

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université M'Hamed Bougara Boumerdes
Faculté des Sciences-Département de Biologie



Mémoire de projet de fin d'études
En vue de l'obtention du Diplôme de Master Académique en Biologie.
Filière Biotechnologie
Spécialité: Biotechnologie Microbienne.

Thème

**Contribution à la caractérisation microbiologique d'une farine
issue de deux espèces d'insectes.
(*Shistocerca gregaria* et *Locusta migratoria*)**

Réalisé par :

M^{elle} Chaouche Siham

M^{elle} Aissat Sonia

M^{elle} Bouazoune Haoua

Devant le jury composé de :

Présidente : BELAID Messaouda

Examinatrice : YOUYOU Soraya

Promotrice : ACHEUK Fatma

Co promotrice : TEBIB Nacira

Professeur

MCB

Professeur

Doctorante

UMBB

UMBB

UMBB

UMBB

Année universitaire 2020-2021

Remerciements

*Avant tout nous remercions dieu « **ALLAH** » tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience afin de pouvoir sortir ce fruit de cinq années d'étude et de diligence*

*Nous tenons à remercier Madame **Acheuk Fatma** notre promotrice de nous avoir mis et encadrer sur cette thématique de recherche.*

*Nous tenons à témoigner Madame **Tebib Nacera** nos plus sincères reconnaissances et remerciements pour tous ses conseils, ses suggestions, ses orientations, ses efforts fournis et sa disponibilité tout au long de la période de réalisation de ce modeste travail.*

Nous exprimons nos remerciements et notre profonde gratitude à Mme Belaid d'avoir bien voulu présider le jury et juger ce travail ainsi qu'à Mme Youyou d'avoir accepté d'évaluer ce travail.

Nous adressons nos remerciements les plus sincères à toutes les personnes qui nous ont permis d'évoluer dans la réflexion et l'élaboration de ce travail.

Enfin, à nos parents pour leur soutien constant et leurs encouragements

Merci à tous

Dédicace

Je dédie ce travail

*À mes très chers parents, **YAHIA** et **FATIHA**, qui ont toujours été là pour moi. Pour tous leurs sacrifices, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études ; que dieu les préserve*

*À mes sœurs **NARIMANE** et **TIHINANE**, et mes frères **YASSINE**, **AGHILAS** et **MOUNIR**, et toute ma famille pour leurs encouragements*

*À mon neveu **ZAKI** et ma nièce **YASMINE***

*À mon trinôme **SIHAM** et **HAOUA** avec lesquelles j'ai pris beaucoup de plaisir à travailler*

*À tous mes amis et en particulier **SIHAM**, **SOUMIA** et **ROMAISSA** pour leurs encouragements permanents et leur soutien.*

Et enfin pour moi même, pour mes efforts et ma patience tout au long de mes études.

Sonia

Dédicace

Je dédie ce travail

*À ma très chère mère **MALIKA**, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.*

*À mon père **SAID**, que dieu l'accueille dans ses vastes paradis.*

*À la source de mes efforts, ma grand-mère **DAHIA** que j'adore.*

*À la mémoire de mon grand père **MOHAMED** que dieu lui garde dans son vaste paradis.*

*À ma chère sœur **LILIA** pour son encouragement indéfectible, je lui souhaite une vie pleine du bonheur et de succès.*

*À toute ma famille en particulier mon oncle **MADJID** et sa femme **SABIHA** et ses enfants **NADA**, **WANIS**, **MOMOH** et **ILYASSE**, puisse Dieu vous donner santé, bonheur, courage et surtout réussite.*

*À mon trinôme **SONIA**, **HAOUA** et mes amis **KAMILIA**, **SARA**, **MONY** et **LAMIA** pour le soutien et la patience afin de terminer ce travail.*

*Sans oublier mon fiancé **BELKACEM** l'homme qui était toujours près de moi, je te souhaite un avenir plein de bonheur et de réussite.*

Siham

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

À mes chers parents que dieu les préserve.

À la plus belle créature que dieu a créée sur terre, À cette source de tendresse, de patience et de générosité. À ma mère.

À mon très cher père

Celui qui a toujours garni mes chemins avec force et lumière, celui qui a combattu tout sa vie pour me procurer tout ce dont j'avais besoin. Un grand merci cher papa.

À mes chers frères

*Pour leurs aide précieuse et leurs encouragements durant toute ma vie « **AMINE, MOHAMED, ABDELAZIZ et ABDELGHANI** »*

*À mon grand-père « **AMAR** » et ma grand-mère « **TASSADIT** »*

*À mes oncles et tantes chacune son nom surtout « **DJAMILA, HAYAT, SAADIA et RABIAA** »*

*À mes cousines « **SAFIA, RYMA, IMANE et LOUBNA** »*

*À mes amies « **KHADIDJA, MANEL, FAIRUZ et SAFIA** »*

*Sans oublier mon trinôme **Siham et Sonia** pour leur soutien, leur patience et leur compréhension tout au long de ce travail.*

À mes chers professeurs et maitres du primaire jusqu'aux études supérieurs.

Enfin à toutes les personnes qui comptent pour moi intervenues dans ma vie à un moment ou à un autre. Et qui m'ont accompagné et tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer.

Haoua

Tables des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction.....01

Partie bibliographique

Chapitre I : Insectes comestibles et entomophagie

I.1	Généralités sur les insectes.....	03
I.1.1	Définition et origine.....	03
I.1.2	Place des insectes dans le règne animal.....	03
I.1.3	Importance des insectes.....	03
I.2	Données sur les insectes comestibles.....	05
I.2.1	Insectes comestibles.....	05
I.2.2	Entomophagie.....	05
I.2.3	Historique de l'entomophagie.....	05
I.2.4	Répartition mondiale et régionale de l'entomophagie.....	06
I.2.5	Principaux ordres d'insectes consommés.....	07
I.2.5.1	Ordre des Coléoptères.....	08
I.2.5.2	Ordre des Lépidoptères.....	10
I.2.5.3	Ordre des Hyménoptères.....	11
I.2.5.4	Ordre des Orthoptères.....	11
I.2.5.5	Ordre des Hémiptères.....	13
I.2.5.6	Ordre des Isoptères.....	13
I.2.5.7	Ordre des Diptères.....	14
I.2.5.8	Ordre des Odonatoptères.....	15
I.3	Avantages d'utilisation des insectes dans l'alimentation humaine et animale.....	16
I.3.1	Santé.....	16
I.3.2	Environnement.....	16
I.3.3	Moyens de subsistances (facteurs sociaux et économiques).....	18
I.4	Valeur nutritionnelle des insectes comestibles pour l'alimentation humaine et animale.....	19
I.4.1	Apports énergétiques alimentaires.....	19
I.4.2	Apport en protéines et acides aminés.....	20
I.4.3	Apport en vitamine.....	21
I.4.4	Apport lipidique.....	22
I.4.5	Apport glucidique.....	23
I.4.6	Apport en fibre.....	24

I.4.7	Apport en minéraux.....	24
I.5	Risques liés à la consommation d'insectes comestibles.....	25
I.5.1	Risques allergènes.....	25
I.5.2	Risques microbiologiques.....	25
I.5.3	Risques toxicologiques.....	26
I.5.4	Risques physiques.....	27
I.5.5	Risques chimiques.....	27
I.5.6	Risque parasitaires.....	27
I.6	Transformation des insectes.....	28

Chapitre II : Présentation des deux espèces étudiées

II.1	Classification des deux espèces utilisées dans cette étude.....	29
II.1.1	<i>Schistocerca gregaria</i>	29
II.1.2	<i>Locusta migratoria</i>	29
II.2	Répartition géographique.....	30
II.2.1	Dans le monde.....	30
II.2.2	En Algérie.....	31
II.3	Critères de choix des deux espèces.....	32
II.3.1	Taille.....	32
II.3.2	Elevage peu couteux.....	33
II.3.3	Régime alimentaire.....	33
II.3.4	Dangerosité.....	33
II.3.5	Potentiel de reproduction.....	33
II.3.6	Cycle biologique.....	34
II.3.7	Tradition de consommation des deux espèces en Algérie.....	36

Partie expérimentale

Chapitre III : Matériel et méthode

III.1	Matériel biologique.....	37
III.1.1	Insectes.....	37
III.1.2	Substrat alimentaire.....	37
III.2	Matériel non biologique.....	37
III.2.1	Matériels d'élevage.....	37
III.2.2	Milieux de cultures et matériels de laboratoire.....	38
III.3	Elevage des deux espèces acridiennes (<i>Schistocerca gregaria</i> et <i>Locusta migratoria</i>).....	38
III.3.1	Température.....	38
III.3.2	Humidité.....	38
III.3.3	Eclairage.....	38
III.3.4	Régime alimentaire.....	39
III.3.5	Déroulement de l'élevage.....	39

III.4 Préparation des échantillons.....	39
III.5 Détermination de la teneur en matière sèche (MS).....	41
III.6 Analyses microbiologiques.....	42
III.6.1 Protocole.....	42
III.6.2 Préparation de la solution mère.....	44
III.6.3 Préparation des dilutions décimales.....	44
III.6.4 Recherche et dénombrement des germes aérobies mésophiles.....	44
III.6.5 Recherche et dénombrement des levures et moisissures.....	45
III.6.6 Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux.....	46
III.6.7 Recherche et dénombrement de <i>Staphylococcus aureus</i>	47
III.6.8 Recherche des salmonelles.....	47
III.6.9 Recherche et dénombrement des <i>Clostridium Sulfito-Réducteurs</i>	48
III.6.10 Expression des résultats	49
III.7 Analyses statistiques.....	50

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV.1 Résultats d'élevage des deux espèces acridiennes (<i>Schistocerca gregaria</i> et <i>Locusta migratoria</i>).....	51
IV.2 Résultats de la détermination de la matière sèche (MS).....	51
IV.3 Résultats d'analyses microbiologiques.....	53
IV.4 Analyses des statistiques.....	58
IV.4.1 Analyses microbiologiques.....	58
IV.4.1.1 Critères d'hygiène des procédées	58
IV.4.1.2 Flore Mésophile Aérobie.....	59
IV.4.1.3 Levures.....	61
IV.4.1.4 Moisissures.....	62
IV.4.1.5 Anaérobies sulfito-réducteurs (ASR).....	64
IV.5 Discussion.....	68
Conclusion et Perspective	71

Références bibliographiques.

Annexes.

Résumé.

Liste des figures

Figure 01 : Répartition géographique des espèces d'insectes comestibles, par pays...	7
Figure 02 : Répartition des insectes les plus consommés par l'homme.....	8
Figure 03 : <i>Tenebrio molitor</i> adulte (à gauche), Larve de <i>Tenebrio molitor</i> (à droite)	8
Figure 04 : Charançon rouge du palmier.....	9
Figure 05 : Larve de <i>Rhyncophorus ferrugineus</i> , vue ventral et dorsal.....	9
Figure 06 : Scarabée adulte.....	10
Figure 07 : Larve d' <i>Oryctes rhinoceros</i>	10
Figure 08 : Chenilles <i>Imbrasia oyemensis</i> sur des feuilles de sapelli, son arbre hôte.....	11
Figure 09 : <i>Acheta domesticus</i>	12
Figure 10 : <i>Locusta migratoria</i>	12
Figure 11 : Photo de chapulines grillé sur un marché mexicain.....	13
Figure 12 : Termite sexuée ailée <i>Reticulitermes lucifugus</i>	13
Figure 13 : Larve de <i>Musca domestica</i>	14
Figure 14 : <i>Hermetia illucens</i> adulte.....	14
Figure 15 : Œufs d' <i>Hermetia illucens</i> (à gauche). Vue ventrale des six premiers stades larvaires d' <i>Hermetia illucens</i> (à droite).....	15
Figure 16 : Larve de <i>Sympetrum meridionale</i> (à gauche) et <i>Lestes Macrostigma</i> (à droite).....	15
Figure 17 : Rejets de gaz à effet de serre (dioxyde de carbone, méthane, oxyde nitreux et ammoniac) en g/kg de masse corporelle par jour.....	17
Figure 18 : Conversion de 10 kg d'aliments végétaux en poids de l'animal.....	17

Figure 19 : Impact écologique pour produire un kilo de viande.....	18
Figure 20 : Teneur en protéines de classes ou d'espèces d'insectes par rapport au bœuf.....	21
Figure 21 : Criquet pèlerin au Kenya.....	29
Figure 22 : Criquet migrateur.....	29
Figure 23 : Distribution géographique de <i>schistocerca gregaria</i> dans le monde.....	30
Figure 24 : Distribution géographique des sous-espèces de <i>Locusta migratoria</i> dans le monde.....	31
Figure 25 : Distribution générale de <i>Locusta migratoria</i> en Algérie.....	31
Figure 26 : Répartition des populations du Criquet pèlerin dans le Sahara algérien (état solitaire et transiens).....	32
Figure 27 : Cycle biologique du criquet pèlerin.....	35
Figure 28 : Cycle biologique de criquet migrateur.....	35
Figure 29 : Les cages utilisés dans l'élevage de <i>Schistocerca gregaria</i> et <i>Locusta migratoria</i>	38
Figure 30 : Les individus de <i>Schistocerca gregaria</i> après séchage et stockage dans des sacs en plastiques stériles (A, B).....	40
Figure 31 : Farine de <i>Schistocerca gregaria</i> obtenue après broyage.....	41
Figure 32 : Les individus des deux espèces acridiennes <i>Schistocerca gregaria</i> (A1 Larves, A2 Adultes) et <i>Locusta migratoria</i> (B1 larves, B2 Adultes) issus d'élevage au laboratoire sur les deux régimes.....	51
Figure 33 : Test U de Mann Whitney pour échantillons indépendants pour la teneur en matière sèche entre les deux espèces et les deux régimes.....	52

Liste des tableaux et annexes

Tableau 01 : Teneur calorique (kcal) pour 100g de matière fraîche de différents insectes.....	19
Tableau 02 : Quantité de vitamine dans 100g de poids sec de différents insectes comparé aux apports journaliers recommandés.....	22
Tableau 03 : Comparaison de la teneur en matières grasses de viandes et d'insectes.....	23
Tableau 04 : Doses journalières recommandées de minéraux essentiels comparées aux teneurs constatées chez la Chenille mopane.....	24
Tableau 05 : Nombre moyen de pontes dans des conditions favorables.....	33
Tableau 06 : Caractéristiques du cycle biologique du Criquet pèlerin.....	34
Tableau 07 : Protocole d'analyse microbiologique.....	43
Tableau 08 : Résultats de la détermination de la matière sèche de deux espèces d'insectes comestibles (<i>Schistocerca gregaria</i> et <i>Locusta migratoria</i>).....	52
Tableau 09 : Charge microbienne de la farine stockées de <i>Schistocerca gregaria</i> et <i>Locusta migratoria</i>	53
Tableau 10 : Charge microbienne de la farine fraîche de <i>Schistocerca gregaria</i> et <i>Locusta migratoria</i>	56
Tableau 11 : Statistiques descriptives des analyses microbiologiques de tous les échantillons (N= 24) utilisés dans l'étude exprimés en log ufc/g et les seuils des critères d'hygiène.....	59
Tableau 12 : Statistiques descriptives de la FAMT dans les différents groupes d'études.....	60
Tableau 13 : Test t de Student comparant les moyennes de la FAMT dans les différents groupes d'études.....	60

Tableau 14 : Statistiques descriptives des levures dans les différents groupes d'études.....	61
Tableau 15 : Test t de Student comparant les moyennes des levures dans les différents groupes d'études.....	62
Tableau 16 : Statistiques descriptives des moisissures dans les différents groupes d'études.....	63
Tableau 17 : Test t de Student comparant les moyennes des moisissures dans les différents groupes d'études.....	63
Tableau 18 : Statistiques descriptives des ASR dans les différents groupes d'études.....	64
Tableau 19 : Test t de Student comparant les moyennes des ASR dans les différents groupes d'études.....	65
Tableau 20 : Test de Kruskal Wallis pour le groupe ESPECES.....	66
Tableau 21 : Test de Kruskal Wallis pour le groupe REGIMES.....	67
Tableau 22 : Test de Kruskal Wallis pour le groupe STOCKAGE.....	68
Annexe 1 : Milieux de cultures et matériels de laboratoire utilisés durant la partie expérimentale	
Annexe 2 : Milieux de culture	
Annexe 3 : Matériels de laboratoire utilisés durant la partie expérimentale	

Liste des abréviations

% : Pour cent.

ANSES : Agence Nationale de Sécurité Sanitaire.

AJR : Apports journalières recommandées de l'alimentation, de l'environnement et du travail.

ASR : les anaérobies sulfite-réducteurs

BCPL : Bouillon lactosé au pourpre de bromocrésol.

BGN : Bacilles Gram Négatifs.

BLMT : Bouillon Lactose Mannitolé Tamponné.

C° : degré Celsius.

OPIE : L'Office pour les insectes et leur environnement.

EPPO : Organisation européenne et méditerranéenne pour la protection des plantes.

EFSA : Autorité européenne de sécurité des aliments.

EPI : Eau peptonée exempte d'indole.

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.

FAMT : flore Aérobie Mésophiles Totale.

g : gramme.

GES : Gaz à Effet de Serre.

GAM : Germes Aérobies Mésophiles.

h : Heure.

ISO : Organisation Internationale de Normalisation

JC : Jésus-Christ.

Kcal : kilocalorie.

Kg : kilogramme.

Log : Logarithme.

mg : Milligramme.

mL : Millilitre.

min : Minute.

mm : Millimètre.

MS : Matière Sèche.

PCA : Plate Count Agar.

SFB : Bouillon au sélénite de sodium.

UFC : Unité Formant Colonie.

VF : Gélose viande foie.

µg: Microgramme.

Introduction

Introduction

Introduction

D'ici 2050, la population mondiale devrait atteindre ou dépasser les 9 milliards d'habitants et la demande mondiale de denrées alimentaires notamment en protéines d'origine animale, d'aliments pour animaux et de fibres devrait augmenter de 70 % (FAO, 2009). Pour nourrir cette population croissante avec des consommateurs plus exigeants, la production alimentaire actuelle devra presque doubler. Cela exercera inévitablement une forte pression sur des ressources déjà limitées telles que la terre cultivable, les océans, les engrais, l'eau et l'énergie. Si la production agricole reste dans sa forme actuelle, l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre (GES) ainsi que la déforestation et la dégradation de l'environnement se poursuivront. Ces problèmes environnementaux, en particulier ceux liés à l'élevage, nécessitent une attention urgente.

Selon la FAO (2013) le nombre de personnes sous-alimentées dans le monde est en augmentation. Les estimations sont passées de 777 millions de personnes en 2015, à 815 millions en 2016. Cette augmentation serait notamment reliée à la présence de conflits armés, comme au Yémen, en Somalie ou au Nigéria. La famine peut aussi être couplée à la sécheresse des territoires et aux perturbations climatiques. Ce sont les régions rurales des pays touchés par ce type de crises qui sont le plus à risque de souffrir d'un manque de ressources alimentaires.

Pour répondre aux problèmes de la sécurité alimentaire humaine et animale et la durabilité environnementale de la production alimentaire, de nouveaux moyens doivent être trouvés afin d'augmenter les rendements tout en préservant la qualité des aliments, les habitats naturels et la biodiversité (Belluco *et al.*, 2013).

Les insectes présentent un grand potentiel pour l'alimentation humaine et animale en tant que choix respectueux de l'environnement dans les futurs systèmes alimentaires (Akhtar et Isman, 2018).

Les insectes comestibles sont considérés comme des aliments traditionnels dans plus de 100 pays d'Asie, d'Afrique et d'Amérique du Sud. En dehors de cet aspect traditionnel, les insectes comestibles suscitent de plus en plus d'intérêt en tant

que sources de nourriture alternatives pour l'augmentation de la population mondiale. Ils fournissent des quantités de protéines, de graisses, de vitamines et de minéraux comparables à

Introduction

celles de la viande. Bien que les études sur la durabilité environnementale de l'élevage d'insectes soient encore peu nombreuses, il est généralement reconnu leurs besoins limités en terres et leurs émissions réduites de gaz à effet de serre (Baiano, 2020).

Outre tous les ingrédients nutritionnellement bénéfiques de l'approvisionnement en insectes comestibles, des précautions doivent être prises en ce qui concerne les facteurs de risque endogènes et exogènes des insectes (comestibles). Tout comme cela s'applique aux produits alimentaires d'origine végétale et animale, certains insectes ne sont pas comestibles ou ne peuvent pas être consommés sans danger (Yen *et al.*, 2010).

Le travail se fixe comme objectif global d'identifier les risques liés à la consommation humaine et animale des insectes et l'étude de la qualité microbiologique de la farine produite à partir d'insectes. Ce travail est donc une contribution à la caractérisation microbiologique d'une farine de deux espèces d'insectes : *Schistocerca gregaria* et *Locusta migratoria* élevées sur deux régimes alimentaires différents. Les farines sont analysées à l'état frais et après stockage. Les résultats de cette étude contribueront à répondre en partie aux problématiques que pourra poser la consommation d'insectes à la sécurité alimentaire humaine et animale dans l'avenir.

Ce manuscrit est divisé en trois chapitres :

- Le premier chapitre consiste en une recherche bibliographique sur les insectes comestibles et l'entomophagie.
- Le deuxième chapitre met en évidence le matériel utilisé et les méthodes suivies lors de la réalisation de cette étude. Les méthodes du contrôle microbiologique des deux farines d'insectes ont été mises en évidence à l'état frais et après stockage.
- Le troisième chapitre présente et discute les résultats obtenus suivi par une conclusion qui fait une synthèse claire des principaux apports du mémoire en termes de méthodologie proposées et des résultats produits pour la sécurité alimentaire humaine et animale.

Partie bibliographique

*Chapitre I : Insectes comestibles et
entomophagie*

I.1 Généralités sur les insectes

Apparus depuis plus de 400 millions d'années, d'après Purvis et Hector (2000), les insectes (Classe : Insecta) représentent les 2/3 de la diversité spécifique estimée à l'échelle de la planète. Aujourd'hui on compte 1 million espèces décrites et 5,5 millions d'espèces estimées (Stork, 2009 ; Stork *et al.*, 2015) réparties en 24 ordres, les plus diversifiés étant les Coléoptères, les Diptères, les Lépidoptères et les Hyménoptères (Stork, 2009). A ceci nous pouvons ajouter le fait qu'il s'agit des organismes les plus abondants et importants en termes de biomasse du règne animal (Pyle *et al.*, 1981 ; Wilson, 1987 ; Kim, 1993). Face à cette diversité et abondance incroyable, Wilson (1987) désigne ainsi les insectes : « The little things that run the world » : Les petites choses qui dirigent le monde.

I.1.1 Définition et origine

Le mot «insecte» vient du latin *insectum*, qui veut dire «avec un corps entaillé ou divisé», littéralement «coupé en tranches», du fait que le corps des insectes est divisé en trois parties. Pline l'ancien a créé le mot en traduisant le mot grec *entomos* ou insecte (que l'on retrouve dans «entomologie», qui était le terme par lequel Aristote désignait cette classe du vivant) qui fait aussi référence à leur corps «entaillé». En français, le mot «insecte» est noté pour la première fois (selon Bordas dictionnaire) en 1542, trois ans après l'Ordonnance de Villers-Cotterêts (qui imposait la langue française au lieu du latin pour les textes officiels). En anglais, le mot «insect» est noté pour la première fois en 1601 dans la traduction de Pline par Holland (Harpe *et al.*, 2001).

I.1.2 Place des insectes dans le règne animal

Les insectes font partie du règne animal et appartiennent à l'embranchement des arthropodes. Cet embranchement regroupe des animaux invertébrés dont le corps est composé de métamères et dont les appendices sont articulés (d'où le nom Arthropode : qui provient du grec *arthron* qui signifie articulation, et de *podos* qui veut dire pied). Parmi les arthropodes, ceux qui comptent 3 paires de pattes forment la classe des insectes.

I.1.3 Importance des insectes

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

En premier lieu, les insectes jouent un rôle majeur dans la reproduction des plantes. En effet, 98 % des espèces pollinisatrices sont des insectes. De plus, 96 % des espèces de plantes à fleurs dépendent des pollinisateurs pour leur reproduction dont les trois quarts des principales espèces cultivées pour l'alimentation humaine (Ingram *et al.*, 1998). L'importance primordiale du rôle de pollinisateurs des insectes dans l'alimentation mondiale est incontestée ainsi que pour la préservation de la nature en général (van- Huis, 2014).

En second lieu, les insectes rendent également un service primordial dans la dégradation biologique des déchets organiques d'origine humaine ou non. Les insectes (larves ou adultes) détruisent les matières végétales ou animales mortes ainsi que leurs déjections. Ils dégradent la matière organique jusqu'à ce qu'elle puisse être utilisée, par la suite, par les champignons et les bactéries. Ceux-ci vont la réduire à l'état de minéraux et d'éléments nutritifs qui seront facilement assimilables par les plantes. Cette bioconversion est à l'origine de la formation de l'humus et permet d'améliorer la fertilité des sols (Ingram *et al.*, 1998).

En utilisant le même principe, certains insectes peuvent être utilisés contre certaines espèces invasives végétales. Par exemple, des charançons australiens ont été utilisés pour lutter contre l'invasion des jacinthes d'eau dans le lac Victoria (Wilson JRU *et al.*, 2007).

De plus, ils fournissent un grand nombre de produits de valeur, tels que le miel, la soie ou le carmin rouge (colorant rouge textile, alimentaire et pharmaceutique produit par une cochenille). Ils peuvent aussi être utilisés comme outils médicaux comme l'asticothérapie à des fins de cicatrisation, ou la résiline, extraite d'insectes,

pour réparer les artères endommagées (Elvin *et al.*, 2005), de plus, certains venins ont des applications thérapeutiques. Les dérivés du miel et de la ruche comme la propolis ou la gelée royale ont également des applications médicales.

Les insectes ont aussi inspiré des méthodes d'ingénierie et de technologie en utilisant le biomimétisme (méthode qui utilise des inspirations présentes dans la nature pour résoudre des problèmes humains). Par exemple, les termitières cathédrales, naturellement présentes dans les régions tropicales, ont servi de modèle pour construire des bâtiments dans lesquels la qualité de l'air, la température et l'humidité peuvent être régulées efficacement (Turner, 2008).

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

I.2 Données sur les insectes comestibles

I.2.1 Insectes comestibles

Au XXI^e siècle, les insectes sont apparus comme une ressource particulièrement appropriée pour l'alimentation humaine et l'insécurité alimentaire, des pressions accrues sur l'environnement et de la croissance démographique (van-Huis *et al.*, 2014). En ce qui concerne les avantages nutritionnels, les insectes sont nutritifs et contiennent tous les acides aminés essentiels, tout comme les protéines animales (van Huis *et al.*, 2013). De façon générale, les insectes sont riches en protéines, en acides gras, en fibres et en oligo-éléments (fer, cuivre, magnésium, manganèse, phosphore, sélénium, zinc, calcium) (van-Huis *et al.*, 2013). Ils contiennent également des antioxydants et de la vitamine B12 (Roos et van-Huis, 2017). De plus, les insectes ont une faible concentration de cholestérol et des ratios oméga-3 et oméga-6 favorables (Hartmann et Siegrist, 2016).

I.2.2 Entomophagie

Le terme d'entomophagie est étymologiquement issue des termes grecs « entoma », qui signifie « insectes », et à « -phage » qui veut dire « mangeur ». L'entomophagie désigne ainsi le fait de se nourrir d'insectes. Bien que ce terme soit surtout employé dans l'étude de l'alimentation animale, l'entomophagie peut également s'utiliser en alimentation humaine (ANSES, 2015).

I.2.3 Historique de l'entomophagie

L'utilisation des insectes pour l'alimentation humaine suscite de plus en plus d'intérêt, toutefois notons que cette pratique n'est pas nouvelle. En effet, les écrits suggèrent qu'au départ l'homme avait un régime alimentaire insectivore (Ramos-Elorduy, 2009).

Les premiers cas enregistrés d'entomophagie, datés de 30 000 à 9 000 avant JC, sont représentés par des peintures à l'état sauvage découvertes à Altamira (nord de l'Espagne) qui décrivent les collections de nid d'abeilles et les rayons de miel (Schabereiter Gurtner *et al.*, 2002).

Les coprolithes des grottes du Mexique comprenaient des fourmis, des larves de coléoptères, des poux, des tiques et des acariens (Mitsuhashi et Capinera, 2008). Mac Neish (1958) a signalé la présence de fibres maguey, de graines de courges, de fragments d'insectes et de morceaux de coquilles d'escargots provenant de coprolithes humains récupérés sur les sites de

Tamaulipas, au Mexique. Des sociétés des monts Ozark (est des États-Unis) contenaient des restes de fourmis, de larves de coléoptères, de tiques et d'acariens (Mitsuhashi et Capinera, 2008).

La pratique de manger des insectes est citée dans la littérature religieuse chrétienne, juive et islamique (Thakur, 2017). Dans le livre de l'Ancien Testament du Lévitique, les écrivains ont inclus les criquets, les coléoptères et les sauterelles parmi les aliments dont la consommation était autorisée.

Les Romains préféraient particulièrement la consommation de larves de coléoptères. Aristote a écrit sur l'obtention des nymphes de cigales les plus savoureuses. Les chrysalides de vers à soie ont été consommées dans certaines parties de la Chine depuis 2000–2500 avant JC comme en témoigne la découverte du ver à soie sauvage, *Theophila religiosa*, dans les ruines de la province du Shaanxi (Capinera, 2004).

Les anciens Algériens utilisaient les criquets comme nourriture après les avoir cuits dans de l'eau salée et séchés au soleil. Les aborigènes australiens se nourrissaient de papillons de nuit préalablement cuits dans le sable, puis privés de leurs ailes, de leurs pattes et de leur tête, afin de laisser leur chair (Bryant, 2008).

Aujourd'hui, l'anthropo-entomophagie concerne 2300 espèces d'insectes et elle est pratiquée par environ 3000 groupes ethniques dans plus de 100 pays principalement localisés en Afrique et en Asie, mais aussi en Amérique latine (van- Huis *et al.*, 2013).

I.2.4 Répartition mondiale et régionale de l'entomophagie

L'entomophagie peut sembler impensable pour certains mais c'est une réalité qui concerne actuellement près de 2 milliards de personnes. Il existe environ 2000 espèces d'insectes qui sont répertoriées comestibles à travers le monde (Fig.1).

Les insectes sont consommés majoritairement par des populations d'Asie, d'Afrique, d'Australie et d'Amérique du Sud (van Huis *et al.*, (2013).

L'Amérique (Amérique du Sud et Mexique) et l'Afrique sont les continents les plus entomophages. Ils viennent en première position avec 549 et 524 d'espèces comestibles (Ramos-Elorduy, 2006 ; Ramos-Elorduy *et al.*, 2009). En deuxième position, vient l'Asie avec 349 espèces comestibles (Ramos-Elorduy in Johnson, 2010).

La Chine compterait 179 espèces comestibles. Chen *et al.*, (2009), 160 en République démocratique populaire laos, 164 en Thaïlande et au Viet Nam et 428 Amazonie (Gałęcki et Sokół, 2019).

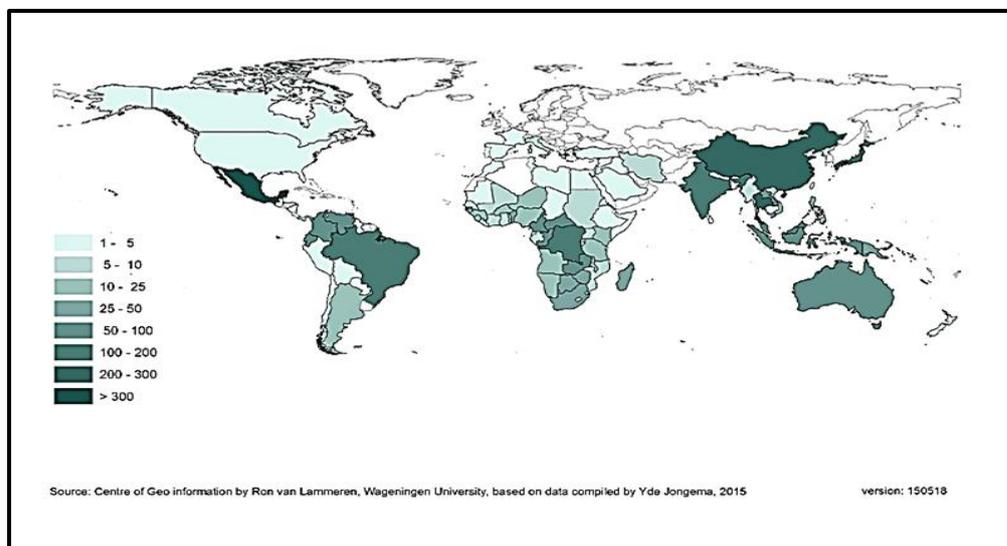


Fig. 1 : Répartition géographique des espèces d’insectes comestibles, par pays (Jongema, 2015).

I.2.5 Principaux ordres d’insectes consommés

De nombreuses espèces d’insectes sont consommées dans le monde. Environ 2000 selon une estimation de la FAO (2013).

Les insectes les plus couramment intégrés dans l’alimentation appartiennent à l’ordre des Lépidoptères, des Coléoptères, des Orthoptères, des Isoptères, des Hyménoptères et des Hémiptères (Fig. 2).

On y retrouve plus concrètement les chenilles et les papillons, les scarabées, les criquets, les grillons, les termites, les fourmis, les abeilles, les guêpes et les punaises (Bukkens, 1997).

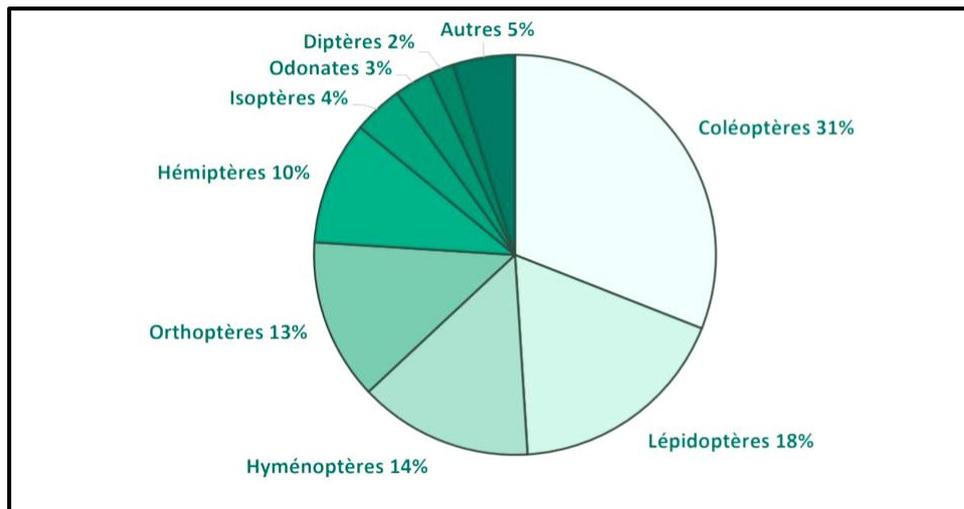


Fig. 2: Répartition des insectes les plus consommés par l'homme (van Huis, 2013).

I.2.5.1 Ordre des Coléoptères

Plus de 300 000 espèces de Coléoptères existent dans le monde (D'Aguilar et Fraval, 2004), dont 468 sont répertoriées comme étant comestibles (Ramos-Elorduy in Johnson, 2010).

Les coléoptères sont des insectes holométaboles avec un cycle de développement œuf-larve- nymphe-imago. En règle générale, seules les larves de ces espèces sont consommées. Lors de la consommation de l'imago, il faut enlever la tête, les pattes et autres parties dures (Defoliart, 2003).

Tenebrio molitor, *Rhyncophoru* ssp, *Oryctes rhinoceros* sont les plus consommés.

- *Tenebrio molitor* : l'une des espèces les plus utilisées car il est très facile à élever. Il se caractérise par un développement et une reproduction rapide (Fig.3) (OPIE, 2013).



Fig. 3: *Tenebrio molitor* adulte (à gauche) ; Larve de *Tenebrio molitor* (à droite) (Bellmann, 2006).

- *Rhyncophoru* ssp : Ravageur des palmiers, C'est un genre qui est très répandu. Il est consommé un peu partout dans le monde. L'adulte consomme les feuilles, fruits et fleurs (Fig. 4).



Fig. 4: Charançon rouge du palmier (Fraval, 2007).

La larve se nourrit de matière en décomposition, elle est dodue, apode, d'une couleur blanc crème à ivoire et mesure entre 36 et 47 mm de long (Fig.5) (EPPO, 2007).



Fig. 5: Larve de *Rhyncophorus ferrugineus* vue ventrale et dorsale (EPPO, 2007).

- *Oryctes rhinoceros* : Consommé majoritairement en Asie et en Afrique (Onyrike *et al.*, 2005). C'est un insecte qui doit son nom à sa corne caractéristique comme le montre la figure 6. Cet insecte s'attaque en premier lieu au cocotier, il peut également s'établir dans les palmiers, mais aussi se nourrir d'autres types de matières telles que les déchets provenant du cacao, du café et dans la paille en train de pourrir (Fig.6) (Bedford, 1976).



Fig. 6: Scarabée adulte (Central Plantation Crops Research Institute India, <http://www.issg.org/database/image.asp?ii=383&ic=e> consulté le 02/04/2021).

La larve passe par 3 stades de développement (celui-ci prend 2 à 4 mois (DeFoliart, 1997) et peut atteindre à maturité entre 11 et 12,2 mm de long (Fig. 7).



Fig. 7: Larve d'*Oryctes rhinoceros* (Central Plantation Crops Research Institute India, <http://www.issg.org/database/image.asp?ii=381&ic=e> consulté le 02/04/2021).

I.2.5.2 Ordre des Lépidoptères

Les Lépidoptères (papillons) sont généralement consommés au cours de leurs stades larvaires (c'est-à-dire sous forme de chenilles), les papillons adultes sont aussi consommés, néanmoins la pratique est plus limitée (Flood, 1980).

Les chenilles sont consommées partout dans le monde (Lavalette, 2013) avec de nombreuses espèces consommées en Afrique (notamment *Imbrasia oyemensis* présenté en Fig. 8, en Amérique du Sud (notamment au Mexique avec l'espèce *Aegiale hesperiaris*) et en Asie (*Bombyx mori* et *Bombyx eri*).

- *Imbrasia oyemensis* : cette espèce se nourrit des feuilles de l'arbre hôte *Entandrophragma cylindricum* (N'Gasse, 2003) aussi appelé Sapelli (Fig .8).



Fig. 8: Chenilles *Imbrasia oyemensis* sur des feuilles de sapelli, son arbre hôte (N'Gasse, 2003).

I.2.5.3 Ordre des Hyménoptères

Il existe 120 000 espèces décrites et 351 espèces comestibles au sein de l'ordre des Hyménoptères (Ramos-Elorduy in Johnson, 2010).

Trois familles d'insectes sont concernées : la famille des Apidae (les abeilles), la famille des Vespidae (les guêpes), et la famille des Formicidae (les fourmis).

Les fourmis sont les plus consommées. Elles sont des mets recherchés dans de nombreuses régions du monde (Rastogi, 2011), Par exemple, la fourmi tisserande (*Oecophylla spp.*) est utilisée comme agent de lutte biologique dans diverses cultures (Van Mele, 2008).

I.2.5.4 Ordre des Orthoptères

Il y a plus de 20 000 espèces d'Orthoptères dans le monde. Cet ordre comprend les sauterelles, les grillons et les criquets (Cloutier, 2015).

Ce sont les stades nymphe et adulte qui sont consommés. Pour consommer l'imago, il faut enlever toutes les parties dures du corps (pattes, ailes, ...) avant de le cuisiner (Lavalette, 2013).

- *Acheta domesticus* : Aussi appelé grillon domestique, il est présent dans la plupart des régions du monde (présent en Afrique, Europe, une partie de l'Asie, Etats-Unis, ..). Il est aussi très utilisé en élevage, y compris dans les pays occidentaux où il sert de nourriture à d'autres espèces (reptiles, batraciens...) (Fig. 9).

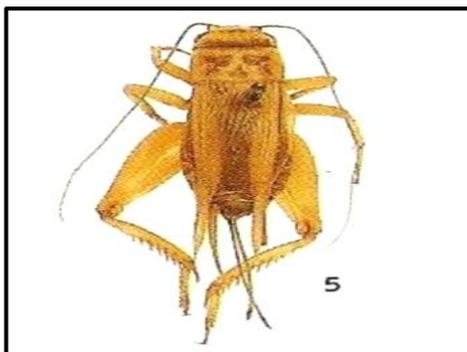


Fig. 9: *Acheta domesticus* (Leraut, 2003).

- *Locusta migratoria* : Comme *Acheta domesticus*, ce criquet est présent en Asie, Europe, Afrique, Australie mais on ne le trouve pas du tout en Amérique du Nord et du Sud. C'est un insecte saisonnier qui apparaît l'été. Il est considéré comme nuisible. Il est herbivore et se nourrit de céréales, herbe et feuilles. L'adulte mesure entre 35 et 50 mm et est de couleur verte à grise (Fig. 10) (Leraut, 2003).



Fig. 10: *Locusta migratoria* (Adalla et Cervancia, 2010).

Il est également très utilisé en élevage, comme *Acheta domesticus*. En effet, il a besoin de peu d'espace, possède un développement très rapide et est facile et peu onéreux à nourrir (Lavalette, 2013).

- La chapulines (*Sphenarium spp.*) : La chapuline est probablement la sauterelle comestible la plus connue d'Amérique latine.

La sauterelle *Sphenarium purpurascens* est un ravageur de la luzerne, mais également l'un des insectes comestibles les plus importants du Mexique (Fig. 11) (Cerritos et Cano-Santana, 2008).



Fig. 11: Photo de chapulines grillé sur un marché mexicain – Source :

<https://images.app.goo.gl/Syb3enL5L9YFxEqS7> consulté le 05/04/2021.

I.2.5.5 Ordre des Hémiptères

L'ordre des Hémiptères, qu'on évalue à environ 100 000 espèces, compte 220 espèces comestibles. Pour cet ordre, c'est le stade nymphal et d'adulte qui est consommé, elles comprennent les *Aphidoidea* (pucerons), les *Cicadidae* (cigales), les *Cicadellidae* (cicadelles), les *Pentatomoidea* (punaises) et les *Coccoidea* (Cochenilles). Les Hémiptères ne subissent pas de métamorphose complète entre le stade larvaire et la forme adulte (Cloutier, 2015).

I.2.5.6 Ordre des Isoptères

Les Isoptères majoritairement consommés appartiennent à la famille des Termites (Fig. 12). Ce sont des insectes à métamorphose incomplète, dont on consomme les nymphes et les adultes, que ce soient les ouvriers ou les termites ailées (Zaremski *et al.*, 2009).



Fig. 12: Termite sexuée ailée *Reticulitermes lucifugus* (Bellmann, 2006).

Les termites sont la deuxième catégorie d'insecte la plus consommée après les Orthoptères et sont parmi les espèces les plus nutritives (Lavalette, 2013).

I.2.5.7 Ordre des Diptères

Peu de Diptères (mouches) sont consommés et ce sont les larves qui sont mangées. C'est souvent une entomophagie involontaire c'est-à-dire que les insectes sont ingérés avec leur hôte (fruit ou légume) C'est le cas d'*Anastrepha spp.* (Onore, 1997), et autres mouches à fruits. Les larves de Diptères sont également utilisées pour nourrir les volailles (Lokeshwari et Shantibala, 2010).

- *Musca domestica* : Est une des seules espèces dont la larve est consommée par les animaux (Fig. 13) (Chen *et al.*, 2009). Elle est surtout élevée pour son asticot qui sert à nourrir les élevages que ce soit sous forme d'insecte entier ou de farine.



Fig. 13: Larve de *Musca domestica* (Bellmann, 2006).

- *Black soldier fly* (la mouche soldat noire) : La mouche soldat noire (*Hermetia illucens*) est un diptère de la famille des Stratiomyidae de couleur noire, il a une aire de répartition d'origine s'étalant du sud de l'Argentine jusqu'au nord des États-Unis (Fig.14) (Gujarathi et Pejaver, 2013). Aujourd'hui, cette mouche peut être retrouvée naturellement dans les régions tropicales et tempérées (Dortmans *et al.*, 2017).



Fig. 14: *Hermetia illucens* adulte (Source: https://e-insects.wageningenacademic.com/hermetia_illucens consulté le 12/05/2021).

La mouche soldat noire est très utilisée en élevage. Il a été démontré que la farine de larve de mouche soldat noire constituait un aliment nutritif et une source de protéines alternatives intéressante pour l'alimentation animale (volailles, porcs et poissons) (Bondari et Sheppard, 1987 ; Newton *et al.*, 2005; Belluco *et al.*, 2013 ; Sánchez-Muros *et al.*, 2014 ; Laureati *et al.*, 2016 ; Cummins *et al.*, 2017) .

Selon Driemeyer (2016), la farine de larves de mouche soldat noire est capable de substituer le soya, le maïs et la farine de poissons qui sont utilisés de nos jours pour l'alimentation du bétail.

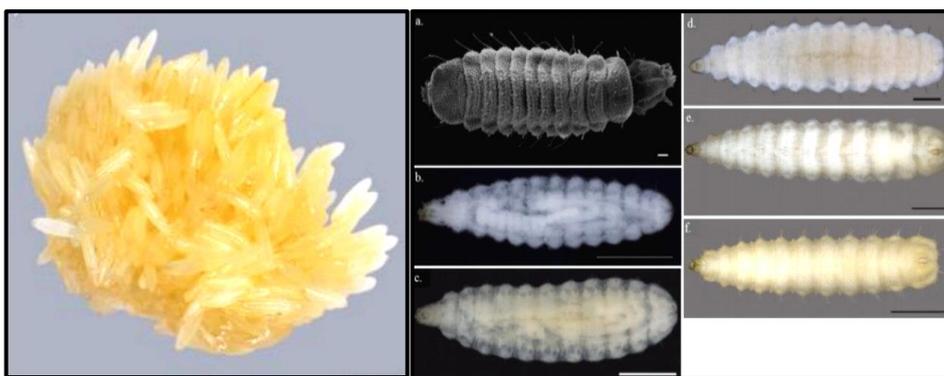


Fig. 15: Œufs d'*Hermetia illucens* (à gauche). Vue ventrale des six premiers stades larvaires d'*Hermetia illucens* (à droite), (Source : Barros *et al.*, 2019).

I.2.5.8 Ordre des Odonatoptères

Les libellules sont surtout consommées en Asie du Sud-Est (Bali, Thaïlande, Laos), où elles sont mangées sous forme d'adultes ou de larves (Fig. 16), alors que quelques pays africains mangent juste les larves (notamment au Cameroun).

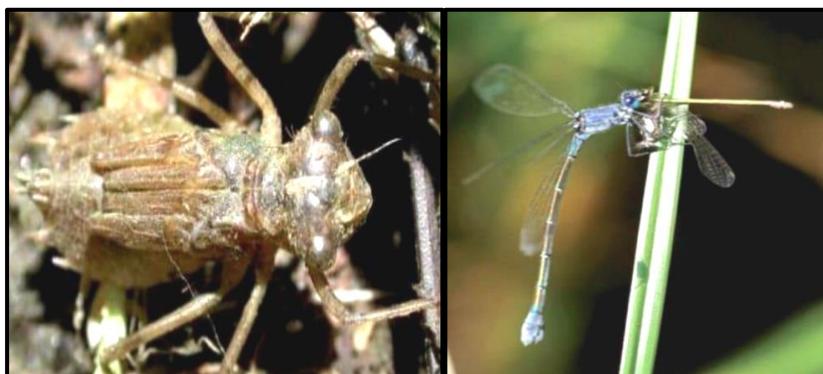


Fig. 16: Larve de *Sympetrum meridionale* (à gauche) et *Lestes Macrostigma* (à droite) (Jourde, 2010).

I.3 Avantages d'utilisation des insectes dans l'alimentation humaine et animale

La consommation d'insectes délivre un panel d'avantages non négligeable de nos jours. Avec la croissance démographique, l'urbanisation et la montée des classes moyennes, la demande mondiale en aliments et principalement en protéines d'origine animale est en plein essor. L'élevage d'insectes comptabilisant de nombreux avantages peut contribuer non seulement à la sécurité alimentaire humaine, mais aussi à celle des animaux (Simone, 2016).

I.3.1 Santé

En effet, les insectes sont une ressource alimentaire saine et nourrissante, riche en matière grasse, protéines, vitamines, fibres et minéraux. Par exemple, les teneurs en oméga-3 insaturés et en acides gras du ver de farine sont comparables à celle du poisson et les teneurs en protéines, vitamines et sels minéraux du ver de farine sont comparables à celle du poisson et de la viande (van- Huis, 2014).

Du fait de cette valeur nutritionnelle élevée, les insectes sont utilisés comme compléments alimentaires pour les enfants sous-alimentés ou pour les personnes âgées. Les insectes peuvent être une alternative durable et une solution de substitution en protéines (Simone, 2016).

Les risques de transmission de zoonoses provenant des insectes aux êtres humains sont presque nuls, d'autant plus dans les élevages contrôlés. Le risque principal reste les allergies alimentaires mais ce risque reste relativement faible étant donné la faible prévalence de ce type d'allergie chez l'Homme (Boullaud, 2018).

I.3.2 Environnement

Au niveau de l'environnement, la production d'insectes possède l'un des plus faibles impacts environnementaux (Hartmann et Siegrist, 2016). En effet, les insectes génèrent 100 fois moins de gaz à effet de serre que le bétail (Fig.17) (Oonincx et de Boer, 2012).

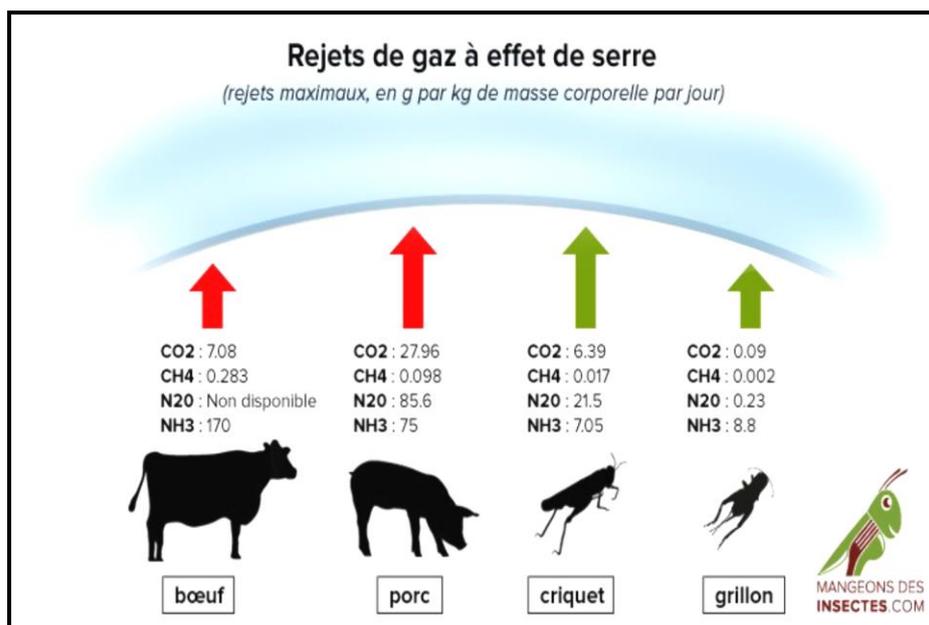


Fig. 17: Rejets de gaz à effet de serre (dioxyde de carbone, méthane, oxyde nitreux et ammoniac) en g/kg de masse corporelle par jour (Simone, 2016).

Les insectes ont également une meilleure efficacité de conversion alimentaire que les bovins. Par exemple, les grillons n’ont besoin que de 2 kg d’aliments pour gagner 1 kg de poids corporel (Fig. 18) (van- Huis *et al.*, 2013).

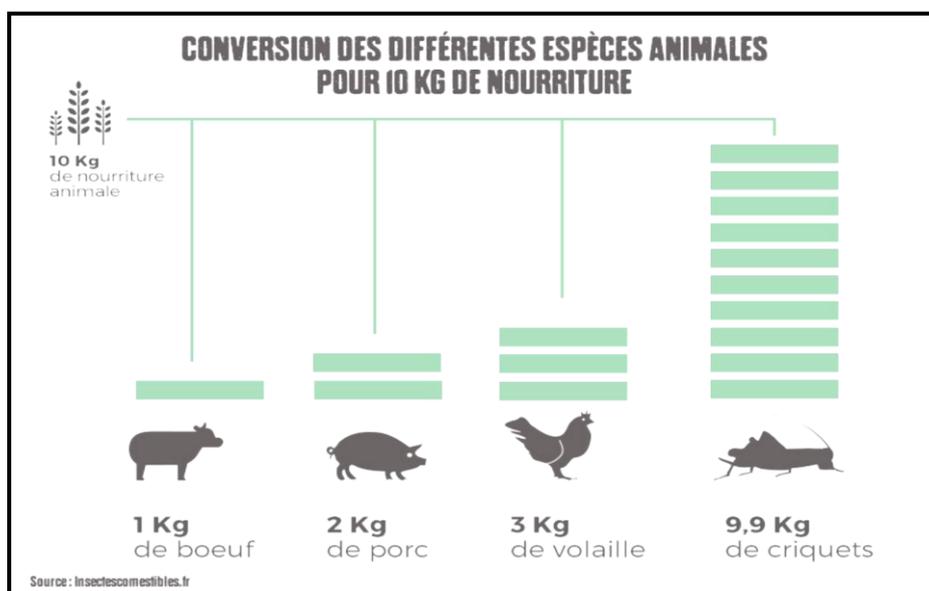


Fig. 18: Conversion de 10 kg d’aliments végétaux en poids de l’animal (Entomophagie : 5 raisons de vous y mettre [Internet]. Insectes comestibles, le blog. [<http://www.insectescomestibles.fr/blog/entomophagiepourquoi-pratiquer/>] consulté le 20/05/2021).

Les insectes nécessitent également moins d'aliments par rapport à la production d'une quantité équivalente de protéines à partir de sources de viande conventionnelles. Pour produire 1 kg de viande, 7,7 kg d'aliments sont nécessaires pour le bœuf, 6,3 kg pour les moutons, 3,6 kg pour le porc, 2,2 kg pour le poulet et 1,7 kg pour les grillons (van -Huis, 2010).

Ils nécessitent beaucoup moins d'eau et de terres que la viande ou les végétaux, et sont même capables d'utiliser les déchets pour se nourrir (van-Huis, 2013).

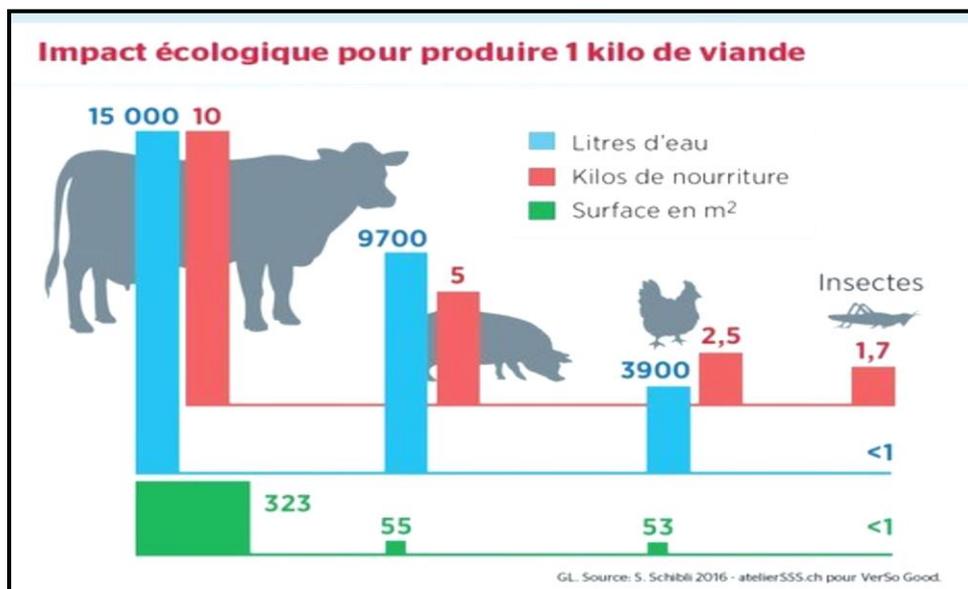


Fig. 19: Impact écologique pour produire un kilo de viande (Les insectes comestibles s'invitent au su... [Internet]. [cite 5 juin 2018]. Disponible sur : <https://www.scoop.it/t/news-4ento-en-francais/p/4083236738/2017/08/17/lesinsectes-comestibles-s-invitent-au-supermarche> consulté le 20/05/2021).

De plus, les insectes comestibles ont l'avantage d'être élevés verticalement (van- Huis *et al.*, 2013).

1.3.3 Moyens de subsistance (facteurs sociaux et économiques)

Les insectes peuvent être récoltés à l'état naturel, cultivés, transformés et vendus par les plus pauvres de la société, comme les femmes et les paysans ne possédants pas de terre dans les régions urbaines et rurales. Ces activités peuvent directement améliorer les régimes alimentaires et fournir des revenus grâce à la vente des excédents de production en tant qu'aliment de rue (FAO, 2013).

I.4 Valeur nutritionnelle des insectes comestibles pour l'alimentation humaine et animale

Les insectes comestibles sont une excellente source de protéines, de lipides (oméga-3, oméga-6), de minéraux comme le fer, et le calcium, de vitamines A, B1, B2 et de glucides. Une source d'énergie incontestable. Ils ont à la fois une forte teneur en protéines avec une digestibilité très élevée, et une bonne efficacité de conversion en nutriments (Simone, 2016). Cependant, la valeur nutritive des insectes dépend de l'espèce, de l'alimentation, de l'environnement, du stade de développement et des conditions de croissance. Dans certains pays, les insectes sont l'une des principales sources de protéines et fournissent 6 100 kcal et 513 g de protéines par personne et par an (Ramos-Elorduy, 1997).

I.4.1 Apports énergétiques alimentaires

L'apport énergétique des insectes comestibles dépend comme tout aliment avant tout de leur composition. Les larves et les chrysalides ont généralement un apport énergétique plus important que les adultes, en raison de leur forte teneur en matières grasses, alors que les adultes sont souvent plus riches en protéines, qui ont une valeur énergétique plus faible (Tableau1) (Kouřimská et Adamková, 2016).

Tableau 1: Teneur calorique (kcal) pour 100g de matière fraîche de différents insectes (FAO, 2013).

Localisation	Nom	Energies (kcal/100g)
Australie	<i>Chortoicetesterminifera</i>	499
Australie	<i>Oecophylla smaragdina</i>	1272
Québec	<i>Melanoplus femurrubrum</i>	160
Etats-Unis	<i>Tenebrio molitor</i> (larve)	206
Etats-Unis	<i>Tenebrio molitor</i> (adulte)	138
Côte d'Ivoire	<i>Macrotermes subhyalinus</i>	535
Mexique	<i>Myrmecocystus melliger</i> (larve)	404
Mexique	<i>Myrmecocystus melliger</i> (adulte)	116
Thaïlande	<i>Gryllus bimaculatus</i>	120

Thaïlande	<i>Lethocerus indicus</i>	165
Thaïlande	<i>Oxya japonica</i>	149
Thaïlande	<i>Cyr tacanthacris tatarica</i>	89
Thaïlande	<i>Bombyx mori</i>	94
Pays-Bas	<i>Locusta migratoria</i>	179
Pays-Bas	<i>Locusta migratoria</i>	179

I.4.2 Apport en protéines et en acides aminés

Les protéines sont des macromolécules de tailles variables constituées d'acides aminés. Elles assurent des fonctions structurales, de reconnaissance et/ou d'interaction entre les tissus. C'est la composition en acides aminés qui définit la caractéristique de la protéine au sein de l'organisme. Bien qu'il existe de nombreux acides aminés, 20 d'entre eux sont utilisés pour la synthèse des protéines et 9 sont indispensables à l'être humain. On parle alors d'acides aminés essentiels pour caractériser ces 9 acides aminés indispensables. Il s'agit de la méthionine, de la lysine, du tryptophane, de la thréonine, de la phénylalanine, de l'isoleucine, de la valine, de la leucine et de l'histidine. La consommation journalière d'une quantité suffisante de protéines est nécessaire pour le maintien de nombreuses fonctions de l'organisme, comme par exemple pour permettre le maintien de la masse musculaire ou pour favoriser la croissance. La qualité des protéines alimentaires est déterminée selon leur composition en acides aminés, mais aussi selon leur digestibilité, c'est à dire leur capacité d'utilisation par l'organisme (Martin, 2001).

Les insectes sont globalement une source intéressante de protéines avec une composition en acides aminés essentiels qui correspond généralement aux besoins humains, même si la teneur en protéines varie fortement selon les espèces (Fig. 20). Le stade de développement influence la teneur en protéines des insectes, les formes adultes ayant tendance à en contenir d'avantage. L'alimentation est un facteur d'influence important concernant la teneur en protéines. Une analyse de sauterelles au Nigeria montre que les spécimens qui ont été nourris avec du son, qui contient une proportion importante d'acides gras essentiels, avaient presque deux fois plus de protéines au final que le groupe contrôle nourri avec du maïs (van- Huis *et al.*, 2013).

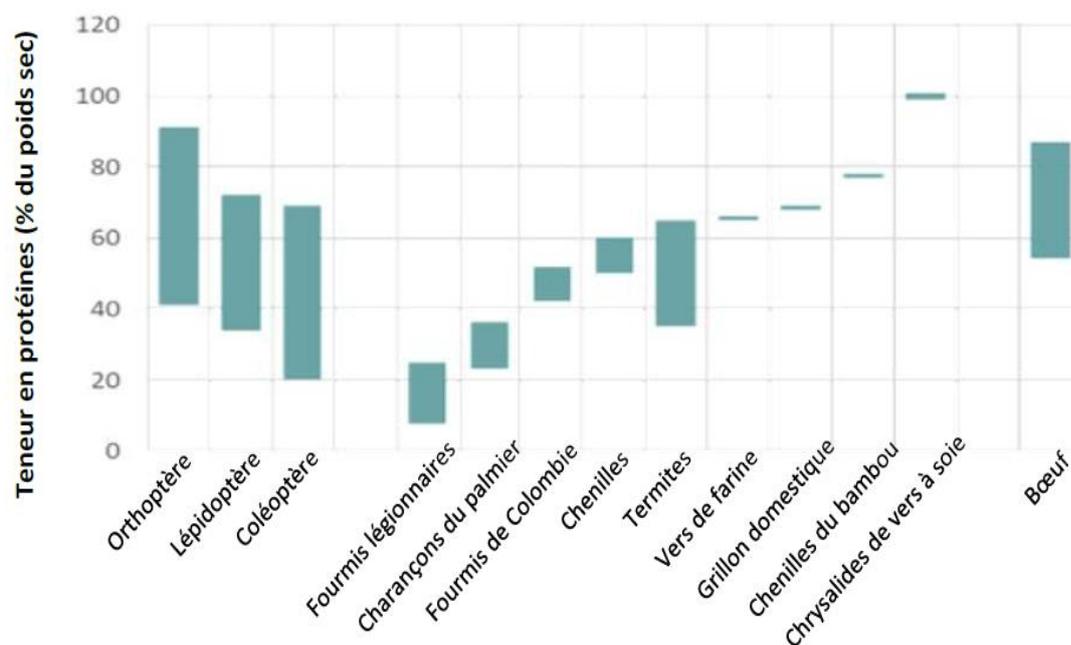


Fig. 20: Teneur en protéines de classes ou d'espèces d'insectes par rapport au bœuf (Raheem *et al.*, 2019).

I.4.3 Apport en vitamine

Les vitamines participent au bon fonctionnement de l'organisme. Elles doivent être apportées par l'alimentation en quantité suffisante et régulièrement afin que le métabolisme conserve un bon équilibre. Les insectes possèdent de nombreuses vitamines (Tableau 2) (Simone, 2016).

Les vitamines principalement retrouvées sont :

- La vitamine B1, qui permet le bon fonctionnement du système nerveux et des muscles.
- La vitamine B2, jouant un rôle primordial dans la transformation des aliments simples en énergie.
- La vitamine B3 participant à la formation des globules rouges, à la circulation sanguine, au transport de l'oxygène aux cellules, ainsi qu'au fonctionnement du système digestif et du système nerveux. La vitamine B3 est également nécessaire à la synthèse des hormones sexuelles et à la production des neurotransmetteurs.
- La vitamine A existe dans l'organisme sous forme de rétinol, de rétinal, d'acide rétinoïque, et de rétinyl phosphate. Cette vitamine liposoluble est impliquée dans la croissance des os et la synthèse de pigments de l'œil.

Tableau 2 : Quantité de vitamine dans 100g de poids sec de différents insectes comparé aux apports journaliers recommandés (AJR) (Rumpold et Schlüter, 2013).

Vitamine	Exemple d'espèces intéressantes	Quantité pour 100g de poids sec	AJR
A (Rétinol)	<i>Imbrasi spp.</i>	32-48 µg	800 µg
	<i>Larve de Bombyx mori</i>	274 µg	
B1 (Thiamine)	<i>Macrotemres nigeriensis</i>	0,67 mg	1,2 mg
	<i>Larve de Bombyx mori</i>	1,91 mg	
	<i>Usta terpsichore</i>	4,04 mg	
B2 (Riboflavine)	<i>Acheta domesticus</i> (nymphe)	4,15 mg	1,3 mg
	<i>Bombyx mori</i> (Larve)	5,43 mg	
	<i>Imbrasia truncata</i>	5,50 mg	
B3 (Nicotinamide)	<i>Bombyx mori</i> (Larve)	15,20 mg	15 mg
	<i>Acheta domesticus</i> (adulte)	12,59 mg	
B5 (Acide pantothénique)	<i>Bombyx mori</i> (Larve)	12,49 mg	5 mg
B8 (Biotine)	<i>Bombyx mori</i> (Larve)	0,41 mg	0,4 mg
B12 (Cobalamine)	<i>Tenebrio molitor</i>	0,47 µg	25 µg
	<i>Acheta domesticus</i>	5,4 µg	
C (Acide ascorbique)	<i>Latebraria amphypirioides</i> (larve)	46,33 mg	45 mg
E (Tocophérol)	<i>Rhynchophorus ferrugineus</i> (Larve)	44 mg	15 mg
	<i>Bombyx mori</i> (Larve)	9,65 mg	

I.4.4 Apport lipidique

Après les protéines, les graisses représentent la deuxième plus grande partie de la composition en nutriments des insectes comestibles, de 13% pour les Orthoptères (sauterelles,

grillons, criquets) à 33% pour les Coléoptères (scarabée, vers blancs) (Rumpold et Schlüter, 2013).

Womeni *et al.* (2009) ont étudié la teneur et la composition des huiles extraites de différents insectes. Leurs huiles sont riches en acides gras polyinsaturés et contiennent fréquemment les acides essentiels linoléiques et α -linoléique. L'importance nutritionnelle de ces deux acides gras essentiels est reconnue, principalement pour le développement sain des enfants et des nourrissons (Michaelsen *et al.*, 2009). Une attention accrue a été accordée à la consommation insuffisante des acides gras oméga-3 et oméga-6, les insectes pourraient jouer un rôle important, en particulier dans les pays en développement sans littoral ayant un accès plus faible aux produits de la mer (Bukkens, 2005).

La teneur et la composition des différents acides gras diffèrent considérablement en fonction des espèces (Rumpold et Schlüter, 2013). Elle est également influencée par l'alimentation des insectes (Raheem *et al.*, 2019). La teneur en graisse est plus élevée chez les larves que chez les adultes. On sait que les chenilles et les termites contiennent plus de graisse (Tableau 3) (Bukkens, 2005 ; Bednářová, 2013).

Tableau 3 : Comparaison de la teneur en matières grasses de viandes et d'insectes (Payne *et al.*, 2016).

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

I.4.5 Apport glucidique

Les glucides sont une source importante d'énergie, l'apport glucidique de 1g fournit 4 Kcal (17 K joules). L'apport en glucides par les insectes est très faible (3 à 4%) car la plupart sont consommés aux stades immatures, alors que chez les adultes, la teneur en glucides structuraux atteint 15% (Simone, 2016).

I.4.6 Apport en fibres

Les fibres sont des glucides alimentaires non digestibles. Elles sont indispensables au bon fonctionnement du transit intestinal et à la santé globale des humains, car elles influencent l'ensemble de nos métabolismes et de toutes nos grandes fonctions, telles que, l'immunité, la trophicité de la muqueuse intestinale, la satiété, etc. Un apport d'au moins 30 g par jour est recommandé. Les fibres sont présentes dans de nombreux légumes, céréales et insectes. La forme de fibre la plus courante chez les insectes est la chitine, une fibre insoluble dérivée de l'exosquelette. Une quantité importante de données est disponible sur la teneur en fibres des insectes, mais elles ont été produites par diverses méthodes et ne sont pas facilement comparables. Finke (2007) a estimé la teneur en chitine des espèces d'insectes élevées comme nourriture pour les insectivores, et a constaté qu'elle variait de 2,7 mg à 49,8 mg par kg (frais) et de 11,6 mg à 137,2 mg par kg (matière sèche).

I.4.7 Apport en minéraux

Les éléments minéraux jouent un rôle essentiel dans les processus biologiques. L'apport journalier recommandé est généralement la référence pour quantifier l'apport journalier de minéraux dans l'alimentation (van- Huis, 2014).

Les insectes comestibles peuvent être intéressants en termes de contenu nutritionnel en minéraux tels que le fer, le zinc, le potassium, le sodium, le calcium, le phosphore, le magnésium, le manganèse et le cuivre (Tableau 4) (van Huis *et al.*, 2013). Par exemple, la grande chenille du papillon *Gonimbrasia belina* appelée mopani ou alors mopane a une teneur élevée en fer (31 – 77 mg pour 100 g de matière sèche) et la sauterelle aussi *Locusta migratoria* (8 – 20 mg pour 100 g de matière sèche) (Oonincx *et al.*, 2010).

La chenille mopane est un des insectes les plus très riche en minéraux (Albouy et Chardigny, 2016).

Tableau 4 : Doses journalières recommandées de minéraux essentiels comparées aux teneurs constatées chez la chenille mopane (Bukkens, 2005).

Éléments minéraux	Apports recommandés pour un homme âgé de 25 ans (mg/jour)	chenille mopane (mg/100g de poids sec)
Potassium	4700	1032
Chlore	2300	-
Sodium	1500	1024
Calcium	1000	174

Phosphore	700	543
Magnésium	400	160
Zinc	11	14
Fer	8	31
Manganèse	2,3	3,95
Cuivre	0,9	0,91
Iode	0,15	-
Sélénium	0,055	-
Molybdène	0,045	-

I.5 Risques liés à la consommation d'insectes comestibles

Comme pour les autres denrées alimentaires, il existe des risques en lien avec la consommation d'insectes, notamment d'un point de vue allergique, microbiologique, toxicologique. Les différents risques nécessitent des mesures de précaution pour pouvoir consommer des insectes en sécurité, avec un risque pour la santé comparable à celui d'autres denrées d'origine animale (van -Huis *et al.*, 2013).

I.5.1 Risques allergènes

La consommation d'insectes peut également provoquer des allergies. Certains insectes ont une enveloppe externe rigide pour le corps formée de chitine, qui est difficile à digérer pour l'homme. Aujourd'hui, en raison du manque d'aliments contenant de la chitine, il existe une déficience de l'enzyme chitinase qui clive la chitine. Certaines personnes ont une si petite quantité de cette enzyme que la consommation d'insectes peut leur provoquer une réaction allergique (EFSA, 2015).

Les personnes les plus à risque sont celles qui sont allergiques aux fruits de mer, comme les crevettes (Bednářová *et al.*, 2013).

I.5.2 Risques microbiologiques

Comme tous être vivants, les insectes abritent de nombreux micro-organismes sur leur peau, leurs intestins, leurs voies respiratoires, etc... et ne sont pas à l'abri de contracter des pathologies dues à des bactéries, des virus et des champignons. Mais, les très grandes différences génétiques et physiologiques entre les humains et les insectes font que les maladies de ces arthropodes ne sont pas transmissibles aux Hommes. Par exemple, le bacille de Thuringe est un pathogène chez les insectes, il est inoffensif chez les humains (van-Huis, 2014 ; ANSES, 2015 ; Albouy et Chardigny, 2016).

En revanche, des bactéries pouvant causer des maladies chez l'Homme ou produire des toxines peuvent proliférer dans les élevages ou sur les insectes si les mesures d'hygiène sont insuffisantes (ANSES, 2015 ; Albouy et Chardigny, 2018).

Les insectes récoltés dans la nature ont montré la présence rare, mais possible, de bactéries pathogènes comme la présence de salmonelles, de staphylocoques ou d'*Escherichia coli*. Cependant, les élevages de vers de farine ou de grillons n'ont pas révélés la présence de germes pathogènes (ANSES, 2015 ; Albouy et Chardigny, 2018).

La contamination microbienne peut apparaître lors de la transformation ou de la conservation des insectes. De la même manière que tous les aliments destinés à l'alimentation humaine (van-Huis, 2014 ; ANSES, 2015; Albouy et Chardigny, 2018).

Les processus de transformation et la consommation des insectes et des produits qui en sont dérivés doivent suivre les mêmes règles de santé, d'hygiène et d'assainissement que celles appliquées pour tout autre produit de consommation humaine ou animale, de façon à assurer la sécurité des aliments (van-Huis, 2014 ; ANSES, 2015; Albouy et Chardigny, 2018).

De plus, des effets sanitaires particuliers doivent être pris en compte lorsque les insectes sont élevés sur des déchets tels que le fumier ou les déchets d'abattoir (van- Huis, 2014).

I.5.3 Risques toxicologiques

On peut identifier des risques toxicologiques liés à la préparation de l'insecte et/ou à des contaminations par son environnement (van- Huis *et al.*, 2013).

Certaines espèces d'insectes comestibles peuvent être toxiques si elles ne sont pas préparées correctement. C'est par exemple le cas d'une sauterelle d'Afrique, *Zenocerus variegatus*, qui est consommée au Cameroun et au Nigéria et qui doit être préparée d'une manière spécifique : en réchauffant les insectes premièrement dans de l'eau tiède avant de changer l'eau pour la cuisson (van- Huis *et al.*, 2013).

Concernant les aspects liés à l'environnement, le premier risque concerne la présence de métaux lourds au sein de l'insecte. Certaines parties de son organisme, comme le tissu adipeux, l'exosquelette, le système digestif ou les organes génitaux sont qualifiés de bio-accumulateurs, c'est-à-dire qu'ils stockent facilement des contaminants comme les métaux lourds. Une étude décrit par exemple que les vers de farine peuvent accumuler une teneur importante de plomb et

de cadmium dans leur organisme lorsqu'ils se nourrissent de matière organique qui provient de sols contaminés par ces métaux (Vijver *et al.*, 2003).

Un autre risque toxicologique environnemental réside dans la contamination des insectes par les pesticides de leur environnement et de leur nourriture. Certaines espèces, comme les criquets, peuvent présenter des teneurs importantes qui peuvent être problématiques lorsqu'elles sont consommées en forte quantité (van- Huis *et al.*, 2013).

I.5.4 Risques physiques

Les Orthoptera (criquets, grillons) et les Coleoptera (coccinelles, cigales) ont souvent des mandibules puissantes, de solides pattes (avec parfois de grands piquants sur les tibias), des ailes et autres appendices qui, à moins d'être enlevés avant consommation, peuvent perforer les intestins ou s'y fixer et entraîner de la constipation (Schabel, 2010). Il est donc fortement conseillé d'indiquer le cas échéant sur l'étiquette du produit que les pattes et les ailes de l'insecte doivent être retirées avant consommation.

Les résidus de chitine non digestibles peuvent aussi s'accumuler à différents niveaux de l'intestin et provoquer une constipation (FAO, 2013).

I.5.5 Risques chimiques

La présence de substances toxiques dans les insectes provient essentiellement de deux sources, à savoir la production de toxines naturelles par certains insectes à un certain stade de développement, et l'absorption de contaminants ou de produits phytochimiques via les aliments (van der Spiegel *et al.*, 2013).

I.5.6 Les risques parasitaires

Les parasites représentent un autre danger potentiel de la consommation d'insectes (Belluco *et al.*, 2013). Les insectes peuvent être porteurs et vecteurs de parasites, notamment lorsqu'ils sont le statut d'hôte intermédiaire dans un cycle parasitaire. Dans la littérature scientifique, la plupart des informations disponibles sur ce risque concernent des régions non-européennes (en Asie principalement) et s'intéressent à des insectes collectés dans la nature, ce qui semble plus favorable au maintien d'un cycle parasitaire qu'en élevage contrôlé (EFSA, 2015). Il n'existe actuellement aucune donnée sur des transmissions de parasites par des insectes élevés et consommés par l'homme après transformation.

I.6 Transformation des insectes

Les insectes comestibles peuvent être consommés comme plat principal, collation ou ingrédient alimentaire, ils sont donc commercialisés sous différentes formes (Garofalo *et al* ; 2019) :

- Insectes entiers (crus ou transformés, c'est-à-dire séchés, bouillis, rôtis, frits et grillés).
- Pâtes ou poudres (souvent appelé farine) puisque les insectes entiers peuvent être écrasés, broyés et pulvérisés.
- Extraits de protéines, graisses sous forme d'huile, minéraux ou vitamines.

*Chapitre II : Présentation des deux
espèces étudiées*

II.1 Classification des deux espèces utilisées pour cette étude

II.1.1 *Shistocerca gregaria*

La position Taxonomique du criquet pèlerin, *Shistocerca gregaria* d'après Louveaux et Ben Halima (1987) est :

Classe : Insectes

Ordre : Orthoptères

Sous-ordre : Caelifères

Super-famille : Acridoidea

Famille : Acrididae

Sous-famille : Cyrtacanthacridinae

Genre : *Shistocerca*

Espèce : *Shistocerca gregaria*



Fig. 21: Criquet pèlerin au Kenya le 17 février 2020. Sumy Sadurni/AFP

II.1.2 *Locusta migratoria*

La position taxonomique du *Locusta migratoria* d'après louveaux et Ben Halima (1986), est :

Règne : Animal

Embranchement : Arthropodes

Sous- Embranchement : Antennates

Classe : Insectes

Sous- classe : Ptérygotes

Section : Néoptères

Sous- Section : Néoptèresexopterygogènes

Super-ordre : Orthopteroides

Super-famille : Acridoidea

Famille : Acrididae

Sous-famille : oedipodinae

Genre : *Locusta*

Espèce : *Locusta migratoria*



Fig. 22: criquet migrateur (Adalla et Cervancia, 2010).

II.2 Répartition géographique

II.2.1 Dans le monde

Le criquet pèlerin, *Schistocerca gregaria*, est un insecte de l'ordre des Orthoptères dont l'aire de répartition principale (en période de rémission, c'est-à-dire hors pullulation) s'étend dans des zones arides et semi-arides se situant en l'Afrique de l'Ouest (Sénégal, Mauritanie, Mali, Niger, Tchad), au Maghreb (Maroc, Algérie), en Afrique du Nord (Libye, Egypte), en Afrique de l'Est (Soudan, Ethiopie, Somalie, Erythrée, Kenya) mais aussi au Proche-Orient (Arabie saoudite, Yémen principalement), jusqu'en Asie du Sud-Ouest (Pakistan, Inde). Par ailleurs, en Afrique australe, il existe des populations géographiquement isolées qui ne posent pas de problème en agriculture (Fig.23) (Botha, 1969).

Le criquet migrateur trouve ses souches au Mali, dans la zone d'inondation du fleuve Niger. On rencontre également d'importantes souches dans le Sud-Ouest de Madagascar. La partie la plus aride de l'île, dans le bassin du lac Tchad et dans la région du Nil bleu au Soudan. Il est également connu sur le pourtour du bassin méditerranéen, en Asie Orientale et en Australie. Il sévit dans les steppes et savanes et se nourrit de céréales (Fig. 24) (Medane, 2013).

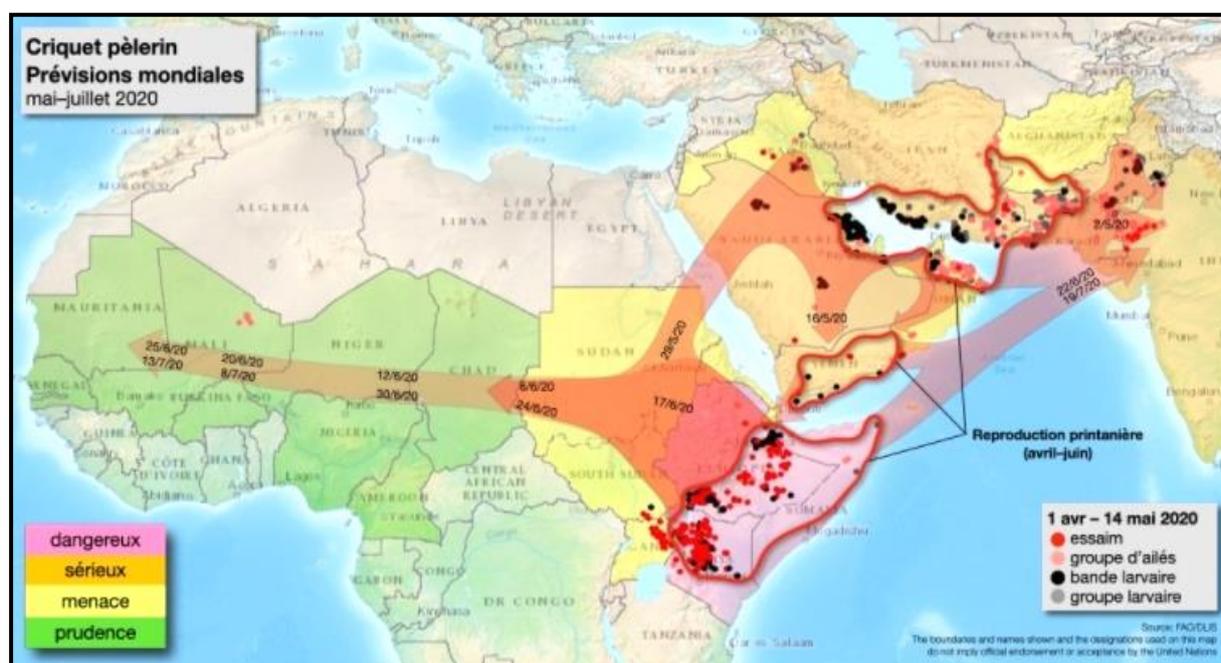


Fig. 23: Distribution géographique de *Schistocerca gregaria* dans le monde (FAO, 2020).

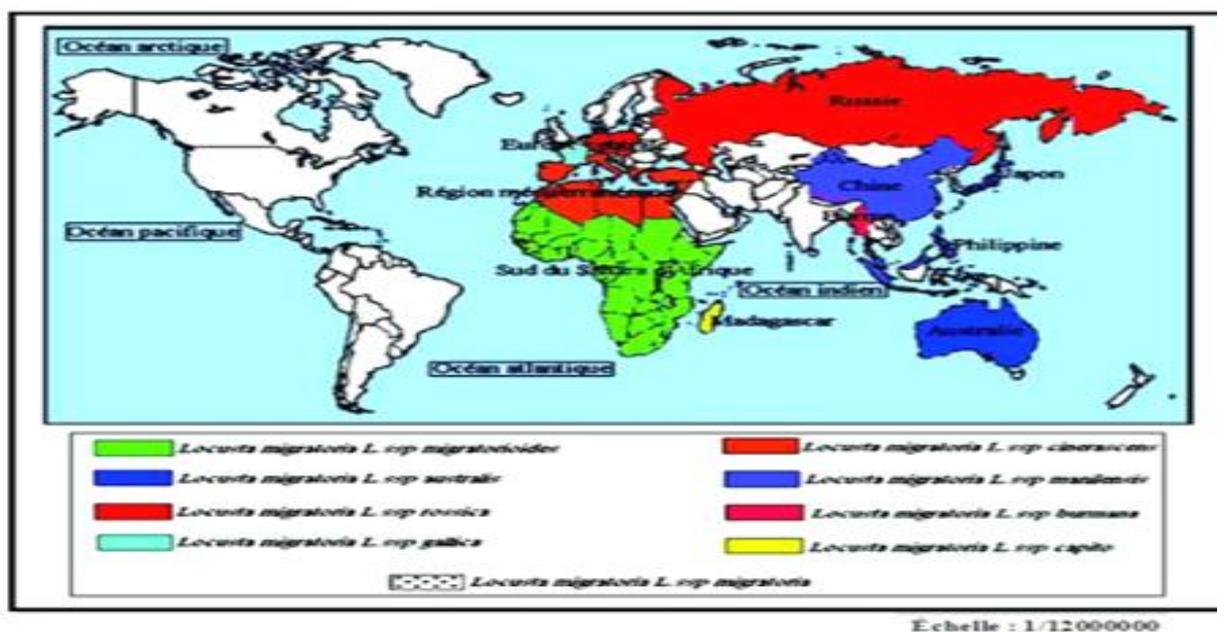


Fig. 24: Distribution géographique des sous-espèces de *Locusta migratoria* dans le monde (Bezaz, 2011).

II.2.2 En Algérie

D'après Chopard (1943), on rencontre les criquets migrants dans plusieurs wilayas de l'Algérie ; Oran (Chabet el Aneur, LallaMaghnia), à Saida, à Laghaout (Hammam Bouhadjar), à Biskra, à Skikda (philippeville), et Taref (El Kala) (Fig.25).

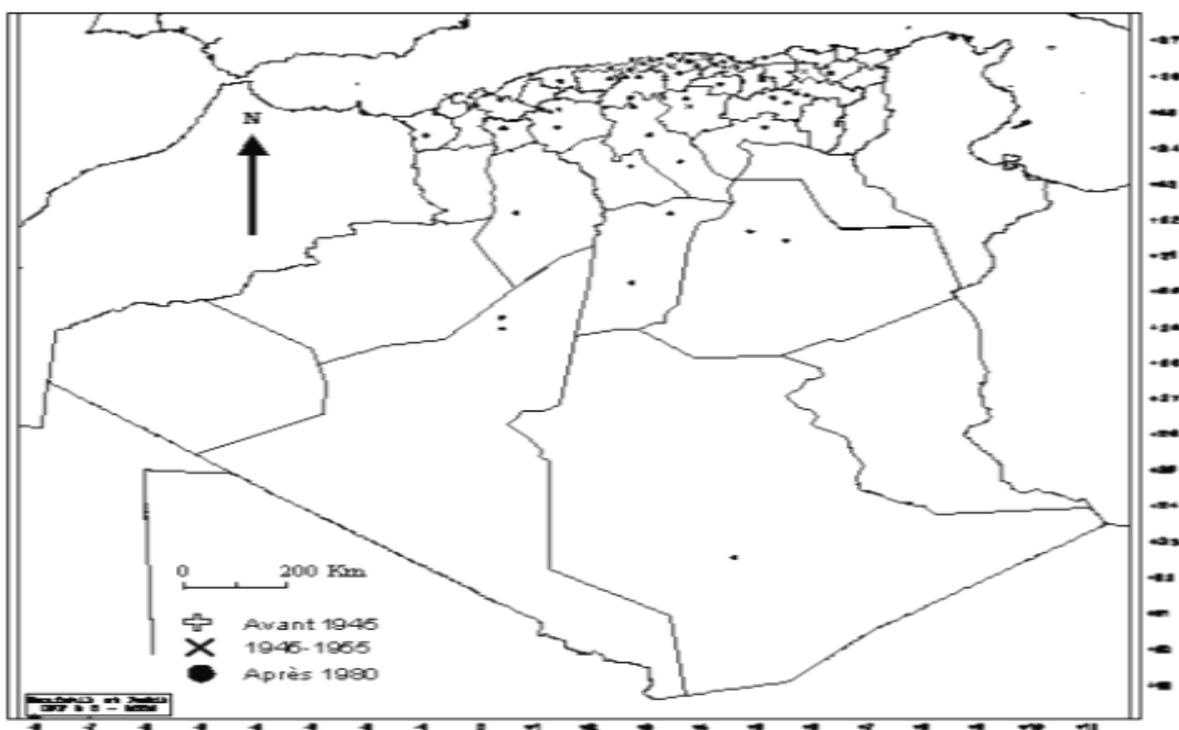


Fig. 25: Distribution générale de *Locusta migratoria* en Algérie (allal, 2006).

En période de rémission ; l'aire de reproduction de *Schistocerca gregaria* s'étale entre le Sahara central et le Sahara méridional, parfois au Sahara septentrional (il s'agit alors de populations transiens). Seuls le Sahara central et le Sahara méridional sont concernées par des reproductions régulières ou chroniques du criquet pèlerin solitaire (Fig. 26) (Guendouz *et al.*, 2006).

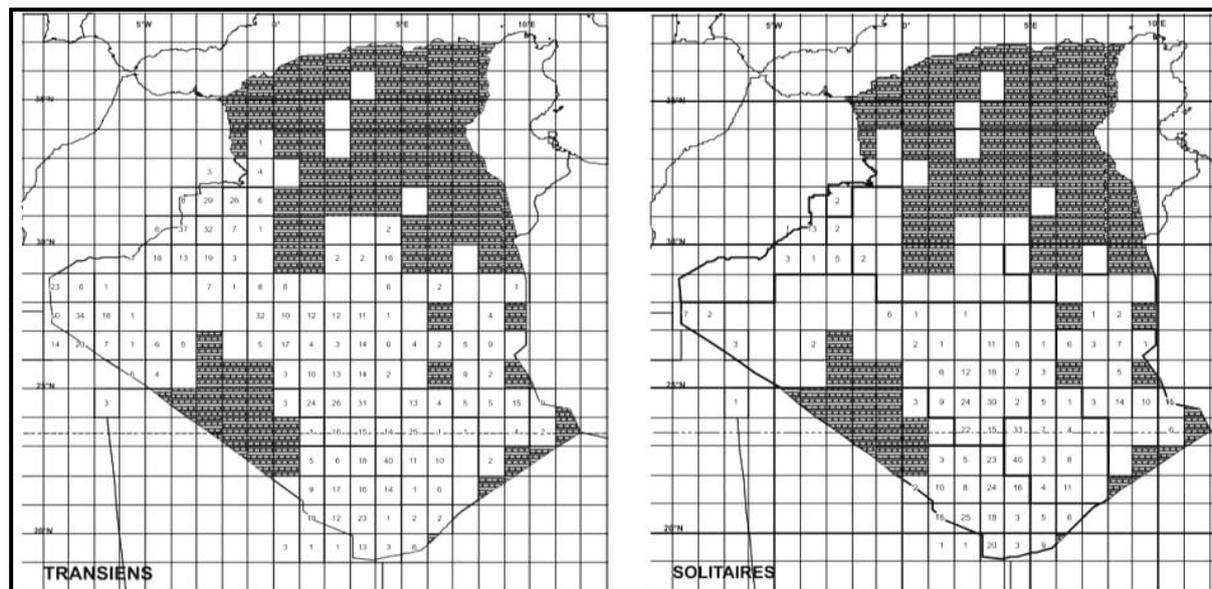


Fig. 26: Répartition des populations du Criquet pèlerin dans le Sahara algérien (état solitaire et transiens) (Mahdjoubi *et al.*, 2012).

II.3 Critères de choix des deux espèces

Pour une production rentable d'insectes comestibles, une espèce intéressante de point de vue nutritif doit être sélectionnée tout en privilégiant l'acceptabilité des consommateurs humains ou l'appétence des animaux (Rumpold et Schlüter, 2013).

L'insecte élevé devra être sélectionné sur base de sa taille, son comportement social (cannibalisme réduit), sa dangerosité envers les manipulateurs, sa tendance aux risques épidémiques, son potentiel de reproduction et de survie, ses bénéfices nutritionnels, son potentiel de stockage et sa qualité marchande (van- Huis *et al.*, 2003 ; Schabel, 2010).

II.3.1 Taille

Pour faire un bon élevage d'insectes comestibles, il faut choisir des insectes de taille moyenne à grande. En effet, ils sont bien plus faciles à élever que les insectes de très petite taille, car ils permettent un meilleur contrôle.

Le criquet pèlerin est un acridien de grande taille. Les femelles mesurent de 70 à 90 mm, les mâles de 60 à 75 mm (Duranton et Lecoq, 1990).

Locusta migratoria aussi est un criquet d'assez grande taille 35-50 mm pour le mâle et 45-52 mm pour la femelle.

II.3.2 Elevage peu coûteux

L'élevage des criquets peut se faire à la maison avec un peu d'organisation. Il nécessite peu de place et peu d'investissement financier, excepté au démarrage pour la création du vivarium.

II.3.3 Régime alimentaire

Les criquets sont des herbivores ; on peut trouver facilement de l'herbe fraîche. Ils adoreront aussi tout ce qui est jeunes pousses : blé, épinard, mâche, roquette, etc. Généralement, elles ont même plus de succès dans les plus petits élevages car, elles sont faciles à consommer et riches en nutriments. Les criquets peuvent survivre un certain temps avec uniquement du son et de l'eau au menu.

II.3.4 Dangérosité

L'élevage de criquets ne dégage aucune substance nocive (contrairement aux élevages de porcs par exemple).

II.3.5 Potentiel de reproduction

La femelle de *Schistocerca gregaria* peut pondre de 80 à 160 œufs par oothèque et en moyenne chacune d'entre elles pond deux oothèques en milieu naturel (Symmons et Cressman, 2001). Dans des conditions de développement optimales, une femelle peut déposer de 300 à 400 œufs au cours de sa vie (Tableau 5).

Tableau 5 : Nombre moyen de pontes dans des conditions favorables, d'après Popov (1989).

Phases	Moyenne de pontes	P1	P2	P3	P4
Solitaires	+3	140	110	90	70
Grégaires	2-3	70	65	60	50

Chaque femelle de *Locusta migratoria* peut pondre de 5 à 10 oothèques contenant chacune environ 50 à 90 (maximum 105) œufs pendant sa vie d'adulte. L'œuf d'un brun clair, mesure de 5,5 à 7,1 mm (Chapman et Robertson, 1958 ; Dirsh, 1959 ; Popov *et al.*, 1990). Elle se reproduit en continu et effectue 4 à 5 générations par an dans sa phase solitaire et 3 dans sa phase grégaire (Launois-Luong et Lecoq, 1989).

II.3.6 Cycle biologique

La durée globale d'une génération de Criquets pèlerins, solitaires ou grégaires, varie de 2 à 6 mois (Fig.27) (Duranton et Lecoq, 1990). Les caractéristiques des différents stades du cycle biologique sont présentées dans le (Tableau 6).

Tableau 6: Caractéristiques du cycle biologique du criquet pèlerin (Cressman et Symmons, 2001).

Stades	Œuf, larve, ailé	
Durée	Œuf	10 à 65 jours
	larve	24 à 95 jours (36 jours en moyenne)
	ailé	2 mois et demi à 5 mois
	Ponte à mue imaginale	40 à 50 jours
	Maturation des ailés	3 semaines à 9 mois (moyenne de 2 à 4 mois)
	total	2 à 6 mois

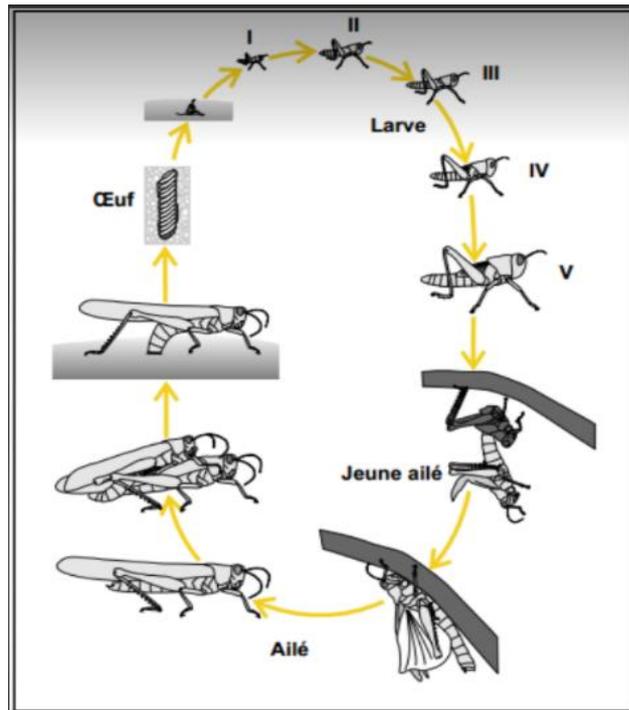


Fig. 27: Cycle biologique du criquet pèlerin (Cressman et Symmons, 2001).

Le cycle d'un criquet migrateur comporte six stades séparés par des mues. La croissance d'un stade à l'autre est impressionnante et le cycle complet est très court (8 à 10 semaines) (Fig.28) (Zergoun, 1994).

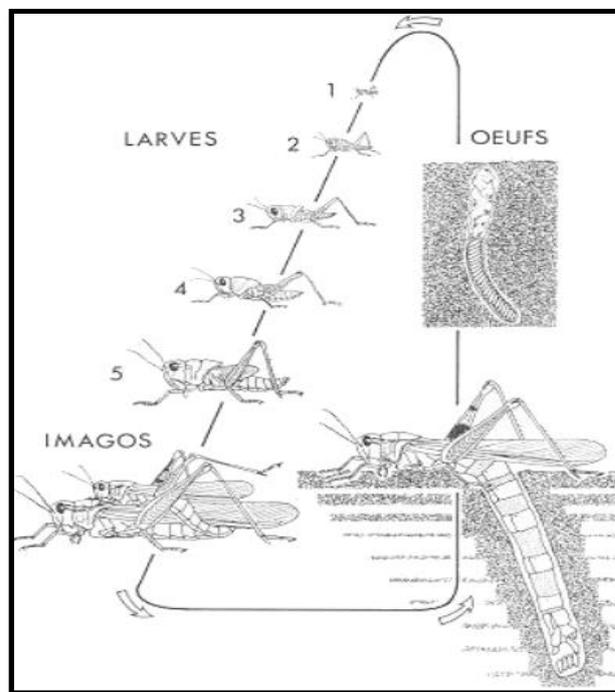


Fig.28: cycle biologique de criquet migrateur (source : http://locust.cirad.fr/tout_savoir/biologie/bio_1.html consulté le 10/06/2021).

II.3.7 Tradition de consommation des deux espèces en Algérie

En Afrique du Nord, les criquets étaient consommés soit à l'état frais, soit pilés et mélangés au fromage de lait de chamelle ou soit cuits et servis avec le couscous (Albouy et Chardigny, 2016).

Au Niger, au Mali, mais aussi en Algérie ou en Libye, les gens ont l'habitude de consommer des sauterelles et des criquets grillés, en grignotage comme des cacahuètes, et d'en donner aux animaux. Chez les Touareg, c'était l'une des composantes alimentaire de base (Marot, 2021).

Partie expérimentale

Chapitre III : Matériel et méthode

Objectif de travail

L'objectif de notre travail est de réaliser dans un premier temps un élevage de *Schistocerca gregaria* et de *Locusta migratoria* et d'étudier en deuxième temps la qualité microbiologique des farines issues de ces deux espèces élevées sur différents régimes.

III.1 Matériel biologique

III.1.1 Insectes

L'étude a été effectuée sur les farines issues des individus de deux espèces acridiennes *Schistocerca gregaria* et *Locusta migratoria*, les insectes utilisées proviennent d'un élevage réalisé dans les salles d'élevages de laboratoire VALCORE au niveau de l'université M'hamed Bougara Boumerdes (UMBB).

III.1.2 Substrat alimentaire

Le gazon, le son de blé et le tourteau de soja sont utilisés durant l'élevage des deux espèces acridiennes.

III.2 Matériel non biologique

III.2.1 Matériel d'élevage

Le matériel utilisé durant l'élevage des deux espèces acridiennes est le suivant :

- Des cages en bois et en contre-plaqué recouvertes du filet à mailles fines
- Des boîtes en plastique
- Des gobelets
- Résistance électrique
- Thermomètre
- Des bouteilles en plastique coupées
- Les élastiques
- Le sable
- Un filet
- les étiquettes

III.2.2 Milieux de cultures et matériel de laboratoire

Les milieux de cultures et le matériel de laboratoire utilisés sont présentés dans les annexes 1 et 3

III.3 Elevage des deux espèces acridiennes (*Schistocerca gregaria* et *Locusta migratoria*)

Afin d'obtenir le nombre d'individus de *Schistocerca gregaria* et *Locusta migratoria* nécessaire à la réalisation de notre expérimentation, un élevage de masse de ces deux espèces a été conduit au niveau d'une salle d'élevage à la Faculté des Sciences de l'université de M'Hamed Bougara Boumerdes (UMBB) à partir du 06 avril 2021.



Fig. 29 : Les cages utilisées dans l'élevage de *Schistocerca gregaria* et *Locusta migratoria* (Photo originale).

III.3.1 Température

La température optimale comprise entre 30°C et 35°C est assurée par un chauffage électrique réglable, et contrôlée par un thermomètre placé dans la salle d'élevage.

III.3.2 Humidité

L'humidité est de 60 à 65%

III.3.3 Eclairage

Éclairage naturel basé principalement sur la lumière du jour.

III.3.4 Régime alimentaire

Afin d'étudier le retentissement de l'alimentation sur la qualité nutritionnelle et microbiologique des farines d'insectes, nous avons réalisé des élevages basés sur deux régimes différents :

- **Régime 1 (R0)** : Le gazon frais + Le son de blé.
- **Régime 2 (R6)** : Le gazon frais + Le tourteau de soja.

III.3.5 Déroulement de l'élevage

- Les individus de *Schistocerca gregaria* et *Locusta migratoria* utilisés dans l'élevage sont issues de laboratoire VALCORE de l'Université de M'Hamed Bougara Boumerdes (UMBB).
- On met les individus des deux espèces (huit couples pour chacune) dans des cages étiquetées contenues des pondoires remplis de sable où ils peuvent effectuer des pontes ; ce sable doit être humidifié à chaque fois.
- Leur alimentation est basée sur le régime (R0.)
- Les pondoires contenant des pontes sont récupérés et recouverts par de la moustiquaire, étiquetées et placés dans la paille jusqu'à l'éclosion. Tout au long de la période d'incubation les pondoires de sables sont humidifiés pour assurer le bon développement de l'embryon, sachant que chaque œuf doit absorber son propre poids d'eau pour se développer normalement.
- Après l'éclosion, les larves sont mises dans des cages et leur alimentation est basée sur les deux régimes à tester (R6) et (R0).
- A chaque fois qu'on obtient des nouvelles larves on change le régime pour avoir des individus de différents régimes.
- Les observations sont programmées toutes les 24h pour le renouvellement de la nourriture, le nettoyage des cages et le contrôle des conditions d'élevage.

III.4 Préparation des échantillons

Pour produire les farines des criquets : *Schistocerca gregaria* et *Locusta migratoria* : les individus ont été récoltés au stade adulte, sacrifiés par congélation (-20°C/ 24h) puis séchés à l'étuve (55°C/ 24h) (Klunder, 2012).

Après le séchage, ces insectes séchés ont été broyés à l'aide d'un broyeur électrique jusqu'à l'obtention d'une farine homogène.

Les insectes utilisés sont ceux élevés durant la pandémie Covid 19 en 2020. Ces deux espèces ont été récoltés dans le but de faire des analyses biochimiques et microbiologiques puis stockés dans un congélateur à -20°C . A la reprise, ces insectes ont été séchés et broyés et mis dans des sacs en plastiques stériles et hermétiquement fermés pour les stockées à température ambiante pendant deux mois. Des analyses ont été effectuées sur ces farines pour voir aussi l'impact du stockage sur la qualité microbiologique puis nutritionnelle de ces dernières.

Nos analyses ont été effectuées sur huit types de farines :

- Une farine fraîche de *Schistocerca gregaria* élevée sur le régime R0 (R0.Sch.F).
- Une farine fraîche de *Schistocerca gregaria* élevée sur le régime R6 (R6.Sch.F).
- Une farine stockée de *Schistocerca gregaria* élevée sur le régime R0 (R0.Sch.S).
- Une farine stockée de *Schistocerca gregaria* élevée sur le régime R6 (R6.Sch.S).
- Une farine fraîche de *Locusta migratoria* élevée sur le régime R0 ((R0.L.F).
- Une farine fraîche de *Locusta migratoria* élevée sur le régime R6 (R6.L.F).
- Une farine stockée de *Locusta migratoria* élevée sur le régime R0 ((R0.L.S).
- Une farine stockée de *Locusta migratoria* élevée sur le régime R6 (R6.L.S).



A



B

Fig. 30 : Les individus de *Schistocerca gregaria* après séchage et stockage dans des sacs en plastiques stériles (A, B) (Photo originale).



Fig. 31 : Farine de *Schistocerca gregaria* obtenue après broyage (Photo originale).

III.5 Détermination de la teneur en matière sèche des échantillons de criquets (MS)

La matière sèche ou les solides totaux sont définis comme étant le résidu d'un aliment restant après élimination de l'eau, dans des conditions expérimentales données.

➤ **Principe**

La teneur en matière sèche de chaque échantillon est déterminée en procédant à la dessiccation de l'échantillon de criquets à 105 °C dans une étuve ventilée jusqu'à l'obtention d'un poids constant. La différence de poids correspond à la perte d'humidité et le résidu caractérise la teneur en matière sèche de l'échantillon (Norme AFNOR NF V04-401, 2001).

- ✓ La MS de l'échantillon est calculée en appliquant la règle de trois.=

$$\text{MS}\% = (\text{PF}.100) / \text{PI}$$

Avec :

MS% : Teneur en matière sèche

PF: poids Final

PI: poids Initial

III.6 Analyses microbiologiques

Le contrôle microbiologique permet de contrôler la présence de microorganismes pathogènes afin de ne pas risquer une altération de la qualité hygiénique des produits finis ou au moins de détecter des microorganismes s'ils sont présents dans les produits finis avant leur consommation (Multon, 1993).

Les analyses microbiologiques sont effectuées sur les huit farines de criquets. Les germes recherchés sont : les germes d'altération de la qualité marchande (les levures et moisissures), les pathogènes (*Staphylococcus aureus*, *Salmonella spp*, les anaérobies sulfite-réducteurs), les germes témoins de contamination fécale et les germes aérobies mésophiles totaux (FAMT).

III.6.1 Protocole

Les analyses microbiologiques sont effectuées en suivant le protocole présenté dans le tableau 7

Tableau.7: Protocole d'analyse microbiologique

GERMES	MILIEUX	TEMPERATURE ET DUREE D'INCUBATION	ASPECT
GAM : Germes Aérobie Mésophile	PCA	30°C pendant 72h	Toutes les colonies blanchâtres de tailles et formes différents.
Coliformes totaux	VRBL	37°C pendant 24h à 48h.	Colonies rouge violettes d'un diamètre d'au moins 0.5mm.
Coliformes fécaux		44°C pendant 24 h à 48h.	
<i>Staphylocoques aureus</i>	CHAPMAN	37°C pendant 24h à 48h.	Colonies de taille moyenne, lisse, brillante, pigmentées en jaune et pourvues d'une catalase et d'une coagulase.
ASR : les anaérobie sulfito-réducteurs	VIANDE FOIE	37°C pendant 24h à 48h.	Des colonies entourées d'un halo noir à l'intérieure de la gélose.
Levures et moisissures	SABOURAUD	26°C pendant 5jours	Les levures : des colonies crémeuses blanche ou blanchâtre. Les moisissures : les colonies duveteuses.
<i>Salmonelles</i>	Pré-enrichissement : BLMT	37°C pendant 24h et 48h	Colonies vert-bleue à centre noire
	Enrichissement : SFB	37°C pendant 24h et 48h	
	Isolement : Hectoén	37°C pendant 24h et 48h	

III.6.2 Préparation de la solution mère

La préparation des solutions mères pour les farines a été réalisée selon le procédé ci-dessous :

- Dans une zone stérile, devant un bec Bunsen allumé et sur une paillasse préalablement désinfectée par une solution d'eau de javel, les farines des deux types d'insectes sont préparées pour l'analyse microbiologique.
- 10 g de chaque échantillon à analyser ont été introduits dans des flacons stériles. Nous avons ajouté aseptiquement à ces derniers 90 mL de sérum salé à l'aide d'une éprouvette graduée stérile.
- Ces mélanges ont été homogénéisés à l'aide d'un agitateur magnétique.
- À la fin nous avons obtenu des suspensions mères. Ces dernières sont à 10^{-1} .

III.6.3 Préparation des dilutions décimales

Les dilutions décimales successives sont préparées à partir de la solution mère, dans des conditions aseptiques (devant bec Bunsen).

- L'eau physiologique utilisée comme diluant, est répartie aseptiquement dans des tubes à essai stériles en raison de 9 mL par tube.
- 1 mL de la suspension mère est prélevé, transféré dans un autre tube contenant 9 mL de diluant. Après homogénéisation on obtient une suspension à 10^{-2} .
- On prélève ensuite 1 mL de la suspension 10^{-2} qu'on met dans un autre tube à essai contenant 9 mL de diluant. Après homogénéisation, une dilution de 10^{-3} est obtenue.

III.6.4 Recherche et dénombrement des germes aérobies mésophiles (ISO4833/2003)

La flore aérobie mésophile totale est constituée d'un ensemble de microorganismes variés correspondant aux germes banaux de contamination (Guiraud et Rosec, 2004). Leur dénombrement permet d'avoir une idée sur la qualité microbiologique générale d'un produit naturel. La flore aérobie mésophile totale est un bon indicateur de la qualité générale et de stabilité des produits ainsi que de la qualité (propreté) des installations (Guiraud, 2012).

➤ **Mode opératoire**

- À partir de la solution mère ou de chaque dilution décimale (10^{-2} , 10^{-3}) on a porté aseptiquement 1 mL dans une boîte de Pétri vide et stérile préparée à cet usage et numérotée. Ensuite on a complété avec environ 15 mL de gélose plate count agar (PCA) en surfusion.
- On a mélangé soigneusement l'inoculum et le milieu de culture par des mouvements sous forme de « 8 » afin d'obtenir une répartition homogène des germes dans la masse de milieu.
- Enfin, les boîtes de Pétri ont été posées sur la paillasse pour la solidification du milieu. L'incubation des boîtes retournées se fait dans une étuve réglée à 30°C. La lecture a lieu après 72h par dénombrement des colonies blanchâtres qui poussent en profondeur.

➤ **Lecture**

Après 72h d'incubation, La flore aérobique mésophile totale se présente sous forme de colonies blanchâtres de tailles et formes différentes.

III.6.5 Recherche et dénombrement des levures et moisissures (ISO 21527-1,2008)

Les levures et les moisissures sont des cellules eucaryotes regroupés sous le vocable de flore fongique (ALAIS, 1984).

- **Levures** : sont des microorganismes eucaryotes, qui à 25°C sur milieu gélosé Sabouraud développent des colonies rondes mates ou brillantes à la surface du milieu ayant généralement un contour régulier et une surface plus ou moins convexe.
- **Moisissures** : sont des microorganismes filamenteux aérobies mésophile (Nicklin *et al.*, 2000), qui développent un étalement plat ou duveteux souvent avec des structures de fructification ou de sporification colorées (Botton *et al.*, 1990).

➤ **Mode opératoire**

- Les boîtes de Pétri sont préparées, puis couler par la gélose Sabouraud et en surfusion et laisser solidifier.
- Prélever une prise d'essai de 0,1mL des solutions mères et des dilutions et l'ensemencer en surface des boîtes correspondantes.
- Les boîtes sont incubées à 20-25°C pendant 5 jours.

➤ **Lecture**

Après incubation, les colonies sont comptées. Les moisissures se distinguent des levures par leur morphologie (aspect duveteux).

III.6.6 Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux (*Escherichia coli*) (NA 2691 1992 E)

Les coliformes étant des bactéries vivant dans les intestins d'animaux ou humains, leur présence dans l'aliment indique une pollution fécale. Ce sont donc des organismes indicateurs de la qualité de l'aliment. Ils ne provoquent pas d'intoxication sauf *Escherichia coli*.

- **Coliformes** : Il s'agit de Bacilles Gram Négatifs (BGN), aérobies ou anaérobies facultatifs, non sporulés, ne possédant pas d'oxydase, capables de se multiplier en présence de sels biliaries et capables de fermenter le lactose avec production d'acide et de gaz en 24 à 48 heures à une température comprise entre 36 et 37°C, selon l'ISO.
- **Coliformes Thermo-tolérants** : Il s'agit là de coliformes possédant les mêmes caractéristiques que les coliformes mais à 44°C ; ils remplacent dans la majorité des cas l'appellation de «Coliformes fécaux ».
- ***Escherichia coli*** : Il s'agit là de coliformes Thermo-tolérants qui produisent, en outre, de l'indole à partir du tryptophane à 44°C.

➤ **Principe**

Il s'agit d'une culture en profondeur d'un milieu gélosé VRBL.

➤ **Ensemencement**

- À partir de la solution mère ainsi que de ses dilutions décimales (10^{-1} , 10^{-2} à 10^{-3}), on procède à un ensemencement en profondeur, en portant aseptiquement 1 mL dans les boîtes de pétri stériles, auxquelles on ajoute 15 mL VRBL fondue puis refroidie à 45°C.
- Faire ensuite des mouvements circulatoires pour permettre à l'inoculum de se mélanger à la gélose.
- Laisser solidifier sur paillasse.

➤ **Incubation**

- Incuber les boîtes, couvercle en bas,
- à 37 °C pendant 24 h à 48 h pour les coliformes totaux,

- et à 44 °C pendant 24 à 48 h pour les coliformes fécaux.

Le résultat positif se traduit par l'apparition des colonies de couleur rouge violettes d'un diamètre d'au moins 0.5 mm.

III.6.7 Recherche et dénombrement de *Staphylococcus aureus*

- **Morphologie** : gram positif, coque en amas (grappes de raisin), immobile.
- **Caractères biochimiques** : catalase positif, oxydase négatif, coagulase positif, fermente le glucose sans gaz et dégrade le mannitol sur la gélose Chapman.
- **Caractères cultureux** : anaérobie facultative préférentielle mésophile, neutrophile, halophile.
- **Pouvoir pathogène** : Elle est responsable d'intoxications alimentaires dues à une entérotoxine produite dans l'aliment ingéré.

➤ Mode opératoire

a- Ensemencement et incubation

Le dénombrement des staphylocoques est réalisé par un ensemencement en surface sur le milieu sélectif Chapman. L'incubation a été de 24 à 48 heures à 37°C. A partir de la solution mère ou des dilutions décimales, on porte aseptiquement 0,1 mL dans les boîtes de Pétri contenant préalablement le milieu solide, on étale l'inoculum en surface à l'aide d'un étaleur. Les boîtes sont portées température de 37°C pour incubation pendant 48 heures (Dennaïet *al.*, 2001).

b- Lecture

Staphylocoque aureus se présente alors sous forme de colonie de taille moyenne, lisse, brillante, pigmentées en jaune et pourvues d'une catalase et d'une coagulase.

III.6.8 Recherche des *Salmonelles* (NF V 08-052 Mai 1997)

Il s'agit de bactéries appartenant à la grande famille des entérobactériacées, se présentant sous forme de bacilles droits, à coloration Gram négative, mobiles, non sporulés, aéro-anaérobies facultatifs (Laval *et al.*, 1991).

- **Pouvoir pathogène** : Elles sont responsables de toxi-infection alimentaire.

➤ **Mode opératoire**

La recherche des salmonelles se fait par la méthode qualitative réalisée en trois étapes successives :

Le prés-enrichissement, l'isolement et l'identification biochimique (Rodier *et al.*, 1996).

1. Pré-enrichissement

On introduit 1mL de la solution mère dans un tube contenant le milieu BLMT qui sera incubé à 37 °C pendant 24 heures.

2. Enrichissement

On introduit 1mL du milieu BLMT probablement ensemencé dans un tube contenant le milieu SFB qui sera incubé par la suite à son tour à 37 °C pendant 24h.

3. Isolement

Ensemencement du milieu sélectif solide Hektoen à partir du tube positif du bouillon d'enrichissement, l'incubation se fait à 37 °C pendant 24 heures. L'identification d'entérobactéries pathogènes repose sur la non utilisation des glucides présents dans le milieu, et l'apparition des colonies vert-bleue à centre noir.

III.6.9 Recherche et dénombrement des *Clostridium Sulfito-Réducteurs*

Les clostridium sont des bacilles à Gram-, souvent de grande taille, isolé ou en chaînette. Ces bactéries sont généralement mobiles, commensales de l'intestin. Elles sont utilisées comme témoin d'hygiène dans l'analyse microbiologique d'un certain nombre de produit, leur présence dans les aliments est indicateur de contamination fécale (Guiraud, 2003)

➤ **Pouvoir pathogène :** cette bactérie à la capacité de produire des entérotoxines et elle est responsable des toxi-infections alimentaires.

a- Ensemencement et incubation

Leur dénombrement nécessite un chauffage à 80°C pendant 10 minutes des deux tubes contenant chacun 2ml de la solution mère (10^{-1}) additionné de:

- 20 mL de la gélose viande foie
- quatre gouttes d'alun de fer
- 1 mL de sulfite de sodium.

L'incubation a lieu à 37° C pendant 72 heures. Les spores de Clostridiums sulfito-réducteurs apparaissent sous forme de grosses taches noires. GUIRAUD, (2003)

b- Lecture

Les *Clostridium sulfito-réducteurs* se développent sous forme de grosses colonies noires dues à la réaction des sulfites qui se précipitent avec les ions de fer. Chaque colonies noire est issue d'une spore (ISO 15213 ; Guiraud et Galzy, 1980).

III.6.10 Expression des résultats**➤ Cas général : entre 15 à 300 colonies visibles à la surface du milieu de culture**

- Le cas général s'applique lorsque au moins une boîte de Pétri présente au minimum 15 colonies visibles à la surface du milieu de culture après incubation.
- Le nombre de colonies doit être compris entre 30 et 300 pour les bactéries.
- Pour les levures et les moisissures, on retient pour le calcul les dilutions présentant entre 10 et 150 colonies par boîte.
- Le dénombrement s'est fait selon la norme ISO 7218 (octobre 2007). Les résultats obtenus ont été exprimés en unité format colonies (UFC) par boîte; ces derniers sont ensuite repris en UFC/g par l'application de la formule suivante :

$$N = \frac{\Sigma C}{V(n_1+0,1n_2)d}$$

Avec :

N: nombre de colonies.

ΣC: somme des colonies comptées sur l'ensemble des boîtes de Pétri sélectionnées et exploitables (boîtes provenant de deux dilutions successives et dont au moins une contient 15 colonies ; seules les boîtes correspondant à un nombre d'UFC inférieur ou égal à 300 sont considérées dans le calcul).

V: volume de la suspension étalée à la surface des milieux en mL (par exemple 0,1 mL).

n1 : le nombre de boîtes retenues à la première dilution (la plus faible).

n2 : le nombre de boîtes retenues à la seconde dilution (la plus forte).

d : taux de dilution correspondant à la dilution (la plus faible retenue).

➤ Estimation des petits nombres : de 1 à 14 colonies visibles à la surface du milieu de culture

- Le cas de l'estimation des petits nombres s'applique lorsqu'aucune des boîtes de Pétri ne présente plus de 14 colonies visibles à la surface du milieu de culture après incubation.
- On calcule le nombre de microorganismes par la formule suivante :

$$N = \frac{\Sigma C}{v \times n \times d}$$

Avec :

ΣC : somme des colonies comptées sur les boîtes de Pétri sélectionnées et exploitables (boîtes provenant de l'étalement d'une seule et même dilution et présentant un nombre d'UFC strictement inférieur à 15).

N : nombre d'UFC (unités formant colonies) observées sur l'ensemble des boîtes sélectionnées.

V : volume de la suspension étalée à la surface des milieux en mL.

n : nombre de boîtes exploitables (1 ou 2 dans ce cas).

d : taux de dilution de la suspension étalée sur les boîtes de Pétri retenues pour le calcul.

III.7 Analyses statistiques

Les moyennes des germes dénombrés ont été calculées et comparées deux à deux par le test t de student sur IBS SPSS Statistics 25 pour les différents groupes : STOCKAGE (farines fraîches et farines stockées), LES REGIMES ALIMENTAIRES (R0 et R6) et les ESPECES D'INSECTES (Locusta et Shisto). Pour étudier l'influence des différents groupes sur la qualité microbiologique des farines d'insectes le test non paramétrique de KRUSKAL WALLIS a été utilisé ainsi que le test de Mann Whitney pour la matière sèche. Pour Les staphylocoques, les coliformes et les salmonelles, les résultats étaient négatifs et par conséquent, n'ont pas été prise en compte dans le modèle d'analyse.

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV.1 Résultats d'élevage des deux espèces acridiennes (*Schistocerca gregaria* et *Locusta migratoria*)

Les larves et les adultes de deux espèces acridiennes *Schistocerca gregaria* et *Locusta migratoria* se sont bien développés sur les deux régimes utilisés. On a obtenu presque le même rendement avec le régime R0 (gazon+ son de blé) et le régime R6 (gazon + tourteau de soja), ce qui explique que ces derniers (R0 et R6) sont convenables pour les élevages des de ces deux espèces de criquet.



A1

A2



B1

B2

Fig. 32 : Les individus des deux espèces acridiennes *Schistocerca gregaria* (A1 Larves, A2 Adultes) et *Locusta migratoria* (B1 larves, B2 Adultes) issus d'élevage au laboratoire sur les deux régimes.

IV.2 Résultats de la détermination de la matière sèche (MS)

La teneur en matière sèche des individus de *Schistocerca gregaria* et de

Locusta migratoria est consigné dans le tableau 8.

Tableau 8: Résultats de la détermination de la matière sèche de deux espèces d’insectes comestibles (*Schistocerca gregaria* et *Locusta migratoria*).

	R0.L	R6.L	R0.Sh	R6.Sh
MS	40,67 %	46,88 %	42,06 %	38,18 %

D'après ce tableau on remarque une légère différence entre la teneur en matière sèche des échantillons, ça s'explique par la différence dans le substrat d'élevage des individus de *Schistocerca gregaria* et *Locusta migratoria*.

L'étude statistique sur la teneur en matière sèche des deux espèces d'insectes sur les deux régimes ne montre pas de différence significative ($p > 0.05$) (test U de Mann Whitney pour échantillons indépendants) (fig .40).

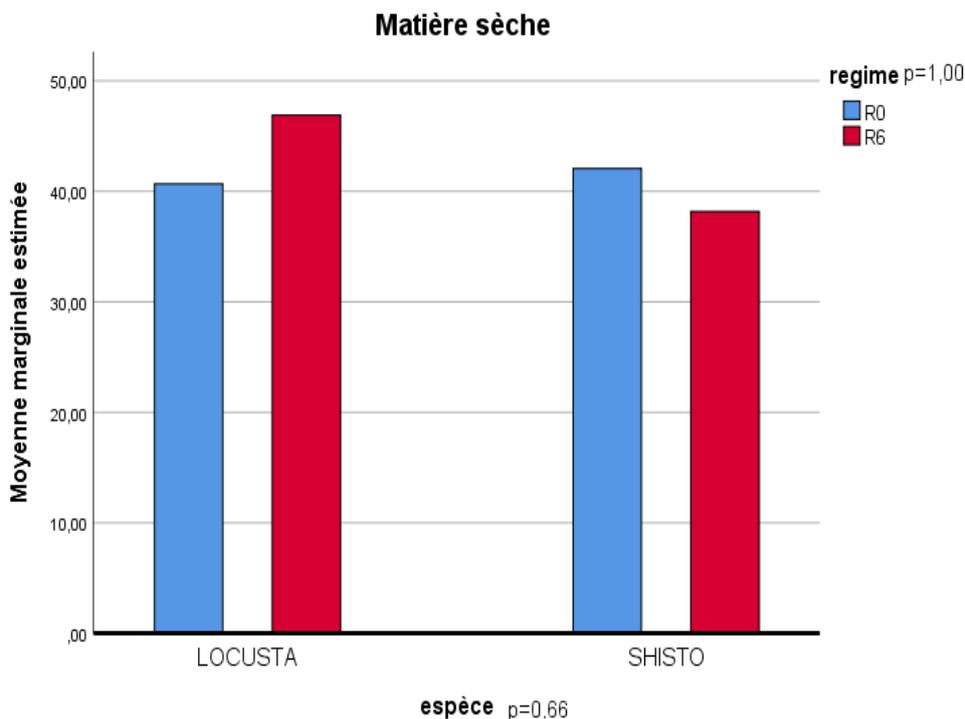
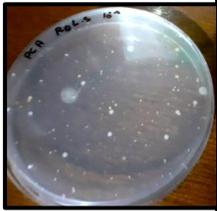
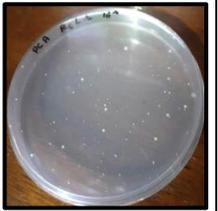
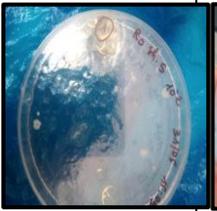
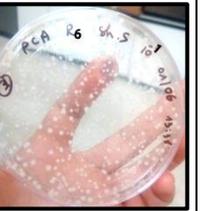
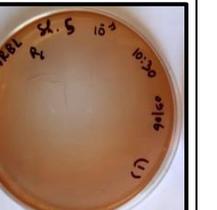


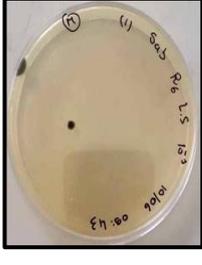
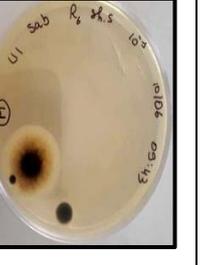
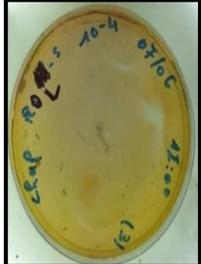
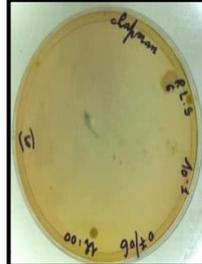
Fig.33 : Test U de Mann Whitney pour échantillons indépendants pour la teneur en matière sèche entre les deux espèces et les deux régimes.

IV.3 Résultats des analyses microbiologiques

Les résultats des analyses microbiologiques des farines issues des deux espèces d'insectes comestibles (*Schistocerca gregaria* et *Locusta migratoria*) analysées à la fois frais et après stockage sont présentés dans le tableau 9 et 10.

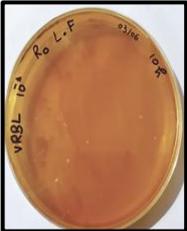
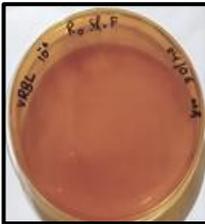
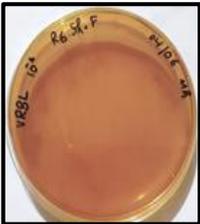
Tableau 9 : Charge microbienne de la farine stockées de *Schistocerca gregaria* et *Locusta migratoria*.

Les germes recherchés	R0.L.S	R6.L.S	R0.Sh.S	R6.Sh.S
FAMT	 <p>Test positif : présence de colonies blanchâtres de tailles et formes différentes.</p>	 <p>Test positif : présence de colonies blanchâtres de tailles et formes différentes.</p>	 <p>Test positif : présence de colonies blanchâtres de tailles et formes différentes.</p>	 <p>Test positif : présence de colonies blanchâtres de tailles et formes différentes.</p>
Coliformes Totaux	 <p>Test négatif : absence de colonies rouges violettes.</p>	 <p>Test négatif : absence de colonies rouges violettes.</p>	 <p>Test négatif : absence de colonies rouges violettes.</p>	 <p>Test négatif : absence de colonies rouges violettes.</p>

<p>Coliformes fécaux(<i>E.coli</i>)</p>				
<p>Levures et moisissures</p>				
<p><i>Staphylococcus aureus</i></p>				

<p><i>Salmonelles</i></p>	 <p>Test négatif : absence de changement de couleur (absence de <i>salmonelles</i>).</p>	 <p>Test négatif : absence de <i>salmonelles</i>.</p>	 <p>Test négatif: absence de <i>salmonelles</i>.</p>	 <p>Test négatif : absence de <i>salmonelles</i>.</p>
<p><i>Clostridium sulfito- réducteur</i></p>	 <p>Test négatif : absences des <i>Clostridium</i> sulfito- réducteur.</p>	 <p>Test positif : présence de colonies entourées d'un halo noir à l'intérieure de la gélose.</p>	 <p>Test positif : présence de colonies entourées d'un halo noir à l'intérieure de la gélose.</p>	 <p>Test positif : présence de colonies entourées d'un halo noir à l'intérieure de la gélose.</p>

Tableau 10 : Charge microbienne de la farine fraîche de *Schistocerca gregaria* et *Locusta migratoria*.

Les germes recherchés	R0.L.F	R6.L.F	R0.Sh.F	R6.Sh.F
FAMT	 <p>Test négatif : absences de colonies blanches de la FAMT</p>	 <p>Test négatif : absences de colonies blanches de la FAMT</p>	 <p>Test négatif : absences de colonies blanches de la FAMT</p>	 <p>Test négatif : absences de colonies blanches de la FAMT</p>
Coliformes Totaux	 <p>Test négatif : absence des coliformes totaux</p>	 <p>Test négatif : absence des coliformes totaux</p>	 <p>Test négatif : absence des coliformes totaux</p>	 <p>Test négatif : absence des coliformes totaux</p>
Coliformes fécaux (<i>E. coli</i>)	 <p>Test négatif : absence des coliformes fécaux</p>	 <p>Test négatif : absence des coliformes fécaux</p>	 <p>Test négatif : absence des coliformes fécaux</p>	 <p>Test négatif : absence des coliformes fécaux</p>

<p>Levures et moisissures</p>	 <p>Test négatif : Absence de moisissures et de levures</p>	 <p>Test négatif : Absence de moisissures et de levures</p>	 <p>Test négatif : Absence de moisissures et de levures</p>	 <p>Test négatif : Absence de moisissures et de levures</p>
<p><i>Staphylococcus aureus</i></p>	 <p>Test négatif : absence de <i>Staphylococcus aureus</i></p>	 <p>Test négatif : absence de <i>Staphylococcus aureus</i></p>	 <p>Test négatif : absence de <i>Staphylococcus aureus</i></p>	 <p>Test négatif : absence de <i>Staphylococcus aureus</i></p>
<p><i>Salmonelles</i></p>	 <p>Test négatif : absence des <i>salmonelles</i></p>	 <p>Test négatif : absence des <i>salmonelles</i></p>	 <p>Test négatif : absence des <i>salmonelles</i></p>	 <p>Test négatif : absence des <i>salmonelles</i></p>

<i>Clostridium sulfito-réducteurs</i>				
	Test négatif : absences des Clostridium	Test négatif : absences des Clostridium	Test négatif : absences des Clostridium	Test négatif : absences des Clostridium

IV.4 Analyse Statistique

IV.4.1 Analyses microbiologiques

Pour l'ensemble des échantillons, la charge en FMAT a varié de 00 à 3,43 log UFC/g avec une moyenne de 1,53 log UFC/g. Pour les levures, la charge a varié de 00 à 1,30 log UFC/g avec une moyenne de 0,25log UFC/g. De même pour les moisissures avec une moyenne de 0,38 log UFC/g. Pour les anaérobies sulfito-réducteurs (ASR), la charge a varié de 00 à 1,60 log UFC/g avec une moyenne de 0,45 log UFC/g. Les grandes valeurs des écart-types (tableau 11) signifient une variabilité importante entre les échantillons en fonction des différents groupes étudiés.

IV.4.1.1 Critères d'hygiène des procédés

Le tableau 11 représente les critères d'hygiène du procédé avec leurs seuils, et le degré de conformité de nos échantillons. Il n'existe pas de critères spécifiques pour les insectes comestibles alors nous avons pris les critères relatifs aux Crustacés et mollusques cuits, Produits décortiqués et décoquillés de crustacés cuits, la viande et charcuterie Jouve *et al.*, 1996, Baumgart *et al.*, 2003, EFSA (2004-2009).

Les valeurs maximales de l'ensemble de nos échantillons de farines d'insectes ne dépassent pas les seuils des critères d'hygiène alimentaires (tableau 11).

Le respect des critères d'hygiène des procédés dépend de l'espèce d'insectes, de la technique de transformation, de régimes alimentaires comme substrat d'élevage et de stockage.

Pour cela nous avons étudié le retentissement de ces différents facteurs (l'espèce, les régimes alimentaires et l'effet de stockage.) sur la qualité microbiologique de nos farines d'insectes. Nous n'avons pas étudié le facteur : technique de transformation car elle est la même pour l'ensemble des échantillons.

Tableau 11 : Statistiques descriptives des analyses microbiologiques de tous les échantillons (N= 24) utilisés dans l'étude exprimés en log ufc/g et les seuils des critères d'hygiène.

	N	Minimu m	Maximu m	Moyenne	Ecart type	Normes log ufc/g (min – max)
FMAT	24	,00	3,43	1,5389	1,51131	4 à 5
Levures	24	,00	1,30	,2496	,42680	1 à 3 (Klein et Schütz, 2011)
Moisissur es	24	,00	1,48	,3797	,50414	4 (Klein et Schütz, 2011)
Coliform es	24	,00	,00	,0000	,00000	00 à 1
Staphyloc oques	24	,00	,00	,0000	,00000	2 à 3
Salmonell es	24	,00	,00	,0000	,00000	Abs dans 25g
ASR	24	,00	1,60	,4557	,61911	2 à 4 EFSA-Q-2004-2009

IV.4.1.2 Flore Mésophile Aérobie

Par rapport à l'effet des régimes sur la qualité microbiologique des farines d'insectes aucune variation n'a été observée pour la FAMT entre les deux régimes utilisés R0 et R6 ($p=0.87 - p>0.05$) et de même entre les deux espèces d'insectes *Schistocerca gregaria* et *Locusta migratoria* ($p=0.95 - p>0.05$) ; alors que pour l'effet de stockage la FAMT a été plus dénombrée dans les farines stockées que dans les farines fraîches avec une différence hautement significative ($p=0.000 - p<0,05$) (tableaux, 12 et 13).

Tableau 12 : Statistiques descriptives de la FAMT dans les différents groupes d'études.

Statistiques de groupe					
	Régime	N	Moyenne	Ecart type	Moyenne erreur standard
FMAT	R ₀	12	1,5903	1,57826	,45560
	R ₆	12	1,4875	1,50966	,43580
	Espèce	N	Moyenne	Ecart type	Moyenne erreur standard
FMAT	Locusta	12	1,5195	1,50060	,43319
	Schisto	12	1,5584	1,58843	,45854
	stockage	N	Moyenne	Ecart type	Moyenne erreur standard
FMAT	Farine fraîche	12	,0882	,15706	,04534
	Farine stockée	12	2,9897	,39893	,11516

Tableau 13 : Test t de Student comparant les moyennes de la FAMT dans les différents groupes d'études.

Régime		Test de Levene sur l'égalité des variances		Test t pour égalité des moyennes		
		F	Sig.	t	ddl	Sig. (bilatéral)
FMAT	Hypothèse de variances égales	,605	,445	,163	22	,872
Espèce		F	Sig.	t	ddl	Sig. (bilatéral)
FMAT	Hypothèse de variances égales	1,020	,323	-,062	22	,951
	Hypothèse de variances inégales			-,062	21,929	,951
stockage		F	Sig.	t	ddl	Sig. (bilatéral)
FMAT	Hypothèse de variances égales	5,423	,029	-23,443	22	,000

	Hypothèse de variances inégales			-23,443	14,330	,000
--	---------------------------------	--	--	---------	--------	------

IV.4.1.3 Levures

La présence des levures dans les farines d’insectes est d’autant plus importante dans les farines stockées que dans les farines fraîches avec une légère différence significative ($p=0.05$) ; ainsi que pour le régime R6 par rapport à R0 (0.32 log ufc/g et 0,18 log ufc/g respectivement) sans qu’il ait de différence significative entre les deux régimes ($p=0.43$).

Les farines des deux espèces présentent les mêmes charges en levures (tableaux 14 ,15).

Tableau 14 : Statistiques descriptives des levures dans les différents groupes d’études.

Statistiques de groupe					
	Régime	N	Moyenne	Ecart type	Moyenne erreur standard
Levures	R ₀	12	,1799	,33852	,09772
	R ₆	12	,3193	,50565	,14597
	Espèce	N	Moyenne	Ecart type	Moyenne erreur standard
Levures	Locusta	12	,2334	,39338	,11356
	Schisto	12	,2658	,47493	,13710
	stockage	N	Moyenne	Ecart type	Moyenne erreur standard
Levures	Farine fraîche	12	,0748	,15753	,04548
	Farine stockée	12	,4244	,53795	,15529

Tableau 15 : Test t de Student comparant les moyennes des levures dans les différents groupes d'études.

Régime		Test de Levene sur l'égalité des variances		Test t pour égalité des moyennes		
		F	Sig.	t	ddl	Sig. (bilatéral)
Levures	Hypothèse de variances égales	2,147	,157	-,794	22	,436
	Hypothèse de variances inégales			-,794	19,211	,437
Espèce		F	Sig.	t	ddl	Sig. (bilatéral)
Levures	Hypothèse de variances égales	,522	,478	-,182	22	,857
	Hypothèse de variances inégales			-,182	21,263	,857
stockage		F	Sig.	t	ddl	Sig. (bilatéral)
Levures	Hypothèse de variances égales	53,225	,000	-2,161	22	,042
	Hypothèse de variances inégales			-2,161	12,873	,050

IV.4.1.4 Moisissures

En fonction des espèces aucune variation des moisissures n'a été observée ($p=0.79$, $p>0.05$) ; alors que pour le groupe STOCKAGE, la variation est importante ($p=0.005$) ; les farines stockées sont plus chargées en moisissures que les farines fraîches, de même pour le groupe REGIMES, nous avons observé que le régime R6 est plus chargé que le régime R0 (0,61 log ufc/g et 0,14 log ufc/g respectivement) avec une valeur de p égale à 0,02 ($p<0.05$) (Tableaux 16, 17).

Tableau 16 : Statistiques descriptives des moisissures dans les différents groupes d'études.

Statistiques de groupe					
	Régime	N	Moyenne	Ecart type	Moyenne erreur standard
Moisissures	R ₀	12	,1444	,27148	,07837
	R ₆	12	,6151	,58038	,16754
	Espèce	N	Moyenne	Ecart type	Moyenne erreur standard
Moisissures	Locusta	12	,3523	,47501	,13712
	Schisto	12	,4072	,55149	,15920
	stockage	N	Moyenne	Ecart type	Moyenne erreur standard
Moisissures	Farine fraîche	12	,0980	,23373	,06747
	Farine stockée	12	,6615	,55100	,15906

Tableau17 : Test t de Student comparant les moyennes des moisissures dans les différents groupes d'études.

Régime		Test de Levene sur l'égalité des variances		Test t pour égalité des moyennes		
		F	Sig.	t	ddl	Sig. (bilatéral)
Moisissures	Hypothèse de variances égales	14,460	,001	-2,545	22	,018
	Hypothèse de variances inégales			-2,545	15,594	,022
Espèce		F	Sig.	t	ddl	Sig. (bilatéral)
Moisissures	Hypothèse de variances égales	,497	,488	-,262	22	,796
	Hypothèse de variances inégales			-,262	21,527	,796

stockage		F	Sig.	t	ddl	Sig. (bilatéral)
Moisissures	Hypothèse de variances égales	13,209	,001	-3,261	22	,004
	Hypothèse de variances inégales			-3,261	14,835	,005

IV.4.1.5 Anaérobies sulfito-réducteurs (ASR)

Ces bactéries sont considérées comme témoins de contamination de la qualité hygiénique des aliments, elles ont la propriété de se transformer sous une forme résistante (spore) dans des conditions défavorables. Nous avons observé des valeurs des ASR légèrement supérieures pour R6 par rapport à R0 et pour SHISTO par rapport à LOCUSTA mais sans qu'il ait de différences significatives entre eux. (p=0,29 et p=0,10 respectivement). Par contre pour la farine stockée on observe une différence hautement significative par rapport à la farine fraîche (Tableaux 18, 19).

Tableau 18 : Statistiques descriptives des ASR dans les différents groupes d'études.

Statistiques de groupe					
	Régime	N	Moyenne	Ecart type	Moyenne erreur standard
ASR	R ₀	12	,3195	,58410	,16862
	R ₆	12	,5920	,64787	,18702
	Espèce	N	Moyenne	Ecart type	Moyenne erreur standard
ASR	Locusta	12	,2500	,45227	,13056
	Schisto	12	,6615	,71031	,20505
	stockage	N	Moyenne	Ecart type	Moyenne erreur standard
ASR	Farine fraîche	12	,0000	,00000	,00000
	Farine stockée	12	,9115	,59016	,17039

Tableau 19: Test t de Student comparant les moyennes des ASR dans les différents groupes d'études.

Régime		Test de Levene sur l'égalité des variances		Test t pour égalité des moyennes		
		F	Sig.	t	ddl	Sig. (bilatéral)
ASR	Hypothèse de variances égales	1,193	,287	-1,082	22	,291
	Hypothèse de variances inégales			-1,082	21,768	,291
Espèce		F	Sig.	t	ddl	Sig. (bilatéral)
ASR	Hypothèse de variances égales	12,565	,002	-1,693	22	,105
	Hypothèse de variances inégales			-1,693	18,660	,107
stockage		F	Sig.	t	ddl	Sig. (bilatéral)
ASR	Hypothèse de variances égales	20,476	,000	-5,350	22	,000
	Hypothèse de variances inégales			-5,350	11,000	,000

Pour comparer les différents groupes d'étude (ESPECES, STOCKAGE, REGIMES) nous avons opté pour un test non paramétrique qui est le test de Kruskal Wallis.

➤ **Pour le groupe ESPECES :**

Il n'existe aucune différence significative pour tous les germes dénombrés (Les valeurs de p sont supérieures à 0,05) (tableau T20), cela signifie que la distribution des

germes est identique entre les deux espèces d'insectes, ou l'espèce d'insecte n'a pas d'effet sur la qualité microbiologique des farines.

Tableau 20 : Test de Kruskal Wallis pour le groupe ESPECES.

	Hypothèse nulle	Test	Sig.	Décision
1	La distribution de FMAT est identique sur les catégories de espece.	Test de Kruskal-Wallis d'échantillons indépendants	,906	Retenir l'hypothèse nulle.
2	La distribution de Levures est identique sur les catégories de espece.	Test de Kruskal-Wallis d'échantillons indépendants	,945	Retenir l'hypothèse nulle.
3	La distribution de Moisissu est identique sur les catégories de espece.	Test de Kruskal-Wallis d'échantillons indépendants	,897	Retenir l'hypothèse nulle.
4	La distribution de ASR est identique sur les catégories de espece.	Test de Kruskal-Wallis d'échantillons indépendants	,090	Retenir l'hypothèse nulle.

Les significations asymptotiques sont affichées. Le niveau de signification est ,05.

➤ **Pour le groupe REGIMES :**

Il existe une seule différence significative parmi tous les germes dénombrés ($p=0.36$) ; qui est la présence des moisissures dans quelques échantillons de R6 selon le test précédent (t de Student), cela signifie que les régimes utilisés comme substrat d'élevage dans cette étude n'ont pas de grand effet sur la qualité microbiologique des farines (Tableau 21).

Tableau 21: Test de Kruskal Wallis pour le groupe REGIMES.

	Hypothèse nulle	Test	Sig.	Décision
1	La distribution de FMAT est identique sur les catégories de regimes.	Test de Kruskal-Wallis d'échantillons indépendants	,906	Retenir l'hypothèse nulle.
2	La distribution de Levures est identique sur les catégories de regimes.	Test de Kruskal-Wallis d'échantillons indépendants	,353	Retenir l'hypothèse nulle.
3	La distribution de Moisissu est identique sur les catégories de regimes.	Test de Kruskal-Wallis d'échantillons indépendants	,036	Rejeter l'hypothèse nulle.
4	La distribution de ASR est identique sur les catégories de regimes.	Test de Kruskal-Wallis d'échantillons indépendants	,318	Retenir l'hypothèse nulle.

Les significations asymptotiques sont affichées. Le niveau de signification est ,05.

➤ **Pour le groupe STOCKAGE :**

il existe une différence hautement significative entre trois germes dénombrés parmi quatre (FMAT : $p=0.000$, moisissures : $p=0.007$ et ASR : $p=0.000$) cela signifie que le stockage ou la qualité de stockage influence significativement la qualité microbiologique des farines (Tableau 22) .

Tableau 22: Test de Kruskal Wallis pour le groupe STOCKAGE.

	Hypothèse nulle	Test	Sig.	Décision
1	La distribution de FMAT est identique sur les catégories de Stockage.	Test de Kruskal-Wallis d'échantillons indépendants	,000	Rejeter l'hypothèse nulle.
2	La distribution de Levures est identique sur les catégories de Stockage.	Test de Kruskal-Wallis d'échantillons indépendants	,180	Retenir l'hypothèse nulle.
3	La distribution de Moisissu est identique sur les catégories de Stockage.	Test de Kruskal-Wallis d'échantillons indépendants	,007	Rejeter l'hypothèse nulle.
4	La distribution de ASR est identique sur les catégories de Stockage.	Test de Kruskal-Wallis d'échantillons indépendants	,000	Rejeter l'hypothèse nulle.

Les significations asymptotiques sont affichées. Le niveau de signification est ,05.

IV.5 Discussion

❖ Détermination de la matière sèche

La teneur en matière sèche des échantillons de criquets analysés atteint les 38,18% %. Ce taux est proche de la valeur trouvée dans la littérature (37,1%) (Barker, 1998 ; klunder *et al.*, 2012).

❖ Analyse microbiologique

Les résultats des analyses microbiologiques des farines issues des deux espèces d'insectes (*Schistocerca gregaria* et *Locusta migratoria*) montrent que les échantillons analysés sont à 100 % conforme aux normes microbiologiques.

Pour la farine fraîche, nous avons remarqué une absence totale des germes (la flore mésophile totale, *Staphylococcus aureus*, *Clostridium sulfito-réducteurs*, salmonelles, coliformes fécaux et totaux, levures et moisissures) donc on a obtenu de bons résultats par

rapport aux travaux de Garofalo *et al.*, (2016), stoppe *et al.*, (2016), Garofalo *et al.*, (2017), et Vandeweyer *et al.*, (2017) cela prouve le bon respect des règles d'hygiène durant la préparation d'une part, de l'autre part l'hygiène du matériel utilisé ainsi que l'efficacité du traitement thermique.

Les résultats des analyses microbiologiques de la farine stockée de *Schistocerca gregaria* et *Locusta migratoria* montrent une présence de *Clostridium sulfito-réducteurs* avec des valeurs (<2,00 log UFC/g) inférieure aux normes. Ce résultat est similaire à celui trouvé par Klunder *et al.*, (2012) et Garofalo *et al.* (2016). Les *Clostridium*s sont donc capables de survivre dans l'environnement et de contaminer n'importe quel type d'aliment ou matériel si les conditions d'hygiène et de stérilisation ne sont pas respectées (Lebres, 2002).

Pour la flore aérobie mésophile totale: l'ensemble des échantillons analysés montrent une charge microbienne moyenne de l'ordre de 1,53 log UFC/ g. Ce résultat est inférieur de celui de Stoops *et al.* (2016) et de Grabowski et Klein (2016) qui ont trouvé un nombre élevé (allant de 6,8 à 8,6 log UFC/ g) dans tous les lots étudiés et celui de Messine *et al.*, (2019) qui ont étudié les farines de *T. molitor* et *A. domesticus*. Donc le traitement thermique qui ont subi les individus est capable d'assurer des comptes bactériens plus faibles.

Concernant les levures et moisissures, on note une valeur maximale de 1,3 log UFC/g pour les levures et de 1,48 log UFC/g pour les moisissures. Ces valeurs restent inférieures des normes microbiologiques, notre résultat est similaire aux travaux de Garofalo *et al.*, (2017).

Les résultats montrent que tous les échantillons analysés sont exempts de germes totaux et fécaux (*Escherichia coli*), ce qui indique que nos produits sont de qualité hygiéniques satisfaites par rapport à d'autres produits (les insectes séchés et en poudre vendus sur le marché européen pour la consommation humaine) étudiés par Grabowski et Klein (2017).

Tous nos échantillons étaient exempts de Salmonelles et de *S. aureus* ce qui signifie que notre produit est conforme aux normes. Ces résultats sont similaires aux résultats de Wynants *et al.*, (2018) qui ont analysé la dynamique microbienne au cours d'un cycle de production à l'échelle industrielle de petits vers de farine (*Alphitobius diaperinus*) destinés à la consommation humaine après blanchiment contrairement à d'autres produits comme le pollen séché (Anselmo *et al.*, 1996, ; Belhadj *et al.*, 2012 ; Puig Peña *et al.*, 2012). Cependant, ni *Salmonella* ni *Listeria monocytogenes* n'ont été trouvés dans 05 espèces d'insectes comestibles (Giaccone, 2005).

Malgré la longue durée de stockage de nos insectes (dix mois de congélation et deux mois de stockage à température ambiante), leur qualité microbiologique s'est légèrement altérée sans dépasser les normes microbiologiques recommandées pour la santé humaine et animale.

Conclusion et Perspective

Conclusion et Perspectives

Les insectes sont consommés depuis plusieurs millénaires dans le monde entier et leur consommation est toujours en augmentation en raison de leur haute valeur nutritive.

Dans le cadre de ce mémoire de fin d'études en biotechnologie microbienne, nous avons appris à évaluer la qualité microbiologique des farines de deux espèces acridiennes *Schistocerca gregaria* et *Locusta migratoria* élevées sur deux régimes différents (R0 : Graminées sauvages + son de blé et R6 : Graminées sauvages +le tourteau de soja).

L'élevage qu'on a réalisé nous a permis d'obtenir le nombre nécessaire d'individus de *Schistocerca gregaria* et de *Locusta migratoria* pour réaliser les analyses microbiologiques.

Les résultats d'analyses microbiologiques des farines stockées des deux espèces d'insectes *Schistocerca gregaria* et *Locusta migratoria* ont montré qu'elles sont de bonne qualité microbiologique vu l'absence de coliformes, *Staphylocoque aureus* et *Salmonelles*, ainsi que de faible nombre des autres germes (les valeurs ne dépassent pas les normes). Par contre, les résultats d'analyses microbiologiques de la farine fraîche des deux espèces montrent une absence totale des germes recherchés, ce qui prouve la conformité de cette farine.

Tous nos résultats respectent les critères d'hygiène ce qui donne à penser que les insectes comestibles analysés sont issus d'un bon élevage et réalisé dans des conditions sanitaires acceptables. Donc ces farines ne présentent aucun risque pour le consommateur.

Les analyses statistiques ont montré que les facteurs espèce et régimes utilisés n'ont pas d'effets sur la qualité microbiologique, tandis que le facteur stockage l'a influencé légèrement. Donc il est déconseillé de stocker les farines d'insectes pour des durées très prolongées ou dans des conditions défavorables. Cependant, il faut reconnaître que le stockage a commencé à dégrader la qualité microbiologique de nos farines, pour cela il faut bien étudier les conditions de stockage pour pouvoir conserver les farines en bon état.

Cette étude manque des analyses physico-chimiques et nutritionnelles pour mieux montrer l'influence des facteurs étudiés (espèce, régime et stockage) sur les valeurs nutritives de nos farines d'insectes. Vu la courte période de stage et le manque de temps, la partie analyses physico-chimiques et nutritionnelles, n'ont pas été réalisées. A l'avenir, il serait souhaitable de compléter et d'approfondir cette étude par ces analyses afin de mieux mettre en évidence l'importance de ces farines pour la sécurité alimentaire humaine et animale.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Adalla, CB., Cervancia, CR., 2010. Philippine edible insects: a new opportunity to bridge the protein gap of resource-poor families and to manage pests. *Edible forest insects, Human bites back*. 151-160.
- Alais C., 1984. *Science du lait, Principe des techniques laitières*, 3eme édition. Paris, 807p, Tom 1 ET 2 sl Paris.
- Albouy V., Chardigny J-M., M Prosper., 2016. *Des insectes au menu? Ce qui va changer dans mon alimentation au quotidien*. Edition: Quae.
- Allal Benfekih. *Recherches quantitatives sur le criquet migrateur Locusta migratoria (orthoptera-Oedipondnae) dans le Sahara algérien Perspective de lutte biologique à l'aide de microorganismes pathogènes et de peptide synthétique*, thèse de doctorant, INA d'El Harache ;2006
- Andrea Osimani., Cristiana Garofalo., Vesna Milanovic., Manuela Taccari., Federica Cardinali., Lucia Aquilanti., Marina Pasquini., Massimo Mozzon., Nadia Raffaelli., Sara Ruschioni., Paola Riolo., Nunzio Isidoro., Francesca Clementi., 2016. *Insight into the proximate composition and microbial diversity of edible insects marketed in the European Union*. *Eur Food Res Technol* DOI 10.1007/s00217-016-2828-4.
- Andrea Osimani., Cristiana Garofalo., Vesna Milanovic., Manuela Taccari, Federica Cardinali., Lucia Aquilanti., Paola Riolo., Sara Ruschioni., Nunzio Isidoro., Francesca Clementi., 2017. *Le microbiote des insectes comestibles transformés commercialisés révélé par le séquençage à haut débit*. *Microbiologie alimentaire* 62., 15-t22.
- Anselmo, RJ, Lausada, IL, Michanie, SC, Albo, G., Pérez, O., 1996. *Calidad microbiológica de lpolen*. *Información Técnica* 7, 75-79.
- ANSES., 2015. *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*». Ed. Maisons-Alfort, France, 42 p.
- A. van Huis, J. van Itterbeeck, H. Klunder, E. Mertens, A. Halloran, G. Muir, P. Vantomme., 2013. *Edible Insects: Future Prospects for Food and Feed Security*, FAO, Rome, 201 p.

- Baiano A., 2020. Insectes comestibles: un aperçu des caractéristiques nutritionnelles, de la sécurité, de l'agriculture, des technologies de production, du cadre réglementaire et des implications socio-économiques et éthiques .Trends in Food Science and Technology, 100, 35-50.
- Barros, L. M et al., 2019. Morphological description of the immature stages of *Hermetia illucens* (Linnaeus, 1758) (Diptera: Stratiomyidae). Microscopy Research and Technique, 82(3), pp. 178–189. doi: 10.1002/jemt.23127.
- Barker D., 1998. Composition nutritionnelle d'invertébrés entiers sélectionnés. Biologie zoologique (17) 123-134.
- Bedford, G.O., 1976. Observations on the biology and ecology of *Oryctes Rhinoceros* and *Scapanes Australis* (Coleoptera: Scarabaeidae Dynastinae): pests of coconut palms in Melanesia. Australian Journal of Entomology 15. 241-251.
- Bednářová, M., 2013. Possibilities of Using Insects as Food in the Czech Republic. Dissertation Thesis Mendel University, Brno, pp. 50–92.
- Belhadj, H., Bouamra, D., Dahamna, S., Harzallah, D., Ghadbane, M., Khenouf, S., 2012. Aspects sanitaires microbiologiques du pollen. Avancées en biologie environnementale 6, 1415-1420.
- Bellmann, H. 2006. Insectes et principaux arachnides. Editions Vigot. 440p.
- Belluco, S., Losasso, C., Maggioletti, M., Alonzi, C., Paoletti, M.G. & Ricci, A., 2013. Edible insects in a food safety and nutritional A critical perspective: A critical review. Comprehensive Reviews in Food Science and food safety, 12296-313.
- Bezaz Ghania., 2011. Effet du laurier rose (*Nerium oleander*) sur le criquet migrateur (*Locusta migratoria*) (Acrididae, Oedipodinae), thèse de doctorant, ENSA El Harache.
- Bondari, K., Sheppard, D. C., 1987. Soldier fly, *Hermetia illucens* L., larvae as feed for channel catfish, *Ictalurus punctatus* (Rafinesque), and blue tilapia, *Oreochromis aureus* (Steindachner). Aquaculture Research, 24(3), 103–109.
- Botha., 1969. Locust and their control in South Africa. Farming in South Africa 45: 110-116.
- Botton B., Breton A., Fevre M., Gauthier S., Guy P.H., Larpent J.P., Reymond P., Sanglier J.J., Vayssier Y., Veau P., 1990. Moisissures utiles et nuisibles importance industrielle. 2ème édition. Masson. Collection Biotechnologies. p : 34-428.
- Botton B., Breton A., Fevre M., Gauthier S., Guy P., Larpent J.P., Reymond P., Sanglier J.J., Vayssier Y. & Veau P., 1999. Moisissures utiles et nuisibles. Importance industrielle. Masson. Paris. P. 12-426.

- Botton B., Breton A., Fevre M., Gauthier S., Guy P.H., Larpent J.P., Reymond P., Sanglier J.J., Vayssier Y., Veau P., 1990. Moisissures utiles et nuisibles importance industrielle. 2ème édition. Masson. Collection Biotechnologies. p : 34-428.
- Boullaud R., 2018. Les nouveaux comportements alimentaires : la consommation des insectes et des arachnides. Thèse doctorat, Université de Limoges. Limoges. 158 p.
- Bryant C. W., 2008. How Entomophagy Works.). Disponible sur <https://people.howstuffworks.com/entomophagy.htm> visité le 22/09/2021.
- Bukkens S., 1997. The nutritional value of edible insects. *Ecology of Food and Nutrition* 36(2-4):287-319. doi : 10.1080/03670244.1997.9991521.
- Bukkens, S.G.F., 2005. Insects in the human diet: nutritional aspects. In: Paoletti, M.G. (Ed.), *Ecological Implications of Mini livestock; Role of Rodents, Frogs, Snails, and Insects for Sustainable Development*. Science Publishers, New Hampshire, pp. 545–577.
- Capinera, J.L., 2004. *Encyclopedia of Entomology*. Kluwer Academic Publishers ISBN: 0-7923-8670-1.
- Carvalho, M. J. A., & Mirth, C. K., 2017. Food intake and food choice are altered by the developmental transition at critical weight in *Drosophila melanogaster*. *Animal Behaviour*, 126, 195–208.
- Cerritos R, Cano-Santana Z., 2008. Harvesting grasshoppers *Sphenarium purpurascens* in Mexico for human consumption: A comparison with insecticidal control for managing pest outbreaks. *Crop Prot*; 27(3):473-80.
- Chabereiter Gurtner C., Saiz-Jimenez C., Pinar G., Iubitz W., and Rolleke S., 2002. Altamira cave Paleolithic painting harbor partly unknown bacterial communities. *FEMS Microbiology Letters*, 211, 7-11.
- Chopard L., 1943. *Orthoptéroïdes de l’Afrique du Nord. Faune de l’empire français 1*. Paris (Librairie Larose).450pp.
- Chapman.R.F et Robertson. I.A.D., 1958. The egg ponds of some tropical African grasshoppers. *J.Ent. soc.S.Africa*, T.21, vol.21, n°11, P.p 85-112.
- Chen, X., Feng, Y., Chen, Z., 2009. Common edible insects and their utilization in China. *Entomological Research* 39. 299-303. The Entomological Society of Korea and Blackwell Publishing Asia Pty Ltd.
- Cloutier J., 2015. insectes comestibles en Afrique: introduction à la collecte au mode de préparation et à la consommation des insectes, ouvrage, p5-59p www.agromisa.org.

- Concetta Maria Messine, Raimondo Gaglio, Maria Morghèse , Marco Toloné , Arène de Rosaria, Giancarlo Moschetti , Andrea Santulli, Nicolas Francesca , et Luca Settanni., 2019. Profil microbiologique et propriétés bioactives des poudres d'insectes utilisées dans les formulations des denrées alimentaires et des aliments pour animaux. nourriture, 8-400.
- Cummins, V. C., Rawles, S. D., Thompson, K. R., Velasquez, A., Kobayashi, Y., Hager, J., & Webster, C. D., 2017. Evaluation of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal as partial or total replacement of marine fish meal in practical diets for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture*, 473, 337–344.
- Defoliart, G., 1997. An overview of the role of edible insects in preserving biodiversity. *Ecology of Food and Nutrition* 36. 109 - 132. Overseas Publishers Association.
- Defoliart, G., 2003. Insects as food. *Encyclopedia of Insect*. 431-436.
- Dennaï N., Kharrattib B., El Yachiouim A., 2001. Appréciation de la qualité microbiologique des carcasses de bovins fraîchement abattus. *Annales de Médecine Vétérinaire*, 145, 270-274.
- D.G.A.B. Oonincx, J. van Itterbeeck, M.J.W. Heetkamp, H. van den Brand, J.J.A. van Loon, A. van Huis., 2010. An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption, *PLoS One* 5 e14445.
- Dirsh VM., 1959. The early stages of *Gastrimargus nigericus* Uvarov, 1926 (Acridoidea, orthoptera). *On locusta*, n°6, P.p 65-72.
- Dortmans, B. et al., 2017. Black Soldier Fly Biowaste Processing. Food and Agriculture Organization of the United Nations (2013) Edible insects. Future prospects for food and feed security, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Driemeyer, H., 2016. Evaluation of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae as an alternative protein source in pig creep diets in relation to production, blood and manure microbiology parameters [Master Thesis]. Stellenbosch: Stellenbosch University.
- Duranton J.F. et Lecoq M., 1990. Le Criquet pèlerin au Sahel. -Coll. : Acridologie opérationnelle, n° 6. CILSS-DFPV / Ministère des Affaires Étrangères des Pays-Bas / CIRAD-GERDAT-Prifas : Niamey / La Haye / Montpellier. 183 p.
- EFSA-Q-2004-2009, Avis du groupe scientifique sur les risques biologiques relatif à la présence de *Clostridium* spp. dans les denrées alimentaires, EFSA, 09 mars 2005.

- EFSA Scientific Committee., 2015. Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed: Risk profile of insects as food and feed. EFSA Journal 13, 4257.
- Elvin CM, Carr AG, Huson MG, Maxwell JM, Pearson RD, Vuocolo T, et al., 2005. Synthesis and properties of cross linked recombinant pro-resilin. Nature; 437:999.
- EPPO., 2007. Rhynchophorus ferrugineus and Rhynchophorus palmarum. Bulletin OEPP/EPPO 37. 571-579. European and Mediterranean Plant Protection Organization.
- FAO., 2013. Edible Insects: future prospects for food and feed security. FAO Forestry. Paper 171.
- FAO., 2013. INFOODS. Composition database for Biodiversity. FAO / INFOODS [Internet]. [cité 4 sept 2020]; Disponible sur: https://www.researchgate.net/publication/285537081_FAOINFOODS_Food_Composition_Database_for_Biodiversity_Version_21_-_BioFoodComp21
- FAO., 2020. Antoine Foucart. L'invasion du Criquet pèrelin en Afrique de l'Est depuis le début 2020 est préoccupante. C'est la pire depuis des décennies.
- Finke MD., 2007. Estimate of chitin in raw whole insects. Zoo Biol; 26(2):105-15.
- Flandrin J-L., 1996. Montanari M. Histoire de l'Alimentation. Paris : Fayard.
- Flood J., 1980. The moth hunters: Aboriginal prehistory of the Australian Alps.
- Fraval, A., d'Aguilar, J., 2004. Glossaire entomologique. Delachaux et Niestlé SA. 175p.
- Fraval, A., 2007. Le délectable tueur de palmiers. Insectes 146. 30- 31.
- Gałęcki R, Sokół R., 2019. A parasitological evaluation of edible insects and their role in the transmission of parasitic diseases to humans and animals. PLoS ONE. 14(7).
- Garofalo C, Milanović V, Cardinali F, Aquilanti L, Clementi F, Osimani A., 2019. Current knowledge on the microbiota of edible insects intended for human consumption: A state-of-the-art review. Food Res Int. 125:108527.
- George Basil Popov., 1989. Les larves des criquets du Sahel. Overseas Development Natural Resources Institute.
- Giaccone V., 2005. Caractéristiques d'hygiène et de santé du " mini-élevage. Implications écologiques du mini-élevage : potentiel d'insectes, de rongeurs, de grenouilles et d'escargots, 579-598.
- Gluckman, T.J., et al., 2005. A simplified approach to the management of non-ST-segment elevation acute coronary syndromes. JAMA 293(3): p. 349-57.

- Goicoechea de Jorge et al., 2013. Noris M., Remuzzi G. Syndrome hémolytique et urémique atypique. *N. Engl. J. Med.* 2009; 361 : 1676-1687. doi: 10.1056 / NEJMra0902814.
- Grabowski N. T., and Klein G., 2016. Microbiologie des produits d'insectes comestibles transformés: Résultats d'une enquête préliminaire. *Journal international de microbiologie alimentaire* 3(1), pp. 7–14.
- Grabowski N. T., and Klein G., 2017. S Microbiology of processed edible insect products results of a preliminary survey. *International Journal of Food Microbiology*, 243, 103-107.
- Guendouz-Benrima Atika, Duranton Jean-François, Doumandji Mitiche Bahia., 2006. La distribution des populations d'invasion et de rémission du Criquet pèlerin *Shistocerca gregaria* Forsk. en Algérie. In : VIème Conférence internationale francophone d'entomologie sur l'entomologie et développement durable, Rabat, 2-6 juillet 2006. Institut scientifique, Association marocaine de biodiversité. s.l. :s.n., Résumé, pp. 111-112. Conférence internationale francophone d'entomologie. 6, Rabat, Maroc, 2 July 2006/6 July 2006.
- Guiraud J., Galzy P., 1980.L'analyse microbiologique dans les industries alimentaires. Edition: l'USINE. P: 233.
- Guiraud J.P., 2003. Microbiologie Alimentaire. Edition DUNOD. Paris. Pp : 136-139.
- Guiraud J.P. ET ROSEC J.P., 2004. Pratique des normes en microbiologie alimentaire. Edition AFNOR. 95p.
- Guiraud, J.P., 2012. Microbiologie alimentaires, collection Industries agroalimentaires. Edition Dunod, Paris. 136, 301,305, 397(696 pages).
- Gujarathi Gayatri, Pejaver Madhuri., 2013. Occurrence of Black Soldier Fly *Hermetia illucens* (Diptera : Stratiomyidae) in Biocompost. *Research Journal of Recent Sciences*, 2(4), pp. 65–66.
- Harper, Douglas; Dan McCormack., 2001. Online Etymological Dictionary. LogoBee.com. p. 1.
- Hartmann, C., & Siegrist, M., 2016. Insects as food: perception and acceptance. *Science & Research*, 64(3).44-50.
- HC Klunder, J. Wolkers-Rooijackers, JM Korpela , MJR Nout., 2012. Aspects microbiologiques de la transformation et du stockage des insectes comestibles. *Contrôle des aliments* 26 628-631.

- Ingram M, Nabhan G, Buchmann S., 1998. Our Forgotten Pollinators: protecting the birds and bees. Glob Pestic Campaign [Internet]. [cité 31 mai 2018];6(4). Disponible sur:<https://www.apiservices.biz/en/articles/sort-by-popularity/810-ourforgotten-pollinators-protecting-the-birds-and-bees-1998>
- ISO 15213, 2003.Méthode horizontale pour dénombrement des bactéries sulfite-réductrices se développant en condition anaérobies.
- J. Baumgart. Behr's Verlag. Actualisations en 1999 & 2003. Analyse microbiologique des aliments.
- Jillian M Templeton, Amanda J De Jong, PJ Blackall, Jeanette K Mifflin., 2006. Survie de *Campylobacter* spp. dans Darkling Beetles (*Alphitobius diaperinus*) et leurs larves en Australie. *Microbiologie appliquée et environnementale* 72 (12), 7909-7911.
- Johnson., 2010. The contribution of edible insects to human nutrition and to forest management. *Edible forest insects, human bites back*. 5-22.
- Jongema, Y., 2015. Liste of edible insects in the world. Wageningen University & Research, section Expertise and services – Chair group – Plant sciences. Repéré à <http://www.wur.nl/en/Expertise-Services/Chair-groups/Plant-Sciences/Laboratory-of-Entomology/Edible-insects/Worldwide-species-list.htm>
- Jourde, P., 2010. Les odonates, biologie et écologie. *Insectes* 157. p.3-8.
- Jouve J., 1996. CNERNA-CNRS. Polytechnica éditions. La qualité microbiologique des aliments. Maîtrise et critères.
- J. Stoops, S. Crauwels, M. Waud, J. Claes, B. Lievens, L. Van Campenhout., 2016. Évaluation de la communauté microbienne des larves de vers de farine (*Tenebrio molitor*) et les sauterelles (*Locusta migratoria migratorioides*) vendu pour consommation humaine. *Microbiologie alimentaire* 53., 122-127.
- Ke Chung Kim., 1993. Biodiversité, conservation et inventaire : pourquoi les insectes sont importants. *Biodiversité & Conservation* 2 (3), 191-214.
- Klein. G., Schütz. B., 2011.Manuel d'évaluation microbiologique des aliments. Maison d'édition Behr, Hambourg.
- Klunder, H.C., Wolkers-Rooijackers, J., Korpela, J.M., Nout, M.J.R., 2012. Microbiological aspects of processing and storage of edible insects. *Food Control* 26,628e631.
- Kouřimská L, Adamkova A., 2016. Nutritional and sensory quality of edible insects. *NFS J*; 4:22-6.

- Launois-Luong M.H. et Lecoq M., 1989. Vade Mecum des criquets du Sahel. Ed. CIRAD / PRIFAS, 'Collection Acridologie Opérationnelle n°5', Montpellier, 125 p.
- Laureati, M., Proserpio, C., Jucker, C., & Savoldelli, S., 2016. New sustainable protein sources: consumers' willingness to adopt insects as feed and food. *Italian Journal of Food Science*, 28(4).
- Laval, A., H. Morvan, G. Deperez, B. Corbion., 1991. la salmonellose du porc. *Rec. Med. Vet.* 167 :835-848.
- Lavalette M., 2013. Les insectes : une nouvelle ressource en protéines pour l'alimentation humaine. Thèse doctorat, université de lorraine. Nancy. 72P.
- Lebres., 2002. Manuel des travaux pratiques, cours national d'hygiène et de microbiologie des aliments, unité microbiologie des laits et des produits, laitiers, institut pasteur d'Algérie, pp. 21-27.
- Leraut, P., 2003. Le guide entomologique. Delachaux et Niestlé SA. 527p.
- Loirat C., Frémeaux-Bacchi V., 2011. Syndrome hémolytique et urémique atypique. *Orphanet J. Rare Dis*; 6 : 60. doi: 10.1186 / 1750-1172-6-60.
- Lokeshwari, RK., Shantibala, T., 2010. A review of the fascinating world of insect resources: reason for thoughts. *Psyche: A Journal of Entomology*. Hindawi Publishing Corporation.
- Louveaux A et Ben Halima T., 1986. Catalogue des orthoptères Acridoidea Afrique du Nord-Ouest. *Bull .Soc. Ent., France*, n°91, P.p73-87.
- Louvenaux A et Benhalima T., 1987. Catalogue des Orthoptères Acridoidea d'Afrique du Nord. Ouest. *Bull. Société. Ent. France*, n° 91 (3-4), PP. 73-86.
- Macneish, R.S., 1958. Preliminary archaeological investigations in the Sierra de Tamaulipas, Mexico. *Am. Phil. Soc. Trans.* 44.
- Mahdjoubi Dj, Geundouz-Benrima A., 2012. Description des biotopes du criquet pèlerin dans le contexte algérien, *revue Agrobiologia*, N°3, pp 6-18.
- Marot Christelle., 2021. Alimentation de demain: les insectes au secours de la santé et de l'environnement. Jeune Afrique. Disponible sur: <https://www.jeunefrique.com/1129808/societe/alimentation-de-demain-chenilles-sauterelles-les-insectes-au-secours-de-la-sante-et-de-lenvironnement/> visité le 21/09/2021
- Martin A., 2001. Apports nutritionnels conseillés pour la population française : 3e édition. Paris : Tec & Doc.

- M. Bednářová, M. Borkovcová, J. Mlček, O. Rop, L. Zeman., 2013. Edible insects — species suitable for entomophagy under condition of Czech Republic, *Acta Univ. Agric. Silvic. Mendelianae Brun.* 61 587–593.
- Medane A., 2013. Etude bioécologique et régime alimentaire des principales espèces d'Orthoptères de la région d'Ouled Mimoun (Wilaya de Tlemcen). Mémoire Magister. Ecologie et Biologie des populations. Université de Tlemcen.
- Michaelsen KF, Hoppe C, Roos N, Kaestel P, Stougaard M, Lauritzen L, et al., 2009. Choice of Foods and Ingredients for Moderately Malnourished Children 6 Months to 5 Years of Age. *Food Nutr Bull* 30(3_suppl3):S343-404.
- Mitsuhashi, J., Capinera, J.L., 2008. Entomophagy: human consumption of insects. In: Mitsuhashi, J., Capinera, J.L. (Eds.), *Encyclopedia of Entomology*. Springer, Heidelberg, pp. 1341–1343.
- Multon J-L., 1993. La qualité des produits alimentaire, politique, initiation, gestion et contrôle. 2ème édition. Paris : technique et documentation Lavoisier. PP 832.
- Newton, G. L., Sheppard, D. C., Watson, D. W., Burtle, G. J., Dove, C. R., Tomberlin, J. K., & Thelen, E. E., 2005. The black soldier fly, *Hermetia illucens*, as a manure management/resource recovery tool. *Symposium on the state of the science of Animal Manure and Waste Management*, 5–7.
- Nicklin J., Graeme-Cook K., Paget T., Killington R., 2000. L'essentiel en microbiologie. Edition Berti. p :210-216.
- N'Gasse, G., 2003. Contribution des chenilles/larves comestibles à la réduction de l'insécurité alimentaire en République Centrafricaine. *Produits forestiers non ligneux*, Document de Travail N° 1. Programme des produits forestiers non ligneux de la FAO.
- Okeshwari, RK., Shantibala, T., 2010. A review of the fascinating world of insect resources: reason for thoughts. *Psyche: A Journal of Entomology* 2010. Hindawi Publishing Corporation.
- Onore, G., 1997. A brief note on edible insects in Ecuador. *Ecology of Food and Nutrition* 36. 277-285. Overseas Publishers Association.
- Onyeike, EN, Ayalogu, OE, Okaraonye, CC., 2005. Nutritive value of the larvae of raphia palm beetle (*Oryctes rhinoceros*) and weevil (*Rhyncophorus pheonicis*). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 85. 1822- 1828. Society of Chemical Industry.
- Oonincx, D. G., & de Boer, I. J., 2012. Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans - a life cycle assessment. *7(12)*, 1-5.

- Payne CL, Scarborough P, Rayner M, Nonaka K., 2016. Are edible insects more or less « healthy » than commonly consumed meats? A comparison using two nutrient profiling models developed to combat over- and undernutrition. *Eur J Clin Nutr* 70 (3):285-91.
- Popov, G., 1989. – Les larves des criquets du Sahel. – Overseas Development Natural Resources Institute (Chatham). V + 158p.
- Popov G.B et Launois-luong M.H et Van Der Weel J., 1990. Les oothèques des criquets de Sahel. Ed. CIRAD-PRIFAS, Coll. Acrid. Opérant, n°7, Pays-Bas, 92 P.
- Puig Peña, Y., del RiscoRíos, CA, Pazos Álvarez Rivera, V., Leiva Castillo, V., García Neninger, R., 2012. Comparación de la calidad microbiológica del polen apícola fresco y después de un proceso de secado. *Revista CENIC Ciencias Biológicas* 43, 23-27.
- Purvis A, Andy Hector., 2000. Prendre la mesure de la biodiversité. *Nature* 405 (6783), 212-219.
- Pyle R, M Bentzien, P Opler., 1981. Conservation des insectes. *Revue annuelle d'entomologie* 26 (1), 233-258Y.
- Raheem D, Raposo A, Oluwole OB, Nieuwland M, Saraiva A, Carrascosa C., 2019. Entomophagy: Nutritional, ecological, safety and legislation aspects. *Food Res Int Ott Ont.* 126:108672.
- Ramos-Elorduy J., 1997. Insects: A sustainable source of food? *Ecol Food Nutr* 36(2-4):247-76.
- Ramos-Elorduy, J., 2006. Threatened edible insects in Hidalgo, Mexico and some measures to preserve them. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 6. 10p. BioMed Central Ltd.
- Ramos-Elorduy, J., Moreno, JMP., Martínez Camacho, VH., 2009. Edible aquatic Coleoptera of the world with an emphasis on Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 5. 13p. BioMed Central Ltd.
- Ramos-Elorduy J., 2009. Anthro-entomophagy: Cultures, evolution and sustainability. *Entomological Research.* 39: 271–288.
- Ramos-Elorduy, J., Moreno, JMP., Vázquez, AI., Landero, I., Olive-Rivera, H., Camacho, VHM., 2011. Edible Lepidoptera in Mexico: Geographic distribution, ethnicity, economic and nutritional importance for rural people. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 7. 22p. BioMed Central Ltd.

- Rastogi N., 2011. Provisioning services from ants: food and pharmaceuticals. *Asian Myrmecol*19.
- Resh, VH et Cardé, RT, Academic Press. De Vries, M., De Boer, IJM., 2009. Comparing environmental impacts for livestock products: A review of life. *Livestock Science* 128. 1-11.
- Ripoche J., Day AJ, Harris TJ, Sim RB., 1988. Séquence complète d'acides aminés du facteur humain complément H. *Biochem. J*; 249 : 593–602.
- Rodier J, Bazin C, Chanbon P, Broutin J.P, Champsaur H, et Rodi L., 1996. L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer. 8^{ème} Ed. Dunod, paris : P1383.
- Rodríguez de Córdoba S, Esparza-Gordillo J, Goicoechea de JE, López-Trascasa M, Sánchez-Corral P., 2004. Le complément humain fH: rôles fonctionnels, variations génétiques et associations de maladies. *Mol Immunol* 41 (4): 355 - 367 .Cross Ref PubMed Web de la Science Google Scholar.
- Roos, N., & van Huis, A., 2017. Consuming insects: Are there health benefits? *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(4), 225-229.
- Rumpold BA, Schlüter OK., 2013. Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition & Food Research*. 57:802–823.
- Sánchez-Muros, M.-J., Barroso, F. G., & Manzano-Agugliaro, F., 2014. Insect meal as renewable source of food for animal feeding: a review. *Journal of Cleaner Production*, 65, 16–27.
- Schabel, H. G., 2010. Forest insects as food: A global review. In P. B. Durst, D. V. Johnson, R. N. Leslie, & K. Shono (Eds.), *Forest insects as food: Humans bite back* (pp. 37–64). Bangkok, Thailand: FAO.
- Simone L., 2016. Introduction des protéines non de type insecte et lombric dans l'alimentation: Potentialités et évaluation des risques. Thèse doctorat, université Claude Bernard - Lyon 1. Lyon. 87P.
- Smith R.J., Alexander J., Barlow P.N., Botto M., Cassavant T.L., Cook H.T., Rodríguez de Córdoba S., Hageman G.S., Jokiranta T.S., Kimberling W.J., et al., 2007. New approaches to the treatment of dense deposit disease. *J. Am. Soc. Nephrol.*;18:2447–2456. doi: 10.1681/ASN.2007030356.
- Stork NE., 2009. Biodiversity IN Encyclopedia of INSECTS. Resh VH, Cardé RT (Eds.). Second Edition, Vol. 53. London, UK: Academic Press, Elsevier. 75-80.

- Stork NE., McBroom J., Gely C, Hamilton AJ., 2015. New approaches narrow global species estimates for beetles, insects, and terrestrial arthropods. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 112. 7519–23.
- Symmons, P. M. et K. Cressman., 2001. Desert locust guidelines 1: Biology and behaviour. Rome, FAO. 2e: -43.
- Thakur A., Thakur K.S., and Thakur N.S., 2017. Entomophagy (insects as human food): A Step towards food security. Poster session presentation at the National conference on advances in food science and technology: current trends and future perspectives. India.
- Turner S., 2008. Beyond biomimicry: What termites can tell us about realizing the living building. *Proc 1st Int Conf Ind Intell Constr.*
- Van der Spiegel, M., Noordam, M. Y., & van der Fels-Klerx,. 2013. Safety of novel protein sources (insects, microalgae, seaweed, duckweed, and rapeseed) and legislative aspects for their application in food and feed production. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 12, 662-678.
- Vandeweyer D, S. Lenaerts, A. Callens, L. Van Campenhout,. 2017. Effet du blanchiment suivi d'un stockage réfrigéré ou d'un séchage industriel aux micro-ondes sur la charge microbienne des larves de ténébrion jaune (*Tenebrio molitor*). *Contrôle alimentaire* 71 311-314.
- van Huis A., 2003. Insects as food in Sub-Saharan Africa. *Insect Science and Its Application*. 23:163–185.
- van Huis, A., 2010. Opinion: les insectes peuvent résoudre la crise alimentaire. *Scientist* 29 septembre. Disponible en ligne: <http://www.thescientist.com/?articles.view/articleNo/29292/title/Opinion--Bugs-cansolve-food-crisis>
- van Huis A., 2013. Edible insects: future prospects for food and feed security. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 187 p. (FAO forestry paper).
- van Huis A. , van Itterbeeck J. , Klunder H. , Mertens E., Halloran A., Muir G. et Vantomme P., 2013. *Edible Insects, future prospects fo food and feed security*, FAO and Wageningen UR, Food And Agriculture Organization of the United Nations.
- van Huis, A., Itterbeeck, HK, Klunder, VIJ, Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., et Vantomme, P., 2013. Insectes comestibles: perspectives d'avenir pour la sécurité des

denrées alimentaires et des aliments pour animaux. Étude forestière de la FAO, 171, 1–186.

- van Huis A., 2014. éditeur. Insectes comestibles: perspectives pour la sécurité alimentaire et l'alimentation animale. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 207 p. (Etude FAO forets).
- van- Huis A., Itterbeeck J., Klunder H., Mertens E., Halloran A., Muir G., et Vantomme P., 2014. Insectes comestibles: Perspectives pour la sécurité alimentaire et l'alimentation animale, FAO, Rome, 71P.
- Van Mele P., 2008. A historical review of research on the weaver ant *Oecophylla* in biological control. *Agric For Entomol*10 (1):13-22.
- Vijver M, Jager T, Posthuma L, Peijnenburg W., 2003. Metal uptake from soils and soil-sediment mixtures by larvae of *Tenebrio molitor* (L.) (Coleoptera). *Ecotoxicology and Environmental Safety* 54(3): 277-289.
- Walport, M.J., 2001. Complement. First of two parts. *N Engl J Med* 344(14): p. 1058-66.
- Wilson Edward O., 1987. Les petites choses qui dirigent le monde (l'importance et la conservation des invertébrés). *Biologie de la conservation* Vol. 1, n° 4, pp. 344-346.
- Wilson JRU, Ajuonu O, Center TD, Hill MP, Julien MH, Katagira FF., 2007. The decline of water hyacinth on Lake Victoria was due to biological control by *Neochetina* spp. *Aquat Bot.* 1 juill 2007;87(1):90-3.
- Womeni M. H., Linder M., Tiencheu B., Tchouanguép Mbiapo F., Villeneuve P., Fanni J and Parmentie M., 2009. Oils of insects and larvae consumed in Africa: Potential source of polyunsaturated fatty acids. *Nutrition & Santé*, 16, 230-235.
- Wynants E., Crauwels S., Verreth C., Gianottenm N., Lievens B., and Claes J ., 2018. Microbial dynamics during production of lessermeal worms (*Alphitobius diapernus*) for human consumption at industrial scale. *Food microbiology*, 70, 181-191.
- Y Akhtar, MB Isman., 2018. Les insectes comme source alternative de protéines. *Protéines dans la transformation des aliments*, 263-288.
- Yen,A.L.,in:Durst,P.B.,Johnson,D.V.,Leslie,R.N.,Shono, K., 2010. (Eds.), *Forest Insects as Food: Humans Bite Back*, FAO, Bangkok, Thailand, pp. 65–84.
- Zaremski, A., Fouquet, D., Louppe, D., 2009. *Les termites dans le monde*. Editions Quæ. 93 p.

- Zergoun Y., 1994. Bioécologie des orthoptères dans la région de Ghardaïa. Régime alimentaire d'*Acrotylus patruelis* (Haerrich-Schaeffer, 1838) (Orth. Acrididae). Thèse Magister, Inst. Nat. Agro, El Harrach, 110 pp.

Sites internet

- <http://www.issg.org/database/image.asp?ii=383&ic=e> consulté le 02/04/2021
- <http://www.issg.org/database/image.asp?ii=381&ic=e> consulté le 02/04/2021
- <https://images.app.goo.gl/Syb3enL5L9YFxEqS7> consulté le 05/04/2021
- https://e-insects.wageningenacademic.com/hermetia_illucens consulté le 12/05/2021
- <http://www.insectescomestibles.fr/blog/entomophagiepourquoi-pratiquer/> consulté le 20/05/2021
- <https://www.scoop.it/t/news-4ento-en-francais/p/4083236738/2017/08/17/lesinsectes-comestibles-s-invitent-au-supermarche> consulté le 20/05/2021
- http://locust.cirad.fr/tout_savoir/biologie/bio_1.html consulté le 10/06/2021
- Le site de l'OPIE (Office Pour les Insectes et leur Environnement) : <https://www.insectes.org/coleopteres/95-tenebrio-molitor-tenebrion-meunier-ou-ver-de-farine.html>

Annexes

Annexe 1 : Milieux de cultures et matériels de laboratoire utilisés durant la partie expérimentale

Milieux de cultures et réactifs	Matériels de laboratoire
<ul style="list-style-type: none"> • L'eau physiologique • Bouillon lactosé au pourpre de Bromocrésol (BCPL) • Milieu lactosée biliée au cristal violet et au rouge neutre (VRBL) • Gélose Chapman • Gélose viande foie (VF) • Gélose Hectoen • gélose <i>Sabouraud</i> • Plate Count Agar(PCA) • Milieu bouillon Lactose Mannitolé Tamponné (BLMT) • Bouillon au sélénite de sodium(SFB) • Eau peptonée exempte d'indole (EPI) • Sulfure de sodium • Alune de fer • Réactif Kovaks 	<ul style="list-style-type: none"> • Bécher • Spatule • Balance électronique • Plaque chauffante • Boîtes de Petris • Étuve • Bain marie • Tube à vis • Pipette pasteur • Micropipette • Bec BUNSEN • Agitateur magnétique • Autoclave • Vortex • Compteur de colonies • Pipettes graduées stériles (1 ml, 2 ml, 10 ml) • Boîtes de Pétri stériles • Porte-tubes • Le parafilm • Réfrigérateur

Annexe 2 : Milieux de culture

Plate Count Agar: PCA

Peptone.....	6g
Extrait de levure.....	8g
Gélose.....	15g
Eau D.....	1000 ml
pH final	7,2

Gélose au cristal violet, au rouge neutre, à la bile et au lactose : VRBL

Digestat enzymatique de tissus animaux.....	7, 2 g
Extrait de levure.....	3, 0 g
Sels biliaires.....	1, 5g
Lactose.....	10,0 g
Chlorure de sodium.....	5, 0 g
Rouge neutre.....	0, 03g
Cristal violet.....	0, 002g
Agar-agar bactériologique.....	12 g à 18 g
Eau.....	1000 ml

Gélose Sabouraud

Peptone.....	10 g
Glucose massé.....	20 g
Agar-agar.....	15 g

Eau distillée (qsp)..... 1 000 ml

vitamines et facteurs de croissance

pH..... 6,0

Milieu Bouillon au sélénite de sodium : SFB

Tryptone.....5 g

Lactose.....4 g

Sélénite.....4g

Hydrogène sélénite de sodium.....4,0 g

Eau distillé (quantité suffisante pour 1L)

Milieu viande foie : VF

Peptone viande – foie.....30, 00 g/L

Glucose.....2, 00 g/L

Amidon soluble.....2, 00 g/L

Sulfite de sodium.....2, 50g/L

Citrate ferrique ammoniacal.....0, 50 g/L

Agar.....11, 00 g/L

pH final à 25 °C : 7,6 + - 0,2

Gélose Hectoén

Peptone pepsique de viande.....12 g/L

Extrait de levure.....	3 g/L
Chlorure de sodium.....	5 g/L
Thiosulfate de sodium.....	5 g/L
Sels biliaire.....	9 g/L
Citrate de fer ammoniacal.....	1,5 g/L
Salicine.....	2 g/L
Saccharose.....	12 g/L
Fus chine acide.....	0,1 g/L
Bleu de bromothymol.....	0,065 g/L
Agar.....	14 g/L

pH= 7,5 (environ)

Gélose Chapman

Extrait de viande.....	3 g/L
Extrait de levure.....	3 g/L
Tryptone	5 g/L
Peptone bactériologique.....	10 g/L
Chlorure de sodium.....	10 g/L
Mannitol.....	10 g/L
Rouge de phénol.....	0,05 g/L
Agar.....	18 g/L
pH	7,4± 0,1

Milieu bouillon Lactose Mannitolé Tamponné : BLMT

Tryptone.....	5 g/L
Extrait de viande.....	1 g/L
Mannitol.....	10 g/L
Phosphate di-sodique.....	4 g/L
Phosphate moni-sodique.....	2, 5 g/L
pH.....	7

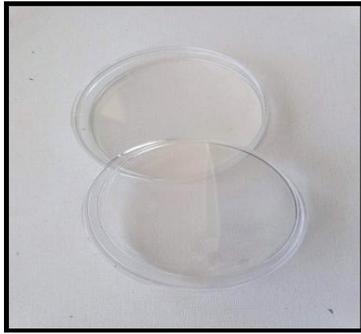
Bouillon lactosé au pourpre de Bromocrésol : BCPL

Peptone.....	5g
Extrait de viande.....	3g
Lactose.....	10g
Pourpre bromocrésol.....	25mg
pH.....	7

Eau peptonée exemple d'indole : EPI

Peptone exempte d'indole	15g
Chlorure de sodium	5g
PH.....	7,2

Annexe 3 : Matériels de laboratoire utilisés durant la partie expérimentale



Boîtes de Petris



compteur de colonies



Agitateur magnétique



Étuve



Plaque chauffante



Porte-tubes



Autoclave



Balance électronique



Bain marie



Bec BUNSEN

Résumé

La popularité de consommation d'insectes comestibles augmente ces dernières années en raison de leur richesse en valeurs nutritives tels que les protéines, les glucides et les vitamines.

Mais ces insectes peuvent contenir des microorganismes en grande partie dans leur microbiote intestinal ce qui les rendent dangereux pour la santé humaine.

Notre travail a comme objectif de contrôler la qualité microbiologique des farines fraîches et stockées de deux espèces d'insectes (*Schistocerca gregaria* et *Locusta migratoria*) issues d'un élevage à base de deux régimes différents.

Les résultats obtenus montrent que ces farines sont exemptes de tous les germes pathogènes donc elles ne présentent aucun risque microbiologique pour la santé humaine ou animale.

Mots clés : *Schistocerca gregaria*, *Locusta migratoria*, Insectes comestibles, farine d'insectes, Analyses microbiologiques, Entomophagie.

Summary

The popularity of consuming edible insects is increasing in recent years because of their richness in nutritional values such as protein, carbohydrates and vitamins.

But these insects may contain microorganisms in their microbiota which makes them dangerous for human health.

The objective of our work is to control the microbiological quality of fresh and stored meals of two species of insects (*Schistocerca gregaria* and *Locusta migratory*) from a breeding based on two different diets.

The results obtained show that these flours are frees of all pathogenic germs and therefore do not present any microbiological risk for human or animal health.

Keyword: *Schistocerca gregaria*, *Locusta migratoria*, Edible insects, insect meal, Microbiological analysis, Entomophagy.

المخلص :

ازدادت شعبية استهلاك الحشرات الصالحة للأكل في السنوات الأخيرة بسبب غناها بالقيم الغذائية مثل البروتينات والكربوهيدرات والفيتامينات. لكن هذه الحشرات يمكن أن تحتوي على كائنات دقيقة (الجراثيم) مما يجعلها خطرة على صحة الإنسان.

يهدف عملنا إلى التأكد من الجودة الميكروبيولوجية للدقيق الطازج والمخزن لنوعين من الحشرات (*Locusta migratoria* و *Schistocerca gregaria*) التي تم الحصول عليها من تربيتهم بالاعتماد على نظامين غذائيين مختلفين.

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن هذا الدقيق خال من جميع الجراثيم المسببة للأمراض وبالتالي لا تمثل أي خطر ميكروبيولوجي على صحة الإنسان أو الحيوان.

الكلمات المفتاحية: الحشرات الصالحة للأكل، دقيق الحشرات، التحليل الميكروبيولوجي.