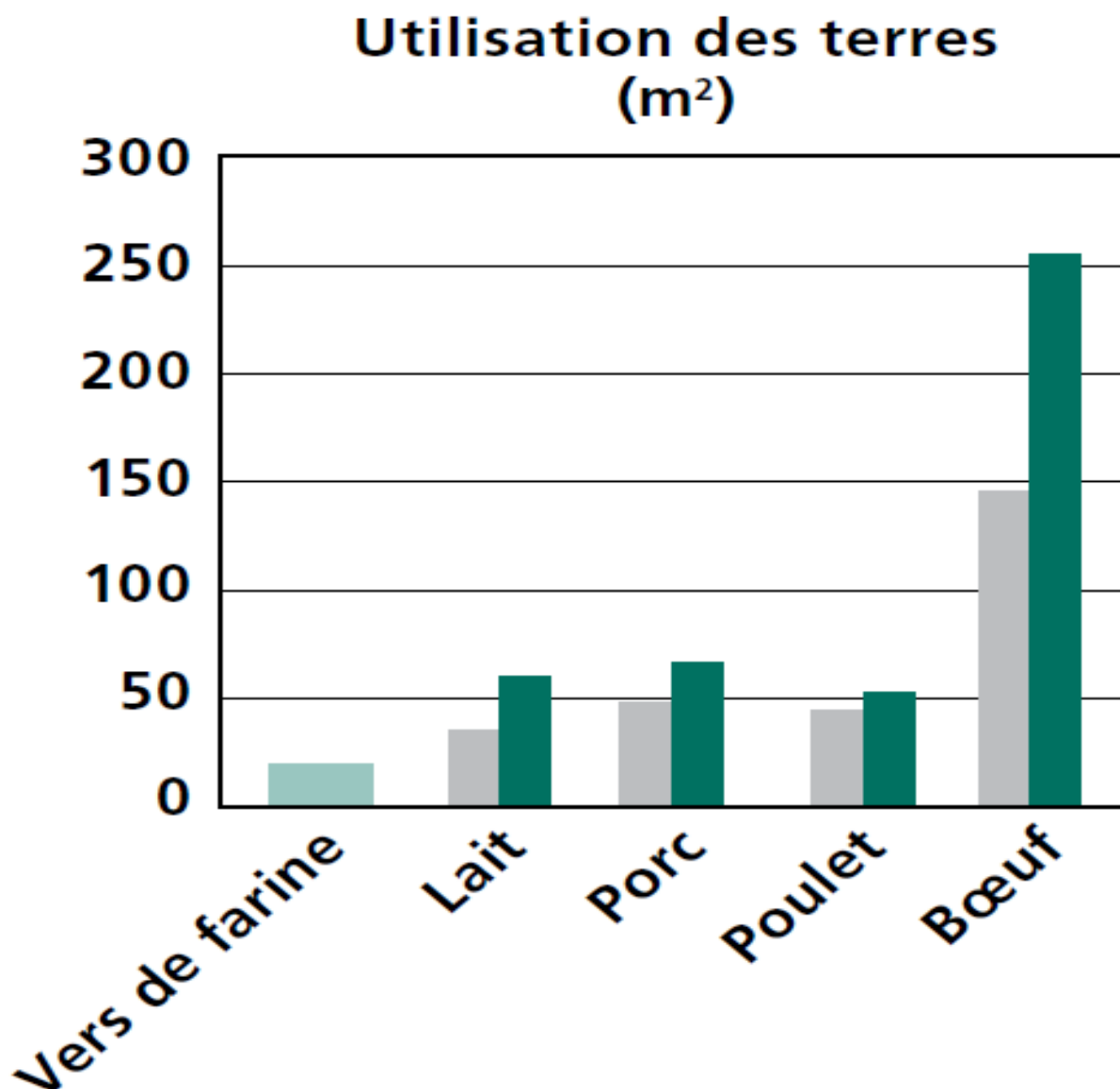


Figure 31: Surfaces consacrées à la production d'un kg de protéines de ver de farine, de lait, de porc, de poulet et de bœuf [1, 120].

Remarque: Les colonnes grises représentent les valeurs minimales et les colonnes vert-foncé les valeurs maximales trouvées dans la littérature.



*Risques Sanitaires
Lies A L'entomophagie*

VIII. RISQUES SANITAIRES LIES A L'ENTOMOPHAGIE

1. Risque chimique

Les dangers chimiques sont liés principalement à la présence de substances synthétisées par l'insecte lui-même ou de substances accumulées à travers l'alimentation ou l'environnement. Par conséquent, certaines espèces sont non-comestibles et tous les stades de développement des insectes ne sont pas comestibles [71].

2. Substances toxiques et les facteurs antinutritionnels

a. Substances toxiques

Comme moyens de défense et de répulsion, certaines espèces d'insectes synthétisent des substances toxiques qui peuvent être stockées ou secrétées [71].

Les insectes toxiques sont de deux types [71]:

i. Les phanérottoxiques

Ils présentent des dispositifs venimeux externes tels que les dards, les pièces buccales perceuses, ou les soies urticantes. L'envenimation peut se faire par inoculation des toxiques à travers les dards ou les pièces buccales perceuses, par contact avec les soies urticantes, ou par voie alimentaire. Le stade adulte ou larvaire sera préféré selon qu'il présente ou non ces dispositifs venimeux externes [71].

Les fourmis secrètent, par exemple, l'acide formique qui est un composé capable de provoquer des brûlures graves, des picotements intenses en cas de contact avec la peau [123].

Okumura a rapporté un cas de colite ulcéreuse survenu chez un enfant nourri de céréales infectés par les larves de *Trogoderma* spp [124].

Les poils de certaines chenilles peuvent contenir des substances toxiques et doivent être enlevées par brulage avant consommation [125].

ii. Les cryptotoxiques

Ils stockent ou synthétisent les substances toxiques dont la toxicité ne se manifeste qu'après consommation de l'insecte. Les insectes phytophages accumulent les phytotoxines qui ont les mêmes propriétés que la plante hôte. Par conséquent, les plantes utilisées pour l'alimentation des insectes d'élevage doivent être adaptées aux capacités métaboliques de ces insectes[71, 126].

A partir de la valine et de l'isoleucine, des papillons de la superfamille des *Papilionoidea* peuvent, par une synthèse de novo, produire respectivement la linamarine et la lotaustraline qui sont des substances cyanogéniques toxiques [71, 127]. Les composés cyanogéniques sont capables d'inhiber certaines enzymes du métabolisme oxydatif [2].

Certaines larves d'insectes telles que la larve *Galleria mellonella* ont développé un mécanisme de défense par mélanisation en se noircissant ce qui les rend non comestibles [128].

Des stéroïdes métaboliques (y compris la testostérone et la dihydrotestostérone) ont été retrouvés chez certains coléoptères de la famille des dytiscidae. Une consommation régulière de ces insectes peut entraîner des retards de croissance, une hypofertilité, une masculinisation chez les femmes [2].

Certaines espèces d'insectes, du fait de leur potentielle toxicité, nécessitent la prise de mesures de précautions avant consommation. Par exemple, en Afrique du sud et au Zimbabwe, la punaise puante (*Encosternum delegorguei*) n'est consommée qu'après avoir été débarrassée du fluide caustique qu'elle contient par pression sur le thorax. Le criquet *Zonocerus variegatus*, consommé au Cameroun et au Nigeria, nécessite une préparation particulière qui consiste à un renouvellement de l'eau de cuisson au cours de la préparation[1, 129].

b. Facteurs antinutritionnels

Les insectes contiennent des substances anti-nutritionnelles qui peuvent accentuer les carences nutritionnelles de certaines personnes [2, 71].

Les principaux facteurs antinutritionnels identifiés sont [71, 130] :

- L'acide phytique qui est capable de complexer le phosphore en phytate diminuant ainsi sa biodisponibilité ;
- Les oxalates qui peuvent entraîner des irritations du tube digestif, des troubles de la circulation sanguine et des troubles rénaux en cas d'absorption de quantité importante.
- Les tannins qui peuvent, à forte dose, précipiter les protéines
- Les thiaminases responsables de déficience en thiamine (vit amine B1). Au Nigeria, pendant plusieurs années, la consommation de chenilles d'*Anaphe venata* a été à l'origine d'un syndrome ataxique saisonnier caractérisé par des tremblements, de l'ataxie et des troubles de la conscience. Les études ont montré plus tard que ce syndrome était dû à une exacerbation du déficit en thiamine par les thiaminases contenues dans ces chenilles[1, 131]. On retrouve également de faible quantité de thiaminases chez le ver à soie (*Bombyx mori*) dont la pupe est couramment consommée en Asie. Une cuisson suffisante permettrait de réduire ce risque[2, 131].
- substances cyanogéniques retrouvées chez certains insectes (coléoptères et lépidoptères) qui inhibent des enzymes telles que le succinate déshydrogénase et l'anhydrase carbonique [2].

Une étude sur 4 espèces d'insectes comestibles au Nigeria (Termite (*Macrotermes nigeriensis*), chenille de karité (*Cirina forda*), grillons (*Gryllus assimilis*) et une sauterelle (*Melanoplus foedus*)) a montré que les facteurs antinutritionnels présents dans ces insectes (phytates, tannins, Oxalates, Saponines, glucosides cyanogéniques) se situaient dans les limites autorisées [130].

Du fait de son indigestibilité par l'Homme, la chitine constitue aussi un facteur antinutritionnel. Kuyten, en 1960, a rapporté des cas d'occlusion intestinale totale ayant nécessité une chirurgie chez des patients qui avaient consommés des quantités importantes d'insectes grillés [132]. En outre, la chitine et son dérivé le chitosane peuvent former avec les lipides des gels qui diminuent l'absorption des vitamines et des minéraux. Ce fort pouvoir de liaison aux lipides fait l'objet d'études chez les personnes obèses [71].

En République démocratique du Congo, il a été noté que les pattes des criquets et sauterelles restaient collées (grâce aux grandes épines) à la paroi intestinale des consommateurs entraînant une constipation et seule la chirurgie permettait d'enlever ces pattes accrochées. Les criquets et sauterelles doivent être débarrassés de leurs pattes avant consommation [1, 133]

Selon l'ANSES, la présence de facteurs antinutritionnels doit être mentionnée ainsi que des seuils doivent être définis dans le cas de l'utilisation alimentaire des insectes [71].

En Chine, le ministère de la Santé qui a introduit les chrysalides de vers à soie parmi ses nouvelles sources de nourriture, a limité la consommation journalière de protéines issues de pupes de vers à soie à 1,5g/kg de poids corporel en se basant sur des études ayant évalué la toxicité chez l'animal et l'Homme [2].

c. Les contaminants chimiques

A partir de leur milieu de vie ou de leur alimentation, les insectes peuvent bioaccumuler certains composés chimiques indésirables comme les pesticides, les métaux lourds, les polluants organiques [1, 71]. La bioaccumulation des substances chimiques est variable selon les caractéristiques de ces substances. Les composés hydrophiles sont faiblement absorbés et rapidement éliminés contrairement aux composés lipophiles qui sont mieux absorbés et difficilement excrétés [134].

i. Les pesticides

De nos jours, de nombreux pesticides sont utilisés dans l'agriculture. Des résidus de ces pesticides se retrouvent dans l'alimentation humaine, soit directement suite à la consommation des végétaux cultivés, soit indirectement suite à la consommation d'animaux nourris avec ces végétaux. Les insectes se nourrissant, au moins en partie, de végétaux cultivés, peuvent donc accumuler ces pesticides [135].

Les criquets et les sauterelles sont des insectes ravageurs de cultures et sont très souvent pulvérisés d'insecticides par les agriculteurs ou lors des programmes gouvernementaux de lutte [1]. En Thaïlande, des cas de contaminations aux pesticides sont survenus suite à la mise sur le marché d'insectes tués au cours d'un programme de désinfection [136]. Au Koweït, des concentrations élevées de pesticides organophosphorés, notamment le sumithion (Fénitrothion) et le malathion, ont été trouvées dans des criquets destinés à la consommation [137].

Des analyses réalisées sur plusieurs espèces d'insectes et produits à base d'insectes disponibles en Europe ont révélé la présence d'un certain nombre de résidus de pesticides, cependant, leurs quantités étaient inférieures aux limites fixées [134, 135].

ii. Les métaux lourds

Certaines études se sont intéressées à la présence de métaux lourds (As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Sn, Zn) dans les insectes comestibles.

Une étude a montré que des larves du *T. molitor* élevées dans un sol riche en cadmium et en plomb accumulaient ces métaux au niveau leur organisme [138]. Des teneurs élevées en plomb ont été retrouvées dans les chapulines d'Oaxaca (Mexique) [2].

L'étude de plusieurs espèces d'insectes comestibles et de produits à base d'insectes comestibles a montré des niveaux de cuivre et de zinc similaires à ceux trouvés dans la viande et le poisson, alors que les quantités d'As, Co, Cr, Pb étaient faibles dans tous les échantillons (<0,03 mg / kg poids corporel) [135].

La bioaccumulation des métaux lourds est variable selon l'espèce d'insectes et le métal lourd. Par exemple, l'accumulation de l'arsenic est plus importante chez les diptères et les orthoptères que chez les coléoptères, lépidoptères et odonates [139, 140], le ver de farine (coléoptère) accumule mieux l'arsenic par rapport au cadmium [140].

iii. Médicaments vétérinaires

Dans le cadre de l'élevage des insectes, l'utilisation de médicaments vétérinaires est à envisager afin de traiter les maladies des insectes. La présence de résidus de ces médicaments est donc possible. En effet, une étude a montré que le chloramphénicol, utilisé pour traiter le ver à soie restait actif même après passage dans le tube digestif celui-ci [71, 141].

Le risque chimique est difficile à contrôler pour les insectes collectés traditionnellement dans la nature, mais pourrait être mieux contrôlé par l'élevage des insectes [1].

3. Danger physique

Les parties dures (patte, rostre pointu, dard) des insectes déshydratés peuvent constituer un danger pour le consommateur qui doit être averti afin d'enlever ces parties. C'est ce que indique l'Agence Fédérale pour la Sécurité de la Chaîne Alimentaire (AFSCA) qu'« il est donc fortement conseillé d'indiquer le cas échéant sur l'étiquette du produit que les pattes et les ailes de l'insecte doivent être retirées avant consommation » [71]. Par exemple en Hollande, l'étiquette des criquets migrants vendus au marché précise explicitement que les ailes et les pattes doivent être enlevées avant consommation [1]

En plus, les corps étrangers provenant des procédés sont susceptibles de présenter un danger comme c'est le cas chez tous les autres aliments transformés [71].

4. Risque microbiologique

Les insectes, tout comme les autres animaux, hébergent de nombreux microorganismes principalement dans leur tube digestif mais aussi à leur surface, dans les voies respiratoires et dans d'autres compartiments anatomiques [1, 142]. En outre, les insectes collectés traditionnellement ou élevés sont susceptibles d'être infectés par des microorganismes pathogènes d'origine bactérienne, fongique, parasitaire, virale. Cependant, du fait de l'éloignement phylogénétique entre les humains et les insectes, les microorganismes entomopathogènes sont considérés comme inoffensifs pour l'Homme. [1, 71, 143]. Le risque microbiologique des insectes provient surtout de la contamination liée au mauvais assainissement, les mauvaises conditions de collecte, de transformation et de conservation [144].

a. Danger bactériologique et toxines

Les bactéries entomopathogènes sont vues comme inoffensives pour les humains. Les bactéries pathogènes pour l'homme pouvant être transmises suite à la consommation d'insectes peuvent être soit d'origine intrinsèque (flore intestinale ou d'autres régions anatomiques de l'insecte) d'autant plus que les insectes sont généralement consommés entiers, soit d'origine extrinsèque (liés aux conditions d'élevage, de transformation, de conservation et d'environnement) [71].

i. Flore bactérienne des insectes crus

Les pays européens autorisant l'utilisation des insectes dans l'alimentation humaine (exemples Belgique et Pays-Bas) ont fixé des limites pour la flore bactérienne totale des insectes comestibles. Celle-ci doit être comprise entre 5,7 log ufc / g et 6,7 log ufc /g. Ces limites correspondent à celles de la viande hachée fraîche. [145].

Plusieurs études ont montré que le comptage de la flore totale des insectes varie entre 5.0 à 9.3 log ufc/g [146]. La flore totale des insectes comestibles dépasse donc la limite autorisée. Le comptage des entérobactéries variait entre 4.2 à 9.3 log ufc/g, celui des endospores bactériennes de moins de 1.0 à 5.0 log ufc/g[146]. Les insectes entiers ont montré des comptages moins élevés que les poudres d'insectes [147]. Cependant, le comptage de la flore totale reste un indice quantitatif qui ne renseigne pas sur le danger réel.

L'étude qualitative de la flore bactérienne des insectes comestibles (crus et transformés) n'a pas montré la présence de pathogènes majeurs tels que *Salmonella spp*, *Listeria monocytogenes*, et *E.Coli* [147-149][148]. La population bactérienne retrouvée chez les insectes comestibles a montré une grande variation selon l'espèce et les conditions d'élevage mais aussi des similitudes. Plusieurs phylums bactériens dont *Proteobacteria*, *Firmicutes*, *Actinobacteria*, *Bacteroidetes*,

Streptophyta, *Tenericutes* ont été retrouvés [150, 151]. Les endospores bactériennes ont été retrouvées en quantité variable. Les larves du ver de farine sont dominées par trois phylums qui sont *Proteobacteria*, *Firmicutes*, *Actinobacteria*, par contre les sauterelles sont dominées par les Firmicutes [150].

En s'intéressant aux Unités Taxonomiques Opérationnelles (UTO) rencontrées chez les insectes, on constate une grande variation. Une étude sur les larves du ver de farine a retrouvé les UTO suivantes : *Propionibacterium sp* (qui est l'OTU dominante), *Haemophilus sp*, *Staphylococcus sp*, *Clostridium sp*, *Pseudomonas sp*, *Lactobacillus sp* ... [150]. Vandeweyer et al. [151] ont montré que *Spiroplasma sp* (entomopathogène et pathogène humain potentiel), *Erwinia oleae* (phytopathogène), *Buttiauxella agrestis* sont les UTO qui prédominent chez les larves du ver de farine (plus de 50% de la communauté bactérienne isolée). Ils ont aussi isolé *Citrobacter koseri*, *Pseudomonas sp*, *Enterobacteriaceae sp*. Chez le criquet *L. migratoria migratorioides*, *Weissella* (31,3%), *Lactococcus* (25,5%) et *Yersinia/Rahnella* (15,7%) représentent les OTU prédominantes (plus de 70% de la communauté bactérienne totale) [150]. Banjo, Lawal et al. ont isolé certains pathogènes humains dont le *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* et *Bacillus cereus* à partir de l'*Oryctes monocerus*, un coléoptère consommé en Afrique de l'Ouest [71, 152]. Ces résultats montrent de fortes différences dans la composition de la communauté bactérienne entre insectes, ils montrent aussi que les insectes peuvent héberger des espèces pathogènes et suggèrent donc qu'une étape de transformation à effet microbicide avant la consommation des insectes est nécessaire [150, 151].

ii. Effet de la transformation sur la flore bactérienne

L'analyse bactériologique de 38 échantillons de produits transformés d'insectes (des insectes frits, congelés, séchés, des poudres d'insectes, insectes préparés dans une sauce de soja) était négative pour quelques pathogènes majeurs (*Salmonella*, *L.*

monocytogenes, *E. coli* and *Staphylococcus aureus*). Cependant les insectes séchés et les poudres d'insectes contenaient *B. cereus* (bactérie sporulante et pathogène), les coliformes, *Serratia liquefaciens*, *Listeria ivanovii* [149]. Selon cette étude, les insectes séchés et les insectes en poudre ne satisfaisaient pas les critères d'hygiène définis par la Belgique et les Pays-Bas.

Plusieurs procédés de transformation tels que la cuisson dans l'eau bouillante [145, 153], la cuisson sous vide [145], la stérilisation [73], la fermentation lactique [74], la tyndallisation associée à la cuisson [149] sont efficaces pour réduire considérablement voire éliminer les formes végétatives notamment des entérobactéries, cependant leur efficacité sur les endospores bactériennes reste limitée.

Une étude [149] a évalué l'efficacité de différentes techniques de séchage sur la flore bactérienne et fongique du grillon *Gryllus bimaculatus* et du ver de farine géant *Zophobas atratus*. La recherche d'*E. Coli*, *Salmonella*, and *Listeria monocytogenes* était négative. Avec l'application d'une température T3 (bouillir 30min, puis séché 12h à 80°C et 12h à 100°C), la charge en entérobactéries, staphylocoques était réduite en dessous de la limite de détection. Cependant cette température n'avait aucun effet sur la charge du *Bacillus* et la charge bactérienne totale qui est restée supérieure à 7log ufc/g. Avec l'application d'une température T4 (T3 + bouillir 30 min supplémentaires), toute la charge bactérienne était en dessous de la limite de détection.

Les méthodes de fumage et de séchage traditionnel au soleil ne permettent pas d'assurer une bonne décontamination et présentent en plus un risque de contamination secondaire très important [73].

La flore intestinale des insectes peut être réduite en précédant la consommation d'un jeûne d'un ou de deux jours ou en effectuant une purgation par pression sur le ventre (cas des chenilles) [1]. Cependant, une étude sur le ver de farine n'a pas montré de différence statistiquement significative dans le comptage des bactéries entre les vers de farine ayant subi un jeûne de 24 à 48h et ceux n'ayant pas subi de jeûne [148].

b. Risque fongique

Plusieurs études ont isolé une diversité de flore fongique à partir d'échantillons d'insectes. Les genres *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Cladosporium* et *Phycomycetes* étaient les plus isolés [71, 154]. Grabowski, and Klein ont isolé, à partir d'insectes transformés, les espèces suivantes : *Mucor* spp, *Aspergillus* spp, *Penicillium* spp and *Cryptococcus neoformans* [149]. Des souches comme *Aspergillus*, *Penicillium*, et *Fusarium* sont capables de produire des mycotoxines [1].

L'analyse d'échantillons de chenilles mopanes (*Imbrasia belina*), très consommées en Afrique, a montré la présence d'aflatoxines à des quantités allant de 0 à 50 µg par kg de produit (seuil de sécurité défini par la FAO=20 µg par kg) [155]. Ces mycotoxines pourraient constituer un danger pour le consommateur régulier [1, 155].

La présence de cette flore fongique serait due à une contamination des insectes par le sol, les feuilles, lors de la manipulation (collecte, séchage) et le stockage [71, 154]. Musundire R, Osuga 2016 ont évalué l'effet de la manipulation et du stockage sur la qualité des punaises (*E. delegorguei*) consommées au Zimbabwe dans une étude. Leur résultat a montré la présence d'aflatoxine B₁ (AFB₁) (entre 0,50 et 0,59 ng / g) dans des échantillons de punaises collectées et stockées traditionnellement (récoltées dans des paniers en bois puis transférées dans des sacs de polypropylène réutilisés). Par contre, aucune aflatoxine n'a été détectée chez les punaises récoltées et stockées dans des sacs à fermeture éclair propres [156].

La cuisson permet de réduire de manière significative la flore fongique [149].

c. Risque parasitaire

Il existe peu de données sur le risque de parasitose lié à la consommation des insectes. Néanmoins, les insectes sont susceptibles de porter des parasites pouvant constituer un danger. Certains insectes sont les hôtes intermédiaires de parasites. Des parasitoses peuvent apparaître suite à la consommation (accidentelle ou volontaire) des insectes surtout crus [71, 157].

La consommation d'insectes aquatiques peut entraîner des parasitoses à cercaires et méta cercaires. Un cas d'infection à un trématode (*Plagiorchis philippinensis Sandground*) a été associé à la consommation d'insectes [157, 158].

Wilson, Lorente *et al* ont rapporté un cas de nématodose à *Gongylomena pulchrum* qui serait due à la consommation accidentelle de coléoptères crus (hôte intermédiaire du *Gongylomena pulchrum*) [159].

Les mouches synanthropes, particulièrement la mouche domestique commune (*Musca domestica*), sont vecteurs de parasites protozoaires tels que *Sarcocystis* spp, *Toxoplasma gondii*, *Isospora* spp, *Giardia* spp, *Entamoeba coli*, *Entamoeba histolytica* / *Entamoeba dispar* [160]. Par exemple, *Toxoplasma gondii* peut être transmise mécaniquement par *Musca domestica* [160, 161].

Le trématode *Dicrocoelium dendriticum* peut être transmis à l'homme après ingestion de fourmis contenant les méta cercaires de ce parasite [162].

Les cas de parasitoses décrits chez l'homme en lien avec la consommation d'insectes sont surtout liés à des ingestions non intentionnelles des insectes crus sauvages.

Un traitement thermique des insectes ainsi que l'observation de bonnes pratiques d'élevage pourrait permettre de réduire ce risque [71].

d. Risque viral

Le risque viral qui est lié à l'entomophagie n'est pas documenté [71]. Cependant ce risque ne peut pas être exclu.

e. Agents transmissibles non conventionnels (ATNC)

Dans une étude expérimentale, les pupes d'insectes ayant ingérés des éléments du système nerveux centrale infecté, ont été utilisées pour nourrir des hamsters, ces hamsters ont par la suite développé la tremblante [71, 163]. En outre, selon certaines études, des mouches pourraient exprimer des protéines prions [164]. Par conséquent, le risque lié aux ATNC lors de la consommation d'insectes ne peut pas être exclu [71].

5. Risque allergique

Les arthropodes, à cause des protéines qu'ils contiennent, peuvent provoquer des allergies chez les personnes sensibilisées [1]. Parmi les risques sanitaires liés à l'entomophagie analysés dans la littérature, seul le risque allergique dû aux allergènes constitue le point de concordance entre les auteurs [144]. Ce risque allergique est très prévisible du fait de l'existence d'allergènes communs aux arthropodes (arachnides, crustacés et insectes), aux mollusques et aux helminthes. Ces pan-allergènes peuvent entraîner des réactions et/ou des allergies croisées[65, 71].

a. Réactions allergiques rapportées dans la littérature

Plusieurs cas d'allergies professionnelles liées aux insectes comestibles ont été rapportés chez le personnel affecté à l'entretien des élevages d'insectes (travailleurs de labo), des fermiers, des agriculteurs, des boulangers (dus à des insectes contaminant la farine) et chez les marins (allergie aux appâts faits avec les insectes). Les réactions allergiques étaient provoquées par des aéro-allergènes et des allergènes de contact et se manifestaient par des troubles respiratoires (toux, rhinites, dyspnée, bronchite, asthme) et des réactions cutanées (démangeaisons, eczéma, dermatite, prurit) [65, 71].

De nombreux cas d'allergie alimentaire induite par la consommation d'insectes comestibles sont signalés dans la littérature. Les insectes mis en cause étaient le ver de farine, le ver mopane, les larves du charançon du palmier, les larves du Bombyx du mûrier, les cochenilles et le ver de farine géant [71]. Le tableau clinique de l'allergie alimentaire peut se traduire par des symptômes cutanés (urticaire, prurit, éruptions cutanées, rougeurs, angioedème), des symptômes gastro intestinaux (douleur abdominaux, diarrhées, nausées, vomissements), des symptômes respiratoires (asthme, dyspnée) et des réactions anaphylactiques[2, 165].

Ji, Zhan *et al* ont rapporté, en 2008, un cas de touriste français ayant fait un choc anaphylactique suite à la consommation de pupes de ver à soie. En outre, ils estiment à

plus d'un millier le nombre de cas de réactions anaphylactiques qui sont annuellement signalés en Chine survenant suite à la consommation de pupes rôties, ce qui laisse penser que les réactions anaphylactiques dues à la consommation d'insecte sont sous-estimées au regard des publications disponibles à ce sujet [71, 166].

Yew et Kok ont rapporté un cas d'allergie alimentaire sévère (ayant nécessité une hospitalisation) développée par un chinois qui avait mangé plusieurs larves rôties du *Rhynchophorus ferrugineus* (charançon du palmier) lors d'une visite touristique en Malaisie [167].

Certains auteurs ont décrit des cas d'allergies croisées entre les chrysalides du Bombyx du mûrier et le champignon *Ophiocordyceps sinensis*, cependant ils n'ont pas déterminé l'allergène en cause [1, 168].

Néanmoins, pour la grande majorité de personnes surtout celles n'ayant aucun passé allergique aux insectes ou aux arthropodes le risque de faire une réaction allergique après consommation d'insectes comestibles ou lors de contact avec les insectes est faible [1].

b. Allergènes des insectes comestibles et réactions croisées

Dans l'ensemble, les allergènes des insectes comestibles restent mal connus car ils n'ont fait l'objet que de très peu d'études. Les allergènes des insectes comestibles correspondent principalement à des protéines ubiquitaires ou pan-allergènes (commun aux arthropodes (acariens, crustacés, insectes), aux mollusques et aux nématodes) pouvant entraîner des réactions croisées. Il s'agit **des protéines musculaires** (tropomyosine, troponine C, myosine, actine, Protéine sarcoplasmique de liaison au calcium (SCBP)), **des protéines circulantes** (hémocyanine, hexamérine), **des protéines structurales** (tubulines), **des enzymes** (alpha-amylase, arginine-kinase, glutathion S-transférase, trypsine chitinase, protéases à sérine, triosephosphate isomérase (TPI)) [71, 168]. L'arginine-kinase (phosphotransférase qui catalyse le transfert de phosphate entre ATP et l'arginine) et la tropomyosine (protéine de

régulation dans la contraction musculaire) sont les allergènes les plus incriminés et donc les plus étudiés[165].

La proximité phylogénique entre les insectes et les autres arthropodes (figure 31) notamment les crustacés explique l'existence d'allergènes communs au sein des arthropodes. Ces allergènes communs peuvent être à l'origine de réactions croisées. Des études ont mis en évidence des réactions croisées entre les crustacés, les acariens et certains insecte (ver de farine, grillon, sauterelle, criquet, mouche soldat, mite, termite et blatte) [165]. Les allergènes des insectes et des crustacés paraissent les plus proches[169]. Par exemple, il existe entre 60 et 90% d'homologie entre la tropomyosine du ver de farine et celle de la crevette [170]. Par conséquent, les personnes allergiques aux crustacés sont très susceptibles de faire des réactions allergiques lors de la consommation d'insectes comestibles[169]. Cependant, les réactions croisées ne sont pas systématiques, certaines personnes peuvent être allergiques à un seul insecte[1].

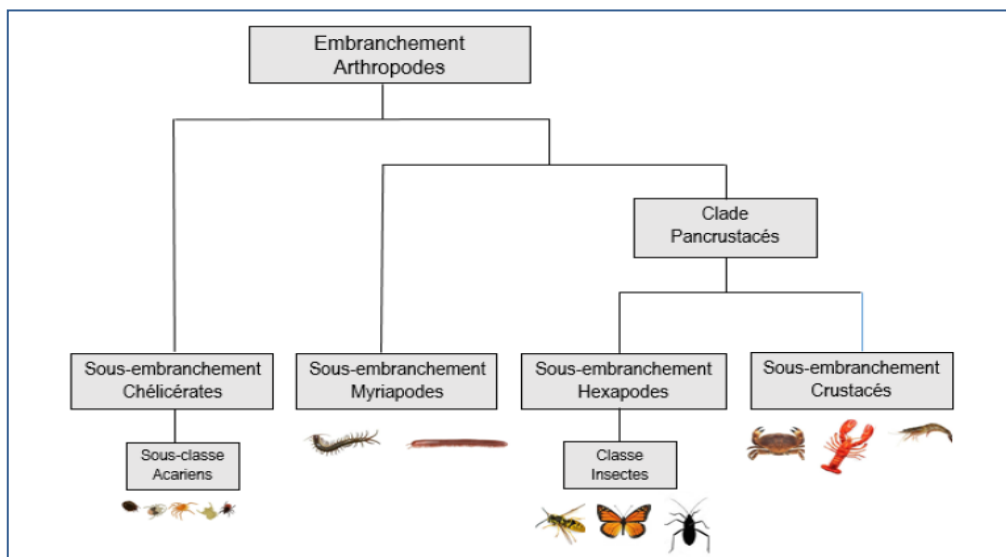


Figure 31 :Représentation simplifiée de l'embranchement Arthropodes [171]

La chitine, polysaccharide le plus important dans la nature, se rencontrant communément chez les arthropodes, chez les champignons (paroi cellulaire des moisissures) et au niveau du tégument des helminthes, est considérée comme un

allergène selon certaines études[71, 172]. Cependant ses effets sur les réponses immunitaires restent complexes et dépendants de la taille des chaînes de *N*-acétylglucosamine qui le constituent [173]. La chitine peut améliorer la réponse immunitaire ou réduire les réponses allergiques chez certaines personnes [172, 173].

Selon certaines études la cuisson ne semble pas avoir d'effet sur l'allergénicité de ces allergènes [174, 175]. Une étude menée sur trois insectes (*Tenebrio molitor*, *Zophobas morio* et *Alphitobius diaperinus*) a montré une réduction de la réactivité croisée des allergènes après cuisson [170].

Une étude a montré que la tropomyosine hydrolysée entre 60 et 80% ne provoque pas de réaction croisée avec les crevettes, mais si l'hydrolyse est inférieure à 50%, elle provoque une réaction croisée[176].

Une étude in vitro a montré que la digestion in vitro des insectes crus n'a pas d'effet sur l'allergénicité de leur tropomyosine chez un sujet allergique au crevette, par contre une réduction de l'allergénicité a été observée lorsque la digestion est précédé d'un ébouillantage. Chez les personnes allergiques aux acariens, la digestion in vitro a permis de réduire voire éliminer l'allergénicité de la tropomyosine[170].



*Quelques
Recommandations*

IX. QUELQUES RECOMMANDATIONS

1. Recommandations de l'ANSES et de la FAO

En 2015, l'ANSES a estimé que les données scientifiques disponibles sur la valeur nutritionnelle, sur le risque sanitaire lié à la consommation des insectes comestible et sur l'impact écologique de l'élevage des insectes comestibles sont encore insuffisantes [71]. La production des insectes pour la consommation humaine ou pour nourrir les animaux ne bénéficie pas d'un cadre légal ce qui constitue un obstacle majeur à l'élevage industriel des insectes [1]. Ainsi, la FAO en 2013 et l'ANSES en 2015 ont formulé quelques recommandations :

- Davantage de recherches doivent être menées sur l'impact environnemental de l'élevage des insectes, la valeur nutritionnelle des insectes et le risque sanitaire lié à l'utilisation des insectes dans l'alimentation humaine [71] ;
- La standardisation des insectes comestibles ainsi que l'évaluation de l'innocuité des insectes avant leur mise sur le marché [1, 71] ;
- Le bien-être des insectes comestibles devra être étudié et pris en compte [71] ;
- La définition de directives sur les conditions d'élevage et de production des insectes et de leurs produits afin d'assurer un contrôle des risques sanitaires [1, 71] ;
- La prise de mesures qui devront permettre de prévenir le risque allergique [71] ;
- Afin de lever les obstacles à l'élevage et à la commercialisation des insectes à destination de la consommation humaine, des normes ainsi qu'un cadre légal doivent être définis [1] ;
- Les consommateurs des insectes notamment ceux présentant un terrain favorable aux allergies alimentaires devront être prudents.

2. Recommandations pour une préparation traditionnelle sans danger des insectes

Afin de réduire les dangers que peuvent présenter les insectes comestibles, il est primordial de suivre certaines étapes de préparation. En général une fois les insectes collectés, ils doivent être d'abord bien lavés, ensuite bouillis, cuits à la vapeur ou frits pendant au moins 5 minutes et enfin consommés tout de suite après préparation. Les insectes qui ne sont pas consommés immédiatement doivent être soit conservés au froid au réfrigérateur entre 4 et 7°C ou dans le congélateur entre -10 et -30°C soit conservés après séchage au soleil pendant quelques jours.

Certains insectes nécessitent des précautions supplémentaires avant préparation[11] :

- Les criquets, les sauterelles et les grillons doivent être débarrassés de leurs pattes ainsi que des ailes pour les criquets et les sauterelles ;
- Les chenilles doivent être vidées de leur contenu gastrique par pression sur le thorax ;
- Les poils urticants de certaines chenilles doivent être enlevés par flambage ou par toute autre techniques ;
- Les punaise doivent être vidé du liquide puante qu'ils contiennent soit en exerçant une pression sur leur thorax soit en les plongeant dans l'eau chaud.



Conclusion

La consommation d'insectes est une pratique très répandue dans les régions tropicales du monde notamment en Afrique, en Asie et en Amérique latine où elle fait partie des habitudes alimentaires traditionnelles. Selon la FAO, ce sont plus de deux milliards de personnes qui consomment régulièrement les insectes à travers le monde. En Europe et plus généralement en Occident, la consommation d'insectes est très restreinte à cause des obstacles législatifs qui se justifient par un manque de connaissances scientifiques sur les risques liés à cette pratique et aussi des obstacles culturels avec une acceptabilité limitée. Cependant, en Europe, l'entomophagie semble susciter un engouement croissant qui se traduit par la naissance de projets d'industriel et aussi une accentuation de la recherche sur l'étude des risques sanitaires qui constituent un point critique pour une production de masse des insectes. Le 13 janvier 2021, considérant le ver de farine comme un aliment sûr, l'Autorité Européenne de Sécurité des Aliments (AFSA) a rendu un avis favorable à la commercialisation du ver de farine à destination de la consommation humaine.

Les études actuellement disponibles montrent que les insectes comestibles peuvent contribuer à la sécurité alimentaire et peuvent constituer une alternative saine et durable aux protéines des animaux d'élevage conventionnel. Bien que la composition nutritionnelle soit influencée par plusieurs facteurs, il est à noter que les insectes présentent une teneur élevée en calories et en protéines, permettent de satisfaire les besoins humains en acides aminés, sont riches en AGMIS et/ou AGPIS, sont riches en certains micronutriments tels le fer, le zinc, le calcium, le magnésium, le manganèse, la riboflavine, acide pantothénique. La variation de la composition nutritionnelle selon le régime alimentaire offre la possibilité de contrôler cette composition nutritionnelle à travers l'alimentation. Ils présentent d'autres avantages tels que la faible émission de GES, un faible besoin en terre et un meilleur indice de conversion des aliments.

Les insectes comestibles présentent certains risques qui sont principalement liés, aux substances toxiques intrinsèques et aux facteurs anti nutritionnels présents chez certaines espèces, aux conditions d'élevage et de production notamment les risques microbiologiques et des risques liés aux pan-allergènes pouvant causer des réactions allergiques chez les consommateurs sensibles. Cependant, dans les pays où les insectes font partie des habitudes alimentaires depuis longtemps, en dehors des cas d'allergie, il existe peu de documentation sur les cas de mise en danger de la santé suite à la consommation d'insectes. Par conséquent, les personnes allergiques aux arthropodes tels que les crevettes devront être prudentes avec les insectes comestibles. L'élevage des insectes permet de mieux maîtriser certains risques par rapport à la récolte dans les milieux naturels

Plus d'études sont nécessaires pour évaluer la valeur nutritionnelle des insectes notamment la qualité des protéines des insectes et leur comparaison avec les protéines animales et végétales, la biodisponibilité des micronutriments, la composition en matière grasse. En outre, les toxines, les allergènes et les facteurs anti-nutritionnels doivent être mieux étudiés. Les techniques de conservation ainsi que les méthodes de décontamination doivent être évaluées et mises en place. Afin d'ouvrir pleinement la voie à un développement à l'échelle industrielle de la production et de la commercialisation des insectes et produits à base d'insecte, il est primordial qu'un cadre législatif clair soit développé au niveau national et international.



RESUME

Titre : Entomophagie et risques sanitaire

Auteur : Sessouma Abou

Mot clé : Entomophagie-Insectes-Nutrition-Risques

La consommation des insectes (entomophagie) est une pratique très répandue dans le monde avec plus de deux milliards de consommateurs repartis principalement en Afrique, en Asie et en Amérique latine. On compte plus de 2000 espèces d'insectes comestibles à travers le monde. Les insectes, en plus d'être une source de protéines bon marché pour les consommateurs, constituent également une source de revenu non négligeable pour de nombreuses personnes.

La composition nutritionnelle des insectes comestibles est très variable. Elle varie selon l'espèce, le stade de développement, l'alimentation et le mode de préparation de l'insecte. Néanmoins les insectes restent une bonne source de protéines et de calories. Les protéines constituent le composant majoritaire, suivies par les lipides puis les fibres. La valeur énergétique des insectes est comparable à celle de la viande. Les insectes présentent généralement une bonne teneur en fer et en zinc mais sont pauvres en sodium, calcium et potassium. Outre l'avantage nutritionnel des insectes, leur élevage présente un faible impact environnemental par rapport à l'élevage conventionnel.

La consommation des insectes n'est pas sans dangers. Les insectes comestibles présentent des risques chimiques liés à des substances synthétisées par les insectes eux-mêmes ou liés à des substances accumulées à travers l'environnement ou l'alimentation ; des risques microbiologiques liés à la flore intrinsèque des insectes et aussi au mauvais assainissement et surtout un risque allergique particulièrement important chez les personnes susceptibles aux allergies alimentaires.

Les données scientifiques disponibles sur les insectes comestibles notamment sur leur composition nutritionnelle et les risques sanitaires qui peuvent être associés à la consommation de ces insectes sont encore limitées, par conséquent plus d'études sont encore nécessaires afin d'ouvrir la voie à une utilisation à grande échelle des insectes comestibles dans l'alimentation humaine.

SUMMARY

Title: Entomophagy and health risks

Author: Sessouma Abou

Key words: Entomophagy-Insects-Nutrition-Risks

The consumption of insects (entomophagy) is a very widespread practice in the world with more than two billion consumers distributed mainly in Africa, Asia and Latin America. There are over 2000 species of edible insects around the world. Insects, in addition to being a cheap source of protein for consumers, are also a significant source of income for many people.

The nutritional composition of edible insects is very variable. It varies depending on the species, stage of development, diet and method of preparation of the insect. However, insects remain a good source of protein and calories. Proteins are the major component, followed by lipids and then fiber. The energy value of insects is comparable to that of meat. Insects generally have a good content of iron and zinc, but are low in sodium, calcium and potassium. Besides the nutritional advantage of insects, their breeding presents a low environmental impact compared to conventional breeding.

Eating insects is not without dangers. Edible insects present chemical risks linked to substances synthesized by the insects themselves or linked to substances accumulated through the environment or food; microbiological risks linked to the intrinsic flora of insects and also to poor sanitation and above all a particularly high allergic risk in people susceptible to food allergies.

The scientific data available on edible insects, in particular on their nutritional composition and the health risks that may be associated with the consumption of these insects are still limited, therefore more studies are still needed in order to pave the way for the use of edible insects on a large-scale in human consumption.

ملخص

العنوان: المخاطر الصحية المرتبطة بأكل الحشرات

الكاتب: سيسوما أبو

الكلمات المفتاحية: أكل الحشرات – الحشرات – التغذية – المخاطر

يعتبر استهلاك الحشرات ممارسة واسعة الانتشار في العالم، مع أكثر من ملياري مستهلك موزعين بشكل رئيسي في إفريقيا وآسيا وأمريكا اللاتينية. ويصنف أكثر من 2000 نوع من الحشرات الصالحة للأكل حول العالم. بالإضافة إلى كونها مصدرًا رخيصًا للبروتين للمستهلكين، فهي أيضًا تعتبر مصدر دخل مهم لكثير من الناس.

التركيب الغذائي للحشرات الصالحة للأكل متغير للغاية. وهي تختلف باختلاف النوع ومرحلة التطور والنظام الغذائي وطريقة تحضيرها. ومع ذلك، تظل الحشرات مصدرًا جيدًا للبروتين والسكريات الحرارية. وتعتبر البروتينات المكون الرئيسي، تليها الدهون ثم الألياف. أما القيمة الطاقية للحشرات فهي مماثلة لتلك الموجودة في اللحم. وتحتوي الحشرات بشكل عام على نسبة جيدة من الحديد والزنك وعلى نسبة منخفضة من الصوديوم والكالسيوم والبوتاسيوم. إلى جانب الميزة الغذائية للحشرات، فإن زراعتها لها تأثير بيئي منخفض مقارنة بالزراعة التقليدية.

أكل الحشرات لا يخلو من مخاطر. فقد يشكل هذا السلوك مخاطر كيميائية مرتبطة بالمواد التي تصنعها الحشرات نفسها أو مرتبطة بمواد مترابطة من خلال البيئة المحيطة بها أو نمطها الغذائي؛ كما تشكل العناصر الميكروبيولوجية المرتبطة بالحشرات خطراً محدداً خصوصاً مع ضعف الصرف الصحي كما تشكل مخاطر حساسية عالية بشكل خاص لدى الأشخاص المعرضين للحساسية الغذائية.

لا تزال البيانات العلمية المتوفرة عن الحشرات الصالحة للأكل، خاصة فيما يتعلق بتكوينها الغذائي والمخاطر الصحية التي قد ترتبط باستهلاكها، محدودة جداً، لذلك لا تزال هناك حاجة لمزيد من الدراسات لتمهيد الطريق لاستخدام الحشرات الصالحة للأكل على نطاق واسع في غذاء الإنسان.



Bibliographie

- [1] Van Huis, A., et al., *Edible insects: future prospects for food and feed security*. 2013: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- [2] Belluco, S., et al., *Edible insects in a food safety and nutritional perspective: a critical review*. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 2013. **12**(3): p. 296-313.
- [3] *FAO, FIDA, OMS, PAM et UNICEF. 2019. L'État de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde 2019. Se prémunir contre les ralentissements et les fléchissements économiques. Rome, FAO.*
- [4] Gracer, D., *Filling the plates: serving insects to the public in the United States*. *Forest insects as food: humans bite back*, 2010: p. 217.
- [5] Oonincx, D.G., et al., *An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption*. *PloS one*, 2010. **5**(12): p. e14445.
- [6] Nakagaki, B.J. and G.R. Defoliart, *Comparison of diets for mass-rearing *Acheta domesticus* (Orthoptera: Gryllidae) as a novelty food, and comparison of food conversion efficiency with values reported for livestock*. *Journal of Economic Entomology*, 1991. **84**(3): p. 891-896.
- [7] Fontaneto, D., et al., *Differences in fatty acid composition between aquatic and terrestrial insects used as food in human nutrition*. *Ecology of food and nutrition*, 2011. **50**(4): p. 351-367.
- [8] Klein, R.G., *The human career: Human biological and cultural origins*. 2009: University of Chicago Press.
- [9] Elias, S., *The use of insect fossils in archaeology*. *Advances in quaternary entomology*, 2010: p. 89-121.

- [10] LANGE, C.E., Lockwood, JA 2004. *Locust. The devastating rise and mysterious disappearance of the insect that shaped the American frontier*. Basic Books, New York, 294 pages, 14 plates. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 2017. **64**(3).
- [11] Cloutier, J., *Insectes comestibles en Afrique: introduction à la collecte, au mode de preparation et à la consommation des insectes*. 2015.
- [12] virtualis, C. *Les cycles de vie des Insectes*. [cited 2020 14/11]; Available from: <https://codexvirtualis.fr/codex/cabinet-de-curiosites-virtuel/syntheses/cycles-de-vie-des-insectes>.
- [13] paresseux, J. *Quand les criquets envahissent le jardin*. 2020 [cited 2021 23/11]; Available from: <https://jardinierparesseux.com/2020/07/23/quand-les-criquets-envahissent-le-jardin/>.
- [14] Decrouy, A. *Cycle de vie du papillon*. 2019 [cited 2021 23/01]; Available from: <https://www.planeteanimal.com/cycle-de-vie-du-papillon-2913.html>.
- [15] DeFoliart, G., *Insects as food. Encyclopedia of Insect*. 431-436. Resh, VH et Cardé, RT, Academic Press.2003.
- [16] Jongema, Y. *Liste des insectes comestibles du monde (1 avril 2017)*. Département d'entomologie, Université de Wageningen.2017 [cited 2021 23/01]; Available from: <https://www.wur.nl/en/Research-Results/Chair-groups/Plant-Sciences/Laboratory-of-Entomology/Edible-insects/Worldwide-species-list.htm>.
- [17] DeFoliart, G.R., *An overview of the role of edible insects in preserving biodiversity*. *Ecology of Food and Nutrition*, 1997. **36**(2-4): p. 109-132.
- [18] Ramos Elorduy, J., *Insects: a hopeful food source*. In M.G. Paoletti, ed. *Ecological implications of minilivestock; role of rodents, frogs, snails, and insects for sustainable development*, pp. 263–291. New Hampshire, Science Publishers. 2005.
- [19] Johnson, D.V., *The contribution of edible forest insects to human nutrition and to forest management*. *Forest insects as food: Humans bite back*, 2010. **5**.

- [20] Paoletti, M.G.D., D.L, *Edible invertebrates among Amazonian Indians: a critical review of disappearing knowledge. In M.G. Paoletti, ed. Ecological implications of minilivestock; role of rodents, frogs, snails, and insects for sustainable development*, pp. 293–342. New Hampshire, Science Publishers. 2005.
- [21] Sirimungkararat, S., et al., *Edible products from eri and mulberry silkworms in Thailand. Forest insects as food: humans bite back*, 2010: p. 189.
- [22] Paoletti, M.G., *Biodiversity, traditional landscapes and agroecosystem management. Landscape and Urban Planning*, 1995. **31**(1-3): p. 117-128.
- [23] 23. C, I. *Le charançon rouge du palmier*. 2019 [cited 2021 23/11]; Available from: <https://www.gerbeaud.com/jardin/fiches/charancon-rouge-palmier,2352.html>.
- [24] Choo, J., E.L. Zent, and B.B. Simpson, *The importance of traditional ecological knowledge for palm-weevil cultivation in the Venezuelan Amazon. Journal of Ethnobiology*, 2009. **29**(1): p. 113-128.
- [25] Van der Brempt, X. and D. Moneret-Vautrin, *Le risque allergique de Tenebrio molitor pour la consommation humaine. Revue Française d'Allergologie*, 2014. **54**(1): p. 34-36.
- [26] Onyeike, E.N., E.O. Ayalogu, and C.C. Okaraonye, *Nutritive value of the larvae of raphia palm beetle (Oryctes rhinoceros) and weevil (Rhyncophorus pheonicis). Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2005. **85**(11): p. 1822-1828.
- [27] Lavalette, M., *Les insectes: une nouvelle ressource en protéines pour l'alimentation humaine*. 2013, Université de Lorraine.
- [28] *Institut central de recherche sur les cultures des plantations [CPCRI] Inde. Oryctes rhinocéros* [cited 2020 15/12]; Available from: <http://www.iucngisd.org/gisd/species.php?sc=173>.
- [29] Flood, J., *The moth hunters: Aboriginal prehistory of the Australian Alps*. 1980: Australian Institute of Aboriginal and Torres Strait Island.

- [30] Malaisse, F., *Se nourrir en foret claire africaine: approche écologique et nutritionnelle*. 1997: Presses agronomiques de Gembloux.
- [31] Van Huis, A., *Insects as food in sub-Saharan Africa*. International Journal of Tropical Insect Science, 2003. **23**(3): p. 163-185.
- [32] Latham, P., *Edible caterpillars and their food plants in Bas-Congo*. 2003: Mystole Publications.
- [33] Stack, J., et al. *Mopane worm utilisation and rural livelihoods in Southern Africa*. in *international conference on rural livelihoods, forests and biodiversity, Bonn, Germany*. 2003.
- [34] Ghazoul, J., *Mopane Woodlands and the Mopane Worm: Enhancing rural livelihoods and resource sustainability. Final Technical Report*. 2006.
- [35] 3.0, C.B.-S. *Gonimbrasia belina* [cited 2021 23/01]; Available from: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=658744>.
- [36] Lautenschläger, T., et al., *Edible insects of northern Angola*. African Invertebrates, 2017. **58**: p. 55.
- [37] Hyde, M., Wursten, BT, Ballings, P. & Coates Palgrave, M. *Flora of Zimbabwe: Détails sur les insectes: images individuelles: Cirina forda image2*. . 2021; Available from: https://www.zimbabweflora.co.zw/speciesdata/insect-image.php?insect_id=400510&image_id=2.
- [38] Stock, A. *Omphisa fuscidentalis*. [cited 2021 23/01]; Available from: https://stock.adobe.com/gr_en/search/images?k=omphisa.
- [39] DeFoliart, G.R., *Edible insects as minilivestock*. Biodiversity & conservation, 1995. **4**(3): p. 306-321.
- [40] 3.0, C.B.-S. *Cocon du ver à soie* [cited 2021 21/01]; Available from: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=18714>.
- [41] Yeo, K.L. *Chrysalides du ver à soie*. [cited 2021 21/01]; Available from: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5199191>.

- [42] Shen, L., et al., *Nutritional composition of Polyrhachis vicina Roger (Edible Chinese black ant)*. Songklanakarin Journal of Science and Technology, 2006. **28**(Suppl 1): p. 107-114.
- [43] Jaiswal, S. *Escamol*. 2018 [cited 2021 23/01]; Available from: <https://alchetron.com/Escamol#escamol-6ee43341-fa2e-49f9-992e-2d7de73d062-resize-750.jpeg>
- [44] Science, F. *Fourmi pot de miel*. [cited 2021 23/01]; Available from: <https://www.futura-sciences.com/sciences/photos/magazine-science-science-insolite-695/photos-fourmi-pot-miel-5088/>.
- [45] Nonaka, K., S. Sivilyay, and S. Boulidam, *The biodiversity of insects in Vientiane*. National Agriculture and Forestry Institute and Research Institute for Humanity and Nature. Nara, Japan, 2008.
- [46] Boullaud, R., *Thèse d'exercice*. 1988, Université de Limoges.
- [47] Bigot, P. *Les guêpes surgelées de Madagascar à l'assaut du marché réunionnais*. 2017 [cited 2021 23/01]; Available from: https://www.zinfos974.com/Les-guepes-surgelees-de-Madagascar-a-l-assaut-du-marche-reunionnais_a114653.html.
- [48] *Nid de la guêpe commune, Vespula vulgaris avec la reine*. [cited 2021 24/01]; Available from: <https://www.presqu-ile-de-crozon.com/faune/guepe-commune-001.php>.
- [49] Chen, P., et al., *Honey bees and other edible insects used as human food in Thailand*. American Entomologist, 1998. **44**(1): p. 24-29.
- [50] Atlasroutier. *Locusta migratoria*. 2012 [cited 2021 24/21]; Available from: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=20910534>.
- [51] Hornung, J. *Locusta migratoria*. 2011 [cited 2021 24/01]; Available from: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=268838>.
- [52] Cohen, J.H., n.d.m. sánchez, and f. montiel-ishino, *Chapulines and food choices in rural Oaxaca*. Gastronomica, 2009. **9**(1): p. 61-65.

- [53] A, C.F.R. *Chapuline*. 2003 [cited 2021 21/01]; Available from: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1050333>.
- [54] Yhoun-Aree, J. and K. Viwatpanich, *Edible Insects in the Laos PDR, Myanmar, Thailand, and Vietnam*. Ecological implications of minilivestock: potential of insects, rodents, frogs and snails, 2005: p. 415-440.
- [55] farm, I.c. *Acheta domesticus* [cited 2021 21/01]; Available from: <https://www.italiancricketfarm.com/product-category/grilli/>.
- [56] Yen, A., *Short-range endemism and Australian Psylloidea (Insecta: Hemiptera) in the genera Glycaspis and Acizzia (Psyllidae)*. Invertebrate Systematics, 2002. **16**(4): p. 631-639.
- [57] encyclo, C. *Cochenilles et cactus*. [cited 2021 25/01]; Available from: <https://www.cactus-encyclo.com/maladies-cactus/cochenilles/>.
- [58] COLORS, B. *Cochenille/Carmin*. [cited 2021 25/01]; Available from: <https://bioconchina.cn/fr/carmin-cochenille/>.
- [59] Huis, A.v., *Medical and stimulating properties ascribed to arthropods and their products in sub-Saharan Africa*. 2002.
- [60] Ramos-Elorduy, J. and J. Pino, *Algunos ejemplos de aprovechamiento comercial de varios insectos comestibles y medicinales*. Ent. Mex, 2006. **1**: p. 524-533.
- [61] Dzerefos, C.M., E.T.F. Witkowski, and R. Toms, *Comparative ethnoentomology of edible stinkbugs in southern Africa and sustainable management considerations*. Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine, 2013. **9**(1): p. 1-12.
- [62] Spi0n. *Une reine termite, ça ressemble à ça !* [cited 2021 25/01]; Available from: <https://www.spi0n.com/reine-termite/>.
- [63] RAMOS-ELORDUY, J., *Anthropo-entomophagy: Cultures, evolution and sustainability*. Entomological Research, 2009. **39**(5): p. 271-288.
- [64] van Huis, A., *Edible insects are the future?* Proceedings of the Nutrition Society, 2016. **75**(3): p. 294-305.

- [65] Barre, A., et al., *Entomophagie et risque allergique*. Revue Française d'Allergologie, 2014. **54**(4): p. 315-321.
- [66] Ramos-Elorduy, J., *Energy supplied by edible insects from Mexico and their nutritional and ecological importance*. Ecology of food and nutrition, 2008. **47**(3): p. 280-297.
- [67] Kellert, S.R., *Values and perceptions of invertebrates*. Conservation biology, 1993. **7**(4): p. 845-855.
- [68] Gallen, C. and G. Pantin-Sohier, *La comestibilité des insectes: étude exploratoire chez les jeunes consommateurs français*. 2015.
- [69] Gmuer, A., et al., *Effects of the degree of processing of insect ingredients in snacks on expected emotional experiences and willingness to eat*. Food quality and Preference, 2016. **54**: p. 117-127.
- [70] Looy, H., F.V. Dunkel, and J.R. Wood, *How then shall we eat? Insect-eating attitudes and sustainable foodways*. Agriculture and human values, 2014. **31**(1): p. 131-141.
- [71] (2015)., A., *AVIS de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à « la valorisation des insectes dans l'alimentation et l'état des lieux des connaissances scientifiques sur les risques sanitaires en lien avec la consommation des insectes»*.
- [72] Langlade, F., *Utilisation des insectes en alimentation humaine: situation actuelle, enjeux et perspectives*. 2019.
- [73] Caparros Megido, R., et al., *Microbiological load of edible insects found in Belgium*. Insects, 2017. **8**(1): p. 12.
- [74] Klunder, H., et al., *Microbiological aspects of processing and storage of edible insects*. Food control, 2012. **26**(2): p. 628-631.

- [75] Shamengo. *Chénille de karité à croquer*. [cited 2021 30/01]; Available from: <https://www.shamengo.com/fr/pionnier/je-fais-des-chenilles-de-karite-une-alternative-durable-a-la-viande-et-au-poisson/>.
- [76] micronutris. *Apero 250 - Tapas*. [cited 2021 30/01]; Available from: <https://www.micronutris.com/fr/boutique-en-ligne/apero-250-tapas>.
- [77] INSECTEMENTVOTRE. *Poudre de vers ténébrion*. [cited 2021 31/01]; Available from: <https://www.insectement-votre.com/fr/accueil/57-poudre-de-tenebrions-lyophilise.html>.
- [78] 78. shamengo. *Je fais des chenilles de karité une alternative durable à la viande et au poisson*. [cited 2021 30/01]; Available from: <https://www.shamengo.com/fr/pionnier/je-fais-des-chenilles-de-karite-une-alternative-durable-a-la-viande-et-au-poisson/>.
- [79] Rumpold, B.A. and O.K. Schlüter, *Nutritional composition and safety aspects of edible insects*. *Molecular nutrition & food research*, 2013. **57**(5): p. 802-823.
- [80] FS, A., T. Ofuya, and S. Akindele, *Marketability and nutritional qualities of some edible forest insects in Benue State, Nigeria*. *Pakistan Journal of Nutrition*, 2009. **8**(7): p. 917-922.
- [81] Ramos-Elorduy, J., et al., *Nutritional value of edible insects from the state of Oaxaca, Mexico*. *Journal of food composition and analysis*, 1997. **10**(2): p. 142-157.
- [82] VIDAL. *LES RECOMMANDATIONS NUTRITIONNELLES DE 18 À 75 ANS*. 2019 [cited 2021 25/01]; Available from: <https://www.vidal.fr/sante/nutrition/equilibre-alimentaire-adulte/recommandations-nutritionnelles-adulte.html#:~:text=Pour%20un%20homme%20adulte%2C%201,800%20C3%A0%202%20200%20calories>.
- [83] Bukkens, S.G., *The nutritional value of edible insects*. *Ecology of Food and Nutrition*, 1997. **36**(2-4): p. 287-319.

- [84] Ademolu, K., A. Idowu, and G. Olatunde, *Nutritional value assessment of variegated grasshopper, Zonocerus variegatus (L.) (Acridoidea: Pygomorphidae), during post-embryonic development*. African Entomology, 2010. **18**(2): p. 360-364.
- [85] Finke, M.D., G.R. DeFoliart, and N.J. Benevenga, *Use of a four-parameter logistic model to evaluate the quality of the protein from three insect species when fed to rats*. The Journal of nutrition, 1989. **119**(6): p. 864-871.
- [86] Finke, M.D., *Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores*. Zoo Biology: Published in Affiliation with the American Zoo and Aquarium Association, 2002. **21**(3): p. 269-285.
- [87] Sogbesan, A. and A. Ugwumba, *Nutritional evaluation of termite (Macrotermes subhyalinus) meal as animal protein supplements in the diets of Heterobranchus longifilis (Valenciennes, 1840) fingerlings*. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2008. **8**(1): p. 149-158.
- [88] Chen, X., Y. Feng, and Z. Chen, *Common edible insects and their utilization in China*. Entomological research, 2009. **39**(5): p. 299-303.
- [89] Joint, F., *Fats and fatty acids in human nutrition. Report of an expert consultation, 10-14 November 2008, Geneva*. 2010.
- [90] Payne, C., et al., *Are edible insects more or less 'healthy' than commonly consumed meats? A comparison using two nutrient profiling models developed to combat over- and undernutrition*. European journal of clinical nutrition, 2016. **70**(3): p. 285-291.
- [91] DeFoliart, G.R., *Insects as human food: Gene DeFoliart discusses some nutritional and economic aspects*. Crop protection, 1992. **11**(5): p. 395-399.
- [92] Bukkens, S.G., *Insects in the human diet: nutritional aspects*. Ecological implications of minilivestock: Potential of insects, rodents, frogs and snails, 2005: p. 545-577.

- [93] Van Broekhoven, S., et al., *Growth performance and feed conversion efficiency of three edible mealworm species (Coleoptera: Tenebrionidae) on diets composed of organic by-products*. Journal of insect physiology, 2015. **73**: p. 1-10.
- [94] Francardi, V., et al., *Galleria mellonella (Lepidoptera Pyralidae): an edible insect of nutraceutical interest*. REDIA, 2017.
- [95] Van Dooremalen, C. and J. Ellers, *A moderate change in temperature induces changes in fatty acid composition of storage and membrane lipids in a soil arthropod*. Journal of Insect Physiology, 2010. **56**(2): p. 178-184.
- [96] Kouřimská, L. and A. Adámková, *Nutritional and sensory quality of edible insects*. NFS journal, 2016. **4**: p. 22-26.
- [97] Yhoun-aree, J., J., in: Durst, P. B., Johnson, D. V., Leslie, R. N., Shono, K. (Eds.), *Forest Insects as Food: Humans Bite Back*, FAO, Bangkok, Thailand 2010, pp. 201–216.
- [98] Haytowitz, D., et al., *USDA national nutrient database for standard reference, release 24*. US Department of Agriculture: Washington, DC, USA, 2011.
- [99] Ekpo, K., A. Onigbinde, and I. Asia, *Pharmaceutical potentials of the oils of some popular insects consumed in southern Nigeria*. African Journal of Pharmacy and Pharmacology, 2009. **3**(2): p. 051-057.
- [100] Womeni, H.M., et al., *Oils of insects and larvae consumed in Africa: potential sources of polyunsaturated fatty acids*. Oléagineux, Corps Gras, Lipides, 2009. **16**(4-5-6): p. 230-235.
- [101] Michaelsen, K.F., et al., *Choice of foods and ingredients for moderately malnourished children 6 months to 5 years of age*. Food and nutrition bulletin, 2009. **30**(3_suppl3): p. S343-S404.
- [102] Food and A.O.o.t.U. Nations, *The state of food and agriculture 2010–2011, Women in agriculture: Closing the gender gap for development*. Rome: Food and Agricultural Organization of the United Nations, 2011.

- [103] Christensen, D.L., et al., *Entomophagy among the Luo of Kenya: a potential mineral source?* International Journal of Food Sciences and Nutrition, 2006. **57**(3-4): p. 198-203.
- [104] Longvah T , Mangthya K , Ramulu P. 2011 . *Évaluation de la composition nutritive et de la qualité des protéines des prépuces et des pupes du ver à soie eri (Samia ricinii)* . Food Chem 128 (2): 400 - 3 .
- [105] Initiatives, D. *Global Nutrition Report 2017 : Nourishing the SDGs*. Bristol, UK: Development Initiatives. 2017 [cited 2021 26/11]; Available from: http://165.227.233.32/wp-content/uploads/2017/11/Report_2017-2.pdf.
- [106] Diedhiou, B.M. and C. Jalal, *Situation actuelle des carences en micronutriments en Afrique de l'Ouest*. Mise à l'échelle de la fortification du riz en Afrique de l'Ouest: p. 11.
- [107] Tong, L., X. Yu, and H. Liu, *Insect food for astronauts: gas exchange in silkworms fed on mulberry and lettuce and the nutritional value of these insects for human consumption during deep space flights*. Bulletin of entomological research, 2011. **101**(5): p. 613.
- [108] PENNINO, M., E.S. DIERENFELD, and J.L. BEHLER, *Retinol, α -tocopherol and proximate nutrient composition of invertebrates used as feed*. International Zoo Yearbook, 1991. **30**(1): p. 143-149.
- [109] Paoletti, M.G., et al., *Human gastric juice contains chitinase that can degrade chitin*. Annals of Nutrition and Metabolism, 2007. **51**(3): p. 244-251.
- [110] Bednářová, M., M. Borkovcová, and T. Komprda, *Purine derivate content and amino acid profile in larval stages of three edible insects*. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2014. **94**(1): p. 71-76.
- [111] Pimentel, D. and M. Pimentel, *Sustainability of meat-based and plant-based diets and the environment*. The American journal of clinical nutrition, 2003. **78**(3): p. 660S-663S.

- [112] Smil, V., *Worldwide transformation of diets, burdens of meat production and opportunities for novel food proteins*. Enzyme and Microbial Technology, 2002. **30**(3): p. 305-311.
- [113] Collavo, A., Glew, R.H., Huang, Y.S., Chuang, L.T., Bosse, R. & Paoletti, M.G. 2005. *House cricket small-scale farming*. In M.G. Paoletti, ed., *Ecological implications of minilivestock: potential of insects, rodents, frogs and snails*. pp. 519–544. New Hampshire, Science Publishers.
- [114] Van Huis, A., *Potential of insects as food and feed in assuring food security*. Annual review of entomology, 2013. **58**: p. 563-583.
- [115] Pimentel, D., et al., *Water resources: agricultural and environmental issues*. Bioscience, 2004. **54**(10): p. 909-918.
- [116] Ridoutt, B.G., et al., *Water footprint of livestock: comparison of six geographically defined beef production systems*. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2012. **17**(2): p. 165-175.
- [117] *FAO. 2012b. State of the world fisheries. Rome.*
- [118] Miglietta, P.P., et al., *Mealworms for food: a water footprint perspective*. Water, 2015. **7**(11): p. 6190-6203.
- [119] Steinfeld, H., et al., *Livestock's long shadow: environmental issues and options*. 2006: Food & Agriculture Org.
- [120] Oonincx, D.G. and I.J. De Boer, *Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans—a life cycle assessment*. PloS one, 2012. **7**(12): p. e51145.
- [121] Hackstein, J.H. and C.K. Stumm, *Methane production in terrestrial arthropods*. Proc Natl Acad Sci U S A, 1994. **91**(12): p. 5441-5.
- [122] Flachowsky, G., U. Meyer, and K.-H. Südekum, *Land use for edible protein of animal origin—A review*. Animals, 2017. **7**(3): p. 25.

- [123] Eisner, T., *Chemical defense against predation in arthropods*, in *Chemical ecology*. 1970, Elsevier. p. 157-217.
- [124] Okumura, G., *A report of canthariasis and allergy caused by Trogoderma (Coleoptera: Dermestidae)*. California Vector Views, 1967. **14**(3).
- [125] Muyay, T., *Les insectes comme aliments de l'homme: Serie II, Vol. 69 Democratic Republic of the Congo*. 1981, Ceeba Publications.
- [126] Berenbaum, M., *Sequestered plant toxins and insect palatability*. The Food Insects Newsletter, 1993. **6**(3): p. 6-9.
- [127] Zagrobelny, M., et al., *Cyanogenic glucosides and plant–insect interactions*. Phytochemistry, 2004. **65**(3): p. 293-306.
- [128] Slepneva, I.A., et al., *Influence of fungal infection on the DOPA–semiquinone and DOPA–quinone production in haemolymph of Galleriamellonella larvae*. Biochemical and Biophysical Research Communications, 2003. **300**(1): p. 188-191.
- [129] Morris, B., *Insects and human life*. Berg. 2004, Oxford.
- [130] Oibiokpa, F.I., *Nutrient and antinutrient compositions of some edible insect species in Northern Nigeria*. Fountain Journal of Natural and Applied Sciences, 2017. **6**(1).
- [131] Nishimune, T., et al., *Thiamin is decomposed due to Anaphe spp. entomophagy in seasonal ataxia patients in Nigeria*. The Journal of nutrition, 2000. **130**(6): p. 1625-1628.
- [132] Kuyten, P., *Darmafsluiting veroorzaakt door het eten van kevers*. Entomol Ber, 1960. **20**: p. 143.
- [133] Bouvier, G., *Quelques questions d'entomologie vétérinaire et lutte contre certains arthropodes en Afrique tropicale*. Acta tropica, 1945. **2**(1): p. 42-59.
- [134] Houbraken, M., et al., *Pesticide contamination of Tenebrio molitor (Coleoptera: Tenebrionidae) for human consumption*. Food chemistry, 2016. **201**: p. 264-269.

- [135] Poma, G., et al., *Evaluation of hazardous chemicals in edible insects and insect-based food intended for human consumption*. Food and Chemical Toxicology, 2017. **100**: p. 70-79.
- [136] DeFoliart GR. 1999 . *L'insecte comme nourriture: pourquoi l'attitude occidentale est importante* . *Annu Rev Entomol* 44 (1): 21 - 50 .
- [137] Saeed, T., F.A. Dagga, and M. Saraf, *Analysis of residual pesticides present in edible locusts captured in Kuwait*. Arab Gulf Journal of Scientific Research, 1993. **11**(1): p. 1-5.
- [138] Vijver, M., et al., *Metal uptake from soils and soil–sediment mixtures by larvae of *Tenebrio molitor* (L.)(Coleoptera)*. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2003. **54**(3): p. 277-289.
- [139] Moriarty, M.M., et al., *Arsenic speciation of terrestrial invertebrates*. Environmental Science & Technology, 2009. **43**(13): p. 4818-4823.
- [140] Van der Fels-Klerx, H., et al., *Uptake of cadmium, lead and arsenic by *Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens* from contaminated substrates*. PLoS One, 2016. **11**(11): p. e0166186.
- [141] Cappellozza, S., et al., *Identification of *Enterococcus mundtii* as a pathogenic agent involved in the “flacherie” disease in *Bombyx mori* L. larvae reared on artificial diet*. Journal of invertebrate pathology, 2011. **106**(3): p. 386-393.
- [142] Schlüter, O., et al., *Safety aspects of the production of foods and food ingredients from insects*. Molecular nutrition & food research, 2017. **61**(6): p. 1600520.
- [143] Vega, F.E. and H.K. Kaya, *Insect pathology*. 2012: Academic press.
- [144] Testa, M., et al., *Ugly but tasty: A systematic review of possible human and animal health risks related to entomophagy*. Critical reviews in food science and nutrition, 2017. **57**(17): p. 3747-3759.

- [145] Megido, R.C., et al., *Effect of household cooking techniques on the microbiological load and the nutritional quality of mealworms (Tenebrio molitor L. 1758)*. Food research international, 2018. **106**: p. 503-508.
- [146] Wynants, E., et al., *Effect of post-harvest starvation and rinsing on the microbial numbers and the bacterial community composition of mealworm larvae (Tenebrio molitor)*. Innovative food science & emerging technologies, 2017. **42**: p. 8-15.
- [147] Vandeweyer, D., et al., *Microbial counts of mealworm larvae (Tenebrio molitor) and crickets (Acheta domesticus and Gryllodes sigillatus) from different rearing companies and different production batches*. International journal of food microbiology, 2017. **242**: p. 13-18.
- [148] Wynants, E., et al., *Microbial dynamics during production of lesser mealworms (Alphitobius diaperinus) for human consumption at industrial scale*. Food Microbiology, 2018. **70**: p. 181-191.
- [149] Grabowski, N.T. and G. Klein, *Microbiology of cooked and dried edible Mediterranean field crickets (Gryllus bimaculatus) and superworms (Zophobas atratus) submitted to four different heating treatments*. Food Science and Technology International, 2017. **23**(1): p. 17-23.
- [150] Stoops, J., et al., *Microbial community assessment of mealworm larvae (Tenebrio molitor) and grasshoppers (Locusta migratoria migratorioides) sold for human consumption*. Food Microbiology, 2016. **53**: p. 122-127.
- [151] Vandeweyer, D., et al., *Metagenetic analysis of the bacterial communities of edible insects from diverse production cycles at industrial rearing companies*. International journal of food microbiology, 2017. **261**: p. 11-18.
- [152] Banjo, A., O. Lawal, and A. Adeyemi, *The microbial fauna associated with the larvae of Oryctes monocerus*. Journal of Applied Sciences Research, 2006. **2**(11): p. 837-843.

- [153] Vandeweyer, D., et al., *Effect of blanching followed by refrigerated storage or industrial microwave drying on the microbial load of yellow mealworm larvae (Tenebrio molitor)*. Food Control, 2017. **71**: p. 311-314.
- [154] SIMPANYA, M.F., J. ALLOTEY, and S.F. MPUCHANE, *A mycological investigation of phane, an edible caterpillar of an emperor moth, Imbrasia belina*. Journal of food protection, 2000. **63**(1): p. 137-140.
- [155] Mpuchane, S., H. Taligoola, and B. Gashe, *Fungi associated with Imbrasia belina, an edible caterpillar*. Botswana Notes and Records, 1996: p. 193-197.
- [156] Musundire, R., et al., *Aflatoxin contamination detected in nutrient and anti-oxidant rich edible stink bug stored in recycled grain containers*. PloS one, 2016. **11**(1): p. e0145914.
- [157] Chai, J.-Y., et al., *Foodborne intestinal flukes in Southeast Asia*. The Korean journal of parasitology, 2009. **47**(Suppl): p. S69.
- [158] Yu, S.-H., K.E. Mott, and W.H. Organization, *Epidemiology and morbidity of food-borne intestinal trematode infections*. 1994, World Health Organization.
- [159] Wilson, M.E., et al., *Gongylophora infection of the mouth in a resident of Cambridge, Massachusetts*. Clinical Infectious Diseases, 2001. **32**(9): p. 1378-1380.
- [160] Graczyk, T.K., R. Knight, and L. Tamang, *Mechanical transmission of human protozoan parasites by insects*. Clinical microbiology reviews, 2005. **18**(1): p. 128-132.
- [161] Wallace, G.D., *Experimental transmission of Toxoplasma gondii by filth-flies*. The American journal of tropical medicine and hygiene, 1971. **20**(3): p. 411-413.
- [162] Committee, E.S., *Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed*. EFSA journal, 2015. **13**(10): p. 4257.
- [163] Post, K., et al., *Fly larvae and pupae as vectors for scrapie*. The Lancet, 1999. **354**(9194): p. 1969-1970.

- [164] Lupi, O., *Could ectoparasites act as vectors for prion diseases?* International journal of dermatology, 2003. **42**(6): p. 425-429.
- [165] de Gier, S. and K. Verhoeckx, *Insect (food) allergy and allergens.* Molecular immunology, 2018. **100**: p. 82-106.
- [166] Ji, K., et al., *Anaphylactic shock caused by silkworm pupa consumption in China.* Allergy, 2008. **63**(10): p. 1407-1408.
- [167] Yew, K.L. and V.S.L. Kok, *Exotic food anaphylaxis and the broken heart: sago worm and takotsubo cardiomyopathy.* Med J Malaysia, 2012. **67**(5): p. 540-541.
- [168] Choi, G., et al., *Five cases of food allergy to vegetable worm (Cordyceps sinensis) showing cross-reactivity with silkworm pupae.* Allergy, 2010. **65**(9): p. 1196-1197.
- [169] Barre, A., et al., *Les grandes familles d'allergènes communes aux arthropodes (acariens, insectes, crustacés), mollusques et nématodes.* Revue Française d'Allergologie, 2017. **57**(3): p. 231.
- [170] Van Broekhoven, S., et al., *Influence of processing and in vitro digestion on the allergic cross-reactivity of three mealworm species.* Food chemistry, 2016. **196**: p. 1075-1083.
- [171] Verhoeckx, K.C., et al., *House dust mite (Der p 10) and crustacean allergic patients may react to food containing Yellow mealworm proteins.* Food and Chemical Toxicology, 2014. **65**: p. 364-373.
- [172] Muzzarelli, R.A., *Chitins and chitosans as immunoadjuvants and non-allergenic drug carriers.* Marine drugs, 2010. **8**(2): p. 292-312.
- [173] Lee, K., S. Simpson, and K. Wilson, *Dietary protein-quality influences melanization and immune function in an insect.* Functional Ecology, 2008. **22**(6): p. 1052-1061.
- [174] Phillips, J. and W. Burkholder, *Allergies related to food insect production and consumption.* The Food Insects Newsletter, 1995. **8**(2): p. 1-2.
- [175] Broekman, H., et al., *Effect of thermal processing on mealworm allergenicity.* Molecular nutrition & food research, 2015. **59**(9): p. 1855-1864.
- [176] Hall, F., P.E. Johnson, and A. Liceaga, *Effect of enzymatic hydrolysis on bioactive properties and allergenicity of cricket (Gryllobates sigillatus) protein.* Food chemistry, 2018. **262**: p. 39-47.



Serment de Galien

Je jure en présence des maîtres de cette faculté :

- *D'honorer ceux qui m'ont instruit dans les préceptes de mon art et de leur témoigner ma reconnaissance en restant fidèle à leur enseignement.*
- *D'exercer ma profession avec conscience, dans l'intérêt de la santé publique, sans jamais oublier ma responsabilité et mes devoirs envers le malade et sa dignité humaine.*
- *D'être fidèle dans l'exercice de la pharmacie à la législation en vigueur, aux règles de l'honneur, de la probité et du désintéressement.*
- *De ne dévoiler à personne les secrets qui m'auraient été confiés ou dont j'aurais eu connaissance dans l'exercice de ma profession, de ne jamais consentir à utiliser mes connaissances et mon état pour corrompre les mœurs et favoriser les actes criminels.*
- *Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses, que je sois méprisée de mes confrères si je manquais à mes engagements.*

جامعة محمد الخامس
كلية الطب والصيدلة
- الرباط -

قسم الصيدلي

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وَأَحْسِنُ بِاللَّذِينَ وَالْعَظِيمِ



- ◀ أن أراقب الله في مهنتي
- ◀ أن أبجل أساتذتي الذين تعلمت على أيديهم مبادئ مهنتي وأعترف لهم بالجميل وأبقى دوما وفيما لتعاليمهم.
- ◀ أن أزاول مهنتي بوازع من ضميري لما فيه صالح الصحة العمومية، وأن لا أقصر أبدا في مسؤوليتي وواجباتي تجاه المريض وكرامته الإنسانية.
- ◀ أن ألتزم أثناء ممارستي للصيدلة بالقوانين المعمول بها وبأدب السلوك والشرف، وكذا بالاستقامة والترفع.
- ◀ أن لا أفشي الأسرار التي قد تعهد إلى أو التي قد أطلع عليها أثناء القيام بمهامي، وأن لا أوافق على استعمال معلوماتي لإفساد الأخلاق أو تشجيع الأعمال الإجرامية.
- ◀ لأحظى بتقدير الناس إن أنا تقيدت بعهودي، أو أحتقر من طرف زملائي إن أنا لم أف بالتزاماتي.

والله على ما أقول شهيد "



المملكة المغربية
جامعة محمد الخامس بالرباط
كلية الطب والصيدلة
الرباط



سنة : 2021 أطروحة رقم: 54

أكل الحشرات ومخاطره الصحية

أطروحة

قدمت ونوقشت علانية يوم : 2021//

من طرف

السيد سيسوما أبو

المزداد في 04 يناير 1992 بنيامبرلا

صيدلاني داخلي بالمركز الاستشفائي الجامعي ابن سينا بالرباط

لنيل شهادة

دكتور في الصيدلة

الكلمات الأساسية: أكل الحشرات؛ حشرات؛ تغذية؛ مخاطر

أعضاء لجنة التحكيم:

السيد ميمون زوهدي

أستاذ في علم الأحياء الدقيقة

السيدة مريم الشادلي

أستاذة في علم الأحياء الدقيقة

السيد أحمد كاوي

أستاذ في طب الأطفال

السيدة سعيدة طلال

أستاذة في الكيمياء الحيوية

السيدة حفيفة الناي

أستاذة في علم الطفيليات والفطريات

رئيس

مشرف

عضو

عضو

عضو