

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique Et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة امحمد بوقرة بومرداس

Université M'HEMED 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 :

Étude de la qualité microbiologique des farines issues de deux insectes comestibles *Locusta migratoria* et *Schistocerca gregaria* en vue de leur valorisation en industrie agroalimentaire par formulation d'un biscuit sec.

Réalisé par :

Melle Bouhaouya Fella

Melle Kezadri Selma

Melle Zoui Hind

Devant le jury :

Dr ALLOUANE R.

MCB (UMBB)

Présidente de jury

Pr ACHEUK F.

Professeur (UMBB)

Promotrice

Dr KHEMILA A.

Doctorant (UMBB)

Co- promoteur

Dr YOUYOU S.

MCB (UMBB)

Examinatrice

Année universitaire : 2020-2021

Remerciements

Tout d'abords, nous tenons à remercier **Allah**, le tout puissant et le miséricordieux, de nous avoir donné la santé, la volonté et la patience pour mener à terme ce modeste travail.

On exprime nos vifs remerciements à **Pr Acheuk F.**, qui nous a fait l'honneur d'être notre promotrice et son aide précieuse et sa disponibilité.

Nous tenons également à remercier profondément notre Co-promoteur **Dr khemila A.**, pour ses encouragements et aussi d'être toujours là, pour nous écouter, nous aider et nous guider à retrouver le bon chemin par ces précieux conseils.

Nous tenons d'autre part à remercier les membres du jury, pour bien vouloir nous accorder de leur temps précieux, pour commenter, discuter et juger notre travail.

Nous présentons nos sincères remerciements aux groupe de la biscuiterie semi industriel Isser : " SARL ISO 9 International " surtout **Mr Aboudaou M.**, Directeur de la production et de la R&D de la biscuiterie, et Mme **Djenane F.**, responsable de laboratoire microbiologique de biscuiterie, pour leur encouragement et la confiance, et leur accueil durant toute la durée de ce projet.

En fin, nous pouvons achever ce mémoire sans exprimer notre gratitude à tous les enseignants de la spécialité biotechnologie microbienne, pour tout le savoir qu'ils nous ont donné.

SELMA, FELLA et HIND

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

*A mes parents, ma plus grande fierté et mes modèles
dans cette vie, Qui m'ont toujours encouragée à aller de
l'avant et qui m'ont donnée tout leur amour, auxquels je
dois ce que je suis aujourd'hui, que dieu les protège*

A mes frères SIDALI ET, ABD EL RAHIM

*A ma chère sœur HADJIRA, pour ses soutient morale et
leur conseil précieux tout au long de mes études*

A mes chers trinôme SELMA♥♥ ET HIND♥♥

Atout le membre de ma famille « BOUHAOUYA »

A tous mes amies

Et tous ceux qui m'aiment

NINA, MARWA, ISRAA, KHADOUJ, LILI,

ABDOU, ISSO

FELLA

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

A celle qui m'a offert la tendresse, et qui a été toujours là pour moi, a celle qui me donne l'image de la femme forte qui peut franchir tous les obstacles, à ma mère.

*A mon père, rien au monde ne vaut les efforts fournis
mon éducation et mon bien être*

*A ma fierté de vie, mes quatre frères : Mohamed, Hocine,
Khiredine et Younes.*

*A ma chère et unique sœur Fatima qui ma protégée avec
son amour depuis ma naissance, et leurs enfants
Mohamed, Anis, et la petite adorable Amira.*

A mes oncles, mes tantes, mes cousines et cousins.

A mes chères trinômes Fella et Hind. et tous ses familles,

A tous mes amis et tous ceux qui m'aiment,

*Houdhoud, Meryouma, Sousita, Nina, nissa, Khadija,
Soumia bgd, Lili, Meriem ch et Chahira.*

*Ainsi que tous les membres de ma famille et toute
personne qui porte le nom KEZADRI.*

SELMA

Dédicace

Je dédie ce travail

À mon père décédé ALI qui m'a soutenu tout long de mon parcours universitaire et j'espère avoir exaucé son vœu de réussite.

A ma chère mère RABIAA

Pour son amour a fait de moi ce que je suis aujourd'hui.

A vous mes chères sœurs

BAYA YASMINA OM KELTHOUM

ET mon frère AMEUR

A mon oncle SAMY ET ma chère tante RIMA

Pour leurs aides et supporté dans les moments difficiles.

A mon cher trinôme FELLA ♥ SELMA

A mon fiancé NABIL

Qui m'a toujours Setenu.

A tout ce qui m'aime

Tassa Imene Meriem Chahed

HIND

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Table des matières

INTRODUCTION.....1

Partie Théorique

Chapitre I : Entomophagie

I.1. Entomophagie	6
I.2. Répartition des insectes comestibles dans le monde.....	7
I.3. Grands groupes d’insectes comestibles	9
I.3.1. Lépidoptères	9
I.3.2. Coléoptères.....	10
I.3.3. Orthoptères	11
I.3.4. Hyménoptères.....	11
I.3.5. Hémiptères	12
I.3.6. Isoptères	12
I.4. Valeur nutritionnelle des insectes comestibles	12
I.4.1. Apports énergétiques.....	13
I.4.2. Protéines	14
✓ Acides aminés	15
I.4.3. Matières grasse	15
I.4.4. Glucides.....	17
I.4.5. Teneur en fibre	18

I.4.6. Les micronutriments.....	18
a) Vitamines.....	18
b) Minéraux	19
I.5. Avantages des élevages d’insectes comparés aux élevage traditionnels	19
I.6. Risque liés à la consommation des insectes.....	22
I.6.1. Risque allergène	22
I.6.2. Risque microbiologique	22
I.6.3. Risque chimique	22
I.6.4. Risque physique	23
I.6.5. Risque de toxicité.....	23
I.7. Transformation des insectes comestibles destinés à l’alimentation humaine	24
I.7.1. Différents types de produits à bases d’insectes	24
I.7.2. Exemples de produits à base d’insectes comestibles destinés à la consommation humaine	25

Chapitre II : Données bibliographiques sur *Locusta migratoria* et *Schistocerca gregaria*

II...Présentation des deux espèces acridiennes <i>Locusta migratoria</i> et <i>Schistocerca gregaria</i>	27
II.1. Présentation de <i>Locusta migratoria</i>	27
II.1.1. Position systématique de <i>Locusta migratoria</i>	27
II.1.2. Morphologie.....	27
II.1.3. Cycle biologique	28
II.1.4. Développement embryonnaire	28
II.1.5. Développement larvaire	29
II.1.6. Développement imaginal et maturation sexuelle	29
II.1.7. Accouplement	29
II.2. Présentation du criquet pèlerin <i>Schistocerca gregaria</i>	30

II.2.1.	Position systématique du criquet pèlerin	30
II.2.2.	Morphologie.....	31
II.2.3.	Cycle biologique	31
II.2.4.	Développement embryonnaire	32
II.2.5.	Développement larvaire	32
II.2.6.	Développement imaginaire.....	32
II.2.7.	Accouplement	32

Chapitre III : Technologie biscuitière

III.1.	Généralité sur les biscuits.....	35
III.2.	Classification des biscuits	35
III.3.	Matière première utilisées dans la fabrication des biscuits.....	36
III.3.1.	Farine	36
III.3.2.	Sucre	36
III.3.3.	Matière grasse	36
III.3.4.	Eau	37
III.3.5.	Substances levants	37
III.3.6.	Lait	37
III.3.7.	Œufs en poudre	37
III.3.8.	Sel	37
III.4.	Chaine de fabrication des biscuits	38
III.4.1.	Pétrissage	38
III.4.2.	Façonnage et découpage de la pate	38
III.4.3.	Cuisson.....	38
III.4.4.	Refroidissement	39
III.4.5.	Conditionnement.....	39
III.4.6.	Critères d'évaluation de la qualité du biscuit.....	39

Partie expérimentale

Chapitre IV : Matériels et méthodes

IV.1. Matériel biologie.....	43
IV.2. Matériel non biologique.....	43
IV.3. Méthodes.....	43
IV.3.1. Elevage des criquets.....	43
IV.3.2. Traitement des échantillons (la farine de <i>Locusta migratoria</i> et <i>Schistocerca gregaria</i>).....	44
IV.3.2.1. Séchage des insectes.....	44
IV.3.2.2. Broyage des insectes	45
IV.3.3. Analyses microbiologiques de la farine de <i>Locusta migratoria</i> et <i>Schistocerca gregaria</i>	45
IV.3.3.1. Préparation de la solution mère et des dilutions décimales.....	45
IV.3.3.2. Recherche et dénombrement de la flore mésophile aérobie totale à 30°C	46
IV.3.3.3. Recherche et dénombrement de coliformes totaux et fécaux.....	46
IV.3.3.4. Recherche et dénombrement des levures et moisissures	47
IV.3.3.5. Recherche et dénombrement des <i>Staphylococcus aureus</i>	47
IV.3.3.6. Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux.....	48
IV.3.3.7. Recherche et des salmonelles	49
IV.3.4. Formulation de biscuit sec	49
IV.3.4.1. Recette du biscuit formulé.....	49
IV.3.4.2. Processus de formulation du biscuit sec.....	50
IV.3.4.2.1. Procédé de mélange des matières premières	50
IV.3.4.2.2. Moulage des pâtes	51
IV.3.4.2.3. Conditions de cuisson.....	51
IV.3.4.2.4. Refroidissement et emballage	51
IV.3.5. Détermination des paramètres physiques.....	51

IV.3.6. Analyses microbiologique de biscuit sec formulé par incorporation de la farine de criquet	52
IV.3.7. Analyses sensorielles des biscuits formulés	52
IV.3.8. Analyses statistiques	53

Chapitre V : Résultats et discussion

V.1. Résultats de L'analyses microbiologiques de la farine des criquets.....	55
V.2. Analyses physiques et microbiologiques du biscuit enrichi par la poudre des deux espèces du criquet	59
V.2.1. Etude des caractéristiques physiques des biscuits	59
V.2.2. Analyse microbiologique de produit fini	60
V.2.3. Résultats des caractéristiques organoleptiques des biscuits.....	61
V.2.3.1. Odeur.....	61
V.2.3.2. Goût.....	63
V.2.3.3. Aspect (texture).....	64
V.2.3.4. Couleur.....	65
V.2.3.5. Croustillance.....	66
V.2.4. Résultats des Analyses statistiques	69
V.3. Discussion générale	77
Conclusion.....	80

Références bibliographiques.

Annexes.

Résumé

Liste des figures

Fig. 1 : Nombre d'espèce d'insectes comestibles enregistrées par pays	7
Fig. 2 : Pourcentage d'insectes comestibles par ordre	9
Fig. 3 : Chenilles d' <i>Imbrasia oyemensisse</i> nourrissant de feuilles de Sapelli	10
Fig. 4 : Larve de <i>Tenebrio molitor</i>	11
Fig. 5: <i>Acheta domesticus</i> (à gauche) et <i>Locusta migratoria</i> (à droite)	11
Fig. 6: Fourmi à miel	12
Fig. 7 : Comparaison de production des gaz à effet de serre (g/kg) entre les insectes comestibles et les animaux traditionnels	21
Fig. 8 : Espace nécessaire pour produire 1kg de protéines consommable par les insectes et les animaux traditionnels	21
Fig. 9 : Efficacité de conversion des animaux traditionnels et du criquet	21
Fig. 10 : Criquet migrateur <i>Locusta migratoria</i>	27
Fig. 11: Cycle biologique du criquet migrateur	30
Fig. 12 : <i>Schistocerca gregaria</i>	30
Fig. 13 : Cycle biologique de criquet pèlerin	33
Fig. 14: Elevage des criquets	44
Fig. 15 : Séchage des individus de <i>Schistocerca gregaria</i>	44
Fig. 16 : Séchage des individus de <i>Locusta migratoria</i>	44
Fig. 17: Broyage des criquets	45
Fig. 18 : Farine obtenue après broyage	45
Fig. 19: Résultats de l'appréciation de l'odeur des différents biscuits fabriqués par l'incorporation de la farine de <i>Locusta migratoria</i> à différents taux.....	62
Fig. 20: Résultats de l'appréciation de l'odeur des des différents biscuits formulés par l'incorporation de la farine de <i>Scistocerca gregaria</i> à différents taux.....	62
Fig. 21 : Résultats de l'appréciation du goût des biscuits produits par incorporation de la farine de criquet de <i>Locusta migratoria</i> à différents taux.	63
Fig. 22: Résultats de l'appréciation du goût des biscuits formulés par l'incorporation de la farine de <i>Schistocerca gregaria</i> à différents taux.	63
Fig. 23: Résultats de l'évaluation de l'aspect des biscuits produits par l'incorporation de la farine de <i>Locusta migratoria</i> à différents taux.	64
Fig. 24 : Résultats de l'évaluation de l'aspect des biscuits formulés par l'incorporation de la farine de <i>Schistocerca gregaria</i> à différents taux	64

Fig. 25 : Résultats de l'appréciation de la couleur des biscuits formulés par l'incorporation de la farine de <i>Locusta migratoria</i> à différents taux.	65
Fig. 26 : Résultats de l'appréciation de la couleur des biscuits formulés par l'incorporation de la farine de <i>Schistocerca gregaria</i> à différents taux.	66
Fig. 27 : Résultats de l'évaluation de la croustillance des biscuits enrichis par la farine de <i>Locusta migratoria</i> à différents taux.	66
Fig. 28 : Résultats de l'évaluation de la croustillance des biscuits enrichi par la farine de <i>Schistocerca gregaria</i> à différents taux.	67
Fig. 29 : Biscuits formulés par incorporation de la farine de <i>Schistocerca gregaria</i> à différents taux.....	68
Fig. 30 : Biscuits formulés par incorporation de la farine de <i>Locusta migratoria</i> avec différents taux.....	69
Fig. 31 : Résultats de l'analyse l'anova da l'humidité de <i>Locusta migratoria</i>	70
Fig. 32 : Résultats de l'analyse l'anova de diametre de <i>Locusta migratoria</i>	71
Fig. 33 : Résultats de l'analyse l'anova de l'épaisseur de <i>Locusta migratoria</i>	72
Fig. 34 : Résultats de l'analyse l'anova da l'humidité de <i>Schistocerca gregaria</i>	73
Fig. 35 : Résultats de l'analyse l'anova da diamètre de <i>Schistocerca gregaria</i>	74
Fig. 36 : Résultats de l'analyse l'anova da l'epaisseur de <i>Schistocerca gregaria</i>	75

Liste des tableaux

Tableau n° 1 : Teneurs en protéines et en apports énergétiques des insectes comestibles comparées aux animaux d'élevage	13
Tableau n° 2 : Teneurs en protéines brutes des différents ordres d'insectes comestibles	15
Tableau n° 3 : Teneurs moyennes en acides gras par ordre d'insectes.	17
Tableau n° 4 : Teneur en fibres contenues dans la matière sèche de quelques insectes comestibles.....	18
Tableau n° 5 : Les modifications physico-chimiques durant la cuisson des biscuits	38
Tableau n° 6 : Ingrédients utilisés pour la formulation du biscuit sec Témoin	50
Tableau n° 7 : Différentes formulations utilisées pour la conception du biscuit sec.....	50
Tableau n° 8 : Résultats des analyses microbiologiques de la farine des criquets	55
Tableau n° 9 : Lecture des analyses microbiologique	56
Tableau n° 10 : Résultats des analyses physiques des biscuits secs produits par incorporation de la poudre d'insectes à différents taux (10, 15 et 20%).	60
Tableau n° 11 : Résultats de l'analyse microbiologique de biscuit sec	60
Tableau n°12 : Résultats de l'analyse statistique de humidité de <i>Locusta migratoria</i>	69
Tableau n°13 : Résultats de l'analyse statistique de diamètre de <i>Locusta migratoria</i>	70
Tableau n°14: Ré sultats de l'analyse statistique de l'épaisseur de <i>Locusta migratoria</i>	71
Tableau n° 15 : Résultats de l'analyse statistique de l'humidité de <i>Schistocerca gregaria</i> ..	72
Tableau n°16: Résultat de l'analyse statistique de diamètre de <i>Schistocerca gregria</i>	73
Tableau n° 17 : Résultats de l'analyse statistique de l'épaisseur de <i>Schistocerca gregria</i> ...	74

Liste des abréviations

FAO : Organisation des Nations unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

ONU : Organisation Des Nations Unies

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

Av J.-C : Avant Jésus – Christ

OPIE : office pour les insectes et leur environnement

ANSES : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

ORS : Observation régional de la santé

AGMI : Acide Gras Monoinsaturés

AGPI : Acide Gras Polyinsaturés

AGS : Acide Gras Saturés

Kcal : Kilocalories

L : litre

mL : millilitre

Kg : kilogramme

g : Gramme

CO₂ : Dioxyde de carbone

min : minute

C° : degré Celsius

NaCl : Chlorure de sodium

FMAT : La Flore Mésophile Aérobie Totale

UFC : Unité Formant une Colonie

TGEA : Tryptone glucose et l'extrait d'Agar

VRBL : Gélose lactosée biliée au vert brillant et au rouge de phénol

OGA : Gélosé à l'Oxytetracycline

BLMT : Bouillon Sélénite cystéine

SFB : Bouillon lactosée mannitol tamponné

Iso : International Organization for standardization

FC : Farine de criquet

PC : poudre de criquet

AFSSA : Agence française de sécurité sanitaire des aliments

NVWA : Nederlandse Voedsel-en Warenautoriteit

EPT : Eau Peptonée tamponnée

H₂S : Hydrogène sulfuré

JORA : Journal Officiel Algérie.

ANOVA : Analysis of variance

Introduction

Introduction

L'agriculture et, par le fait même, l'alimentation constituent des enjeux importants pour l'humanité et deviendront de plus en plus critiques dans les décennies à venir (FAO, 2009). Selon plusieurs auteurs notamment UNFPA (2011), Van Huis *et al.* (2013), Grafton *et al.* (2015), ONU (2019), Montowska *et al.* (2019), la population mondiale qui est de sept milliards d'âmes aujourd'hui ne cesse de croître et atteindra neuf milliards en 2050. Presque la totalité de cette augmentation de la population se produira dans les pays en développement qui sont les plus touchés par la malnutrition (ONU, 2011). Belluco *et al.* (2013) notent également que la croissance actuelle de la population mondiale risque d'aggraver rapidement le problème de sécurité alimentaire dans les pays en développement. En effet, la famine et la malnutrition sont des fléaux qui perdurent encore au 21^{ème} siècle. Cette situation touche certains pays plus que d'autres : quelques zones en Amérique du Sud (Bolivie, Paraguay, Pérou), en Asie (Mongolie, Pakistan), mais majoritairement en Afrique. C'est en Afrique centrale (Ethiopie, Mozambique, Tchad, ...) que subsistent les plus forts taux de malnutrition et de dénutrition au monde (FAO, 2008). Van Huis (2015) note que depuis 1970, la consommation de viande a presque triplé et elle devrait encore doubler d'ici 2050. Mais les ressources en terres agricoles seront bientôt épuisées, puisque 70% d'entre elles sont déjà réservées au bétail. De plus, la production industrielle de bétail pèse lourd sur l'environnement. Elle est à l'origine d'au moins 15 % des gaz à effet de serre, qui entraînent un réchauffement climatique mondial. En effet, l'élevage traditionnel est l'une des principales causes des problèmes environnementaux les plus pesants à savoir le réchauffement de la planète, la dégradation des terres, la perte de biodiversité, la pollution de l'atmosphère et des eaux (FAO, 2009). C'est pourquoi, il est nécessaire de trouver dès à présent des solutions alternatives en ce qui concerne la production alimentaire et qui peuvent être obtenues de manière durable (Cazaux *et al.*, 2010 ; Van der Spiegel *et al.*, 2013 ; Habou *et al.*, 2015 ; Parodi *et al.*, 2018 ; FAO, 2019 ; OMS, 2019). Par conséquent, de nouvelles méthodes de production et/ou de nouveaux aliments doivent être élaborés tout en préservant la qualité des aliments, l'habitat naturel et la biodiversité des espèces animales et végétales consommées. A ce titre, les insectes apparaissent de plus en plus comme une solution d'avenir (FAO 2009 ; Belluco *et al.* 2013 ; Gahukar, 2011). Donc selon la FAO (2013) l'élevage des insectes peut répondre à cette problématique.

Selon Offenberg (2011) et Van Huis *et al.* (2013), l'élevage des insectes présente des avantages environnementaux par rapport à l'élevage classique, car il ne demande pas autant d'eau et de terre et qu'il émet moins de gaz à effet de serre. En outre, les insectes présentent une meilleure efficacité de conversion alimentaire (c'est-à-dire une mesure de l'efficacité de l'animal à convertir la masse d'aliments en masse corporelle) par rapport au bétail mammifère.

Introduction

Ces mêmes auteurs ont même indiqué que l'indice de consommation du grillon domestique (*Acheta domestica*) était deux fois supérieur à celui du poulet, quatre fois supérieur à celui de porc et plus de douze fois supérieur à celui de bovin. Par ailleurs, les insectes ont des taux de reproduction élevés, une grande résistance aux maladies, une grande capacité d'adaptation aux écosystèmes et un cycle de vie court (Araujo *et al.*, 2007). Selon Kouřimská et Adámková (2016), l'alimentation humaine en insectes est traditionnellement pratiquée dans 113 pays du monde. La plus grande consommation d'insectes se situe en Afrique, puis en Asie et enfin en Amérique latine (Paoletti et Dreon, 2005 ; Ramos-Elorduy et Yjeio-Montesino, 2007 ; Chen *et al.*, 2009 ; Yhoungh- Aree, 2010 ; Van Huis, 2005 ; Jongema, 2017).

Les insectes sont une ressource naturelle importante, à la fois pour l'autosuffisance et comme produits alimentaires dans de nombreuses régions du monde (Mitsubishi, 2008 ; Mezdoor, 2020). Sur le plan nutritionnel, les insectes sont une bonne source de protéines et d'acides aminés et de lipides et d'acides gras (Paoletti *et al.* 2003 ; DeFoliart, 2005 ; Ramos-Elorduy, 2005 ; Kouřimská et Adámková, 2016). Ils en contiennent 3 à 4 fois plus que le porc ou le poulet pour un même poids de matière (Much, 2012). En effet, cette teneur varie fortement en fonction des espèces d'insectes et de leur alimentation mais certains insectes comme criquets, grillons, sauterelles, vers de farine, vers à soie, termites tiennent la comparaison avec le bœuf, les crustacés et les poissons (Van Huis, 2013). D'autres auteurs comme Raubenheimer et Rothman (2013), Rumpold et Schlüter (2013a) ont noté que la plupart des insectes comestibles fournissent un apport suffisant en énergie et en protéines dans l'alimentation humaine, et répondent aux besoins en acides aminés. Les insectes ont également une teneur élevée en acides gras mono- et polyinsaturés. Ils sont riches également en oligo-éléments tels que le cuivre, le fer, le magnésium, le manganèse, le phosphore, le sélénium et le zinc, ainsi qu'en vitamines comme la riboflavine, l'acide pantothénique, la biotine et l'acide folique (Rumpold et Schlüter, 2013b).

L'acceptation par les consommateurs reste le frein principal à l'adoption d'insectes en tant que source d'alimentation humaine (Gallen et Gaele, 2015). Il existe trois principaux motifs de refus alimentaire par l'homme : le danger, l'aversion et le dégoût (Rozin et Fallon, 1980 ; Fallon *et al.*, 1984 ; Rozin *et al.*, 2008). Ces trois motifs signalent, par l'intermédiaire des émotions associées : la peur, le déplaisir et le dégoût que l'ingestion des insectes peut produire des conséquences physiques ou psychologiques désagréable voire dangereuse et que le produit doit par conséquent être évité (Damasio, 1995).

Introduction

Le présent travail vise à valoriser deux farines issues de deux insectes comestibles (*Locusta migratoria* et *Schistocerca gregaria*) en agroalimentaire. Il contribue à la formulation d'un biscuit sec par l'incorporation de la farine de deux insectes avec des pourcentages différents 10%, 15% et 20%. Il porte aussi sur les analyses microbiologiques et physico-chimique des matières premières et les produits finis. La présente étude s'articule autour de 3 chapitres dont le premier porte sur une synthèse bibliographique sur les insectes comestibles. Le deuxième chapitre est consacré à la présentation de la méthodologie de travail. Les résultats obtenus et discussion sont regroupés dans le troisième chapitre. Une conclusion générale assortie de perspectives termine ce manuscrit.

Partie Théorique

Chapitre I

Entomophagie

I.1. Entomophagie

La définition du terme « entomophagie » est simple : d'origine grecque, la combinaison des racines « phagein » et « entomos » signifie littéralement « manger des insectes » (Comby,1990 ; Pal et Roy, 2014).

Plusieurs organismes vivants adoptent naturellement cette habitude alimentaire, comme les reptiles, les oiseaux, les amphibiens et les mammifères, en incluant les humains (Hwango *et al.*,2009 ; Makkar *et al.*,2014 ; Sanchez *et al.*,2015 ; Khan *et al.*,2016). Actuellement, La consommation des insectes est très répandue dans les régions tropicales et subtropicales du monde entier (Bodenheimer, 1951 ; Costa Neto, 2013). Cependant, les populations occidentales perçoivent plutôt la consommation d'insectes comme une aberration, comme un mode de consommation moins conforme à leurs habitudes alimentaires ou même comme une menace à l'identité culturelle et psychologique de leur pays (Looy *et al.*, 2013 ; Halloran *et al.*, 2015 ; Verbeke, 2015 ; Capparos *et al.*, 2016 ; Cicatiello *et al.*, 2016 ; Ayensu *et al.*, 2019).

D'autre part, Jongema (2017), note que plus de 2100 espèces d'insectes sont consommées par environ 3071 groupes ethniques dans 140 pays du monde. Bien que, rare au sein des sociétés occidentales, l'entomophagie est un pratique ancestral n'est pas nouvelle qu'a eu un poids important dans le régime alimentaire de l'homme au cour de l'histoire (Meyer-Rochow et Chakravorty,2013 ; Mlcek *et al.*, 2014 ; Rumpold et Schlüter,2014 ; Zielinska *et al.*, 2015).

En effet, les écrits suggèrent qu'au départ l'homme avait un régime alimentaire insectivore (Ramos-Elorduy, 2009). Des peintures datant de 30 000 à 9 000 ans av. J.-C. dans des cavernes d'Espagne illustrent la consommation d'insectes par l'humain (Radia et Whippey, 2016). Les insectes auraient été les premiers aliments consommés grâce à la chasse (Ramos-Elorduy, 2009). Ce même auteur rapporte que les fruits, les légumes et la viande auraient ensuite été intégrés au régime alimentaire de l'homme. L'entomophagie aurait donc toujours fait partie de la diète des êtres humains (Deroy *et al.*, 2015 ; Hartmann et Siegrist,2016 ; Tan *et al.*, 2016). La première référence concernant l'entomophagie date de la Grèce antique. Les cigales y sont décrites comme un délice. Aristote (384-322 av. J.-C.) a écrit : « La larve de cigale, lorsqu'elle atteint sa pleine taille dans le sol, devient une nymphe, alors elle a le meilleur goût avant que sa carapace n'éclate » (van Huis *et al.*, 2013). De plus la consommation d'insectes est également mentionnée dans la littérature religieuse chrétienne, juive et islamique (Van Huis *et al.*, 2013).

D'ailleurs, les textes islamiques déclarent : « les grillons sont les gibiers de la mer ; vous pouvez les manger » (Sunan ibn Majah)

Aujourd'hui l'entomophagie n'est pas une pratique primitive ou futuriste mais une pratique contemporaine et les insectes comestibles présentent de nombreux avantages (Ramos-Elorduy, 2009).

I.2. Répartition des insectes comestibles dans le monde

Selon Van Huis *et al.* (2013), la consommation d'insectes n'est pas un concept nouveau dans de nombreuses régions du monde. Il est difficile d'estimer le pourcentage de personnes mangeant des insectes. Selon Van Itterbeek *et al.* (2012), les statistiques nationales ne prennent pas ces aliments en considération, cependant des chercheurs estiment que la consommation d'insectes est régulièrement pratiquée par au moins 2 milliards d'humains sur Terre (Fig. n°1). Traditionnellement confinée à différents pays d'Asie, d'Afrique et d'Amérique du Sud, l'entomophagie commence à s'étendre à l'Europe et aux États-Unis. Bien que très limitée, surtout pour des raisons psychologiques et culturelles, l'entomophagie tend à se développer avec l'émergence, dans différents pays d'Europe, d'une production industrielle d'insectes comestibles, associée à l'ouverture de restaurants spécialisés (Barre *et al.*, 2014).

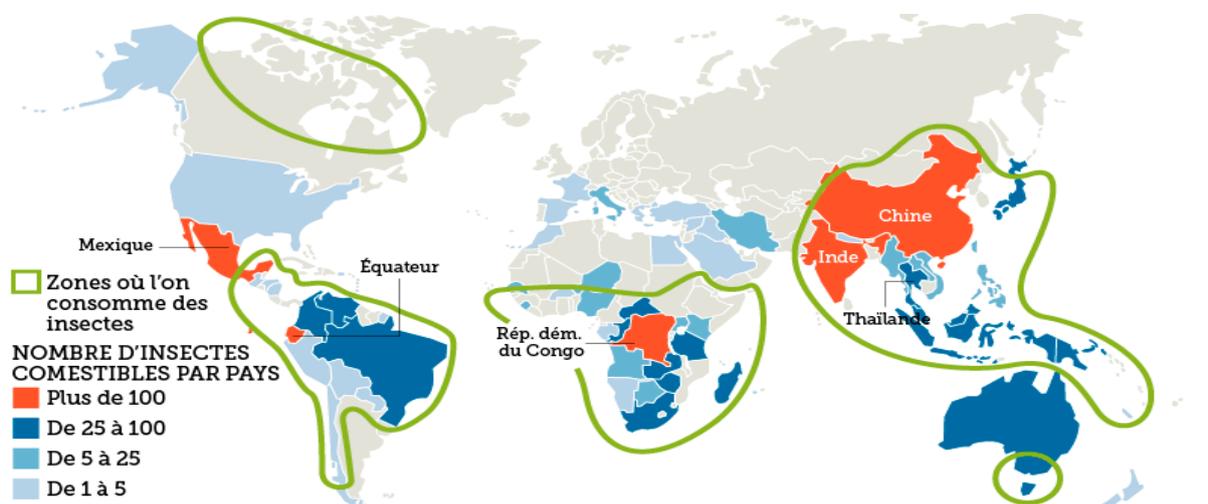


Fig. 1 : Nombre d'espèce d'insectes comestibles enregistrées par pays (Jongema, 2017)

Actuellement, il y a plus de 2100 espèces d'insectes qui sont considérés comme comestibles dans 140 pays (Jongema, 2017). Des estimations plus basses existent. DeFoliart (1997) a compté moins de 1000 espèces, alors que Ramos Elorduy (2005) en comptait au moins 1681 espèces, et enfin Jongema (2012) a compté 1900 espèces.

Des estimations régionales et nationales ont également été faites : L'Amérique est plus riche en espèces comestibles, retrouvées en grande partie en Amérique du Sud et au Mexique avec 549 espèces comestibles recensées (Ramos-Elorduy, 2011 ; Pino Moreno, 2016). Selon Paoletti et Dufour (2005), 428 espèces étaient consommées dans le bassin amazonien. En Afrique, Van Huis (2005), a identifié 250 espèces comestibles, alors que Ramos-Elorduy (2010), a estimé 524 espèces dans 36 pays. Selon le même auteur ces pays se trouvent en grande partie dans les régions centrale et australe. Des autres auteurs comme Illgner et Nell (2000), Van Huis (2003), soulignent que 209 espèces sont consommées en Afrique sub-saharienne. L'Asie avec 349 espèces comestibles et 29 pays consommateurs d'insectes arrive en troisième position (Ramos-Elorduy, 2009). Il est à rappeler que jusqu'à 81 espèces d'insectes sont consommées dans les zones rurales et urbaines (Van Huis *et al.*, 2013 ; Van Huis, 2015). En outre, plus de 50 espèces d'insectes sont consommées en Asie du Sud (Inde, Pakistan et Sri Lanka), 39 espèces en Papouasie-Nouvelle-Guinée et dans les îles du Pacifique (Yhoung-Aree et Viwatpanich, 2005), et 150 à 200 espèces sont trouvées dans la partie Sud-Est qui comprend l'Indonésie, le Laos, la Malaisie, le Myanmar, les Philippines et le Vietnam (Johnson, 2010 ; Schabel, 2010). Selon Chen *et al.* (2009), 170 espèces sont répertoriées en Chine.

L'Europe et l'Amérique du Nord représentent les continents où l'entomophagie est la moins présente (Mac-Evilly, 2000). En effet, l'attitude négative des mangeurs vis-à-vis de la consommation d'insectes est culturelle (Deroy *et al.*, 2015). Toutefois, suite à la parution du rapport de la FAO en 2013, l'idée de la consommation a commencé à émerger en Europe et en Amérique du Nord. On retrouve maintenant de plus en plus d'entreprises, de restaurants et de camions de rue qui offrent des insectes aux consommateurs. À Londres par exemple, le restaurant *Archipelago* sert des crickets frits avec quinoa et épinards. En 2015, une chaîne d'épicerie aux Pays-Bas, comptant plus de 500 magasins, ont intégré des hamburgers et des croquettes faites à partir de vers (Van Huis, 2016).

I.3. Grands groupes d'insectes comestibles

Fournir des chiffres définitifs sur le nombre d'espèces d'insectes comestibles dans le monde est difficile pour plusieurs raisons. Premièrement, il est peu probable qu'un individu entomophage décrive un insecte selon sa nomenclature linnéenne, ce qui rend les estimations officielles complexes. Les choses sont compliquées par l'utilisation dans de nombreuses cultures de plusieurs noms vernaculaires pour la même espèce d'insecte (Van Huis, 2014).

A l'échelle mondiale, les insectes les plus couramment consommés sont les scarabées (Coléoptère) (31%), les chenilles (Lépidoptère) (18%), les abeilles, les guêpes et les fourmis (Hyménoptère) (14%). Ces ordres sont suivis par les sauterelles et les criquets (Orthoptères) (13%), par les cigales, les cicadelles et les punaises (Hémiptères) (10%), par les termites (Isoptères) (4%), par les libellules (Odonates) (3%) et enfin par les mouches (Diptères) (2%). Les autres insectes comestibles sont représentés par 5% (Johnson, 2010) ; Alexandratos et Bruinsma, 2012 ; Van Huis et *al.*, 2013 ; Jongema, 2015 ; Zielińska *et al.*, 2015 ; Van Huis, 2016 ; Jongema, 2017) (Fig. n° 2).

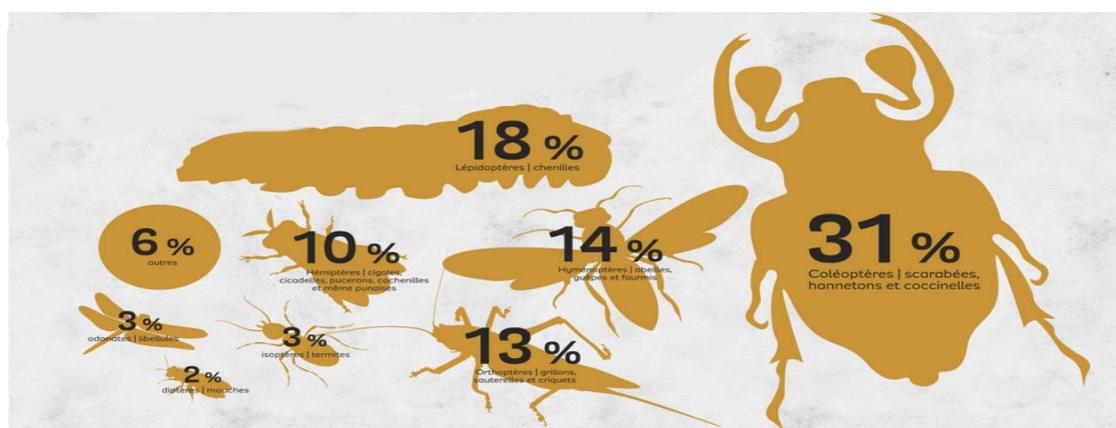


Fig. 2 : Pourcentage d'insectes comestibles par ordre (Jongema, 2017)

I.3.1. Lépidoptères

Au niveau mondial, le nombre d'espèces de Lépidoptères consommés et scientifiquement identifiés est actuellement de 192 espèces. Ces dernières sont réparties comme suit : 24 espèces en Amérique du Nord, 11 espèces en Amérique du Sud, 2 espèces seulement en Europe, 111 espèces en Afrique, 22 espèces en Asie et 24 espèces en Océanie (Malaisse, 2004). Les lépidoptères (papillons) sont typiquement consommés au stade larvaire, mais les adultes sont aussi consommés (Van Huis, 2013). La larve des lépidoptères est nommée chenille (Lavalette, 2013). En effet, les lépidoptères subissent une métamorphose complète, ce sont des

Holométaboles, leur cycle de vie consiste en quatre stades de développement : œuf, larve, nymphe (Chrysalide) et adulte (imago) (Makhado *et al.*, 2015). Le passage par un stade nymphal est protégé par un cocon permet la transformation de la chenille en papillon (Makkar *et al.*, 2014). Les chenilles sont consommées partout dans le monde avec de nombreuses espèces consommées en Afrique, notamment *Imbrasia oyemensis* (Fig. n° 3), en Amérique du Sud particulièrement au Mexique c'est l'espèce *Aegialehes periaris* qui est la plus consommée. En Asie les espèces les plus consommées sont notamment *Bombyx mori* et *Bombyx eri* (Gasse, 2003).



Fig. 3 : Chenilles d'*Imbrasia oyemensis* nourrissant de feuilles de Sapelli (N'Gasse, 2003).

I.3.2. Coléoptères

Les coléoptères forment l'ordre d'insectes le plus nombreux. Ils représentent environ 40% de toutes les espèces d'insectes décrites. Il existe dans le monde plus de 300 000 espèces de coléoptères (Aguilar et Fraval, 2004). En effet, sous les tropiques, les Coléoptères sont l'ordre le plus important concernant la diversité des insectes consommés par l'homme avec 31,2 % de tous les insectes consommés (Jongema, 2017). Selon Ramos-Elorduy (2008), les larves de différentes espèces de coléoptères de la famille des ténébrionidés sont appelées vers de farine comme *Tenebrio molitor* (Fig. n° 4). Ces derniers, aujourd'hui sont les plus représentés en termes d'élevage en Europe et en France, principalement dans le cadre de l'alimentation animale, mais de plus en plus avec des perspectives pour l'alimentation humaine (Dunford et Kaufman, 2006). En général, c'est le stade larvaire qui est consommé et même si tous les stades peuvent l'être. Defoliart (2003) note que lors de la consommation de l'imago, il faut enlever la tête, les pattes et autres parties dures (Defoliart, 2003).



Fig. 4 : Larve de *Tenebrio molitor* (Bellman, 2006).

I.3.3. Orthoptères

Il existe environ 22 000 espèces d'orthoptères dans le monde dont 279 sont comestibles. Parmi ce nombre, 80 espèces sont des sauterelles dont la majorité sont comestibles (FAO, 2014). Les Orthoptères sont des hémimétaboles avec une métamorphose incomplète faisant en sorte que le cycle de développement est oeufs-nymphe-imago. Au sein des Orthoptères, ce sont les stades nymphe et adulte qui sont consommés. Parmi les orthoptères, les espèces les plus consommées sont notamment les grillons domestiques (*Acheta domesticus*) et les criquets migrateurs (*Locusta migratoria*) (Fig. n° 5) (Lavalette, 2013).



Fig. 5: *Acheta domesticus* (à gauche) et *Locusta migratoria* (à droite) (Leraut, 2003).

I.3.4. Hyménoptères

D'après Ramos-Elorduy (2005) et Jongema (2015), chez les hyménoptères, il existe environ 120 000 espèces décrites dont 302 sont comestibles. Tout comme pour les coléoptères, on peut consommer majoritairement les larves. Mais, la consommation des adultes est encore possible, surtout ceux ne possédant pas de dard. Les hyménoptères les plus consommés sont ceux provenant des familles des Apidae (les abeilles), des Vespidae (les guêpes) et des Formicidae (les fourmis) (Lavalette, 2013). Selon plusieurs auteurs notamment Rastogi (2011), Ribbons et Pelini (2012), les fourmis sont des aliments très recherchés. En effet, Il existe même des fourmis dites « pot de miel » qui stockent un mélange de nectar et de miellat dans leur abdomen en si grande quantité que celui-ci grossit au point que ces fourmis ne peuvent plus

bouger (Fig. n° 6). Elles restent accrochées dans la fourmilière et régurgitent par la bouche ce liquide lorsque d'autres fourmis ouvrières viennent en réclamer si elles ont faim (OPIE, 2016).



Fig. 6: Fourmi à miel (Yen, 2010).

I.3.5. Hémiptères

Selon Jongema (2015), l'ordre des hémiptères compte environ 100 000 espèces décrites, et seulement 220 espèces sont comestibles. En effet, chez les Hémiptères, ce sont les stades nymphe et adulte qui sont consommés. En Afrique et en Australie, les cigales et les psylles sont des aliments très appréciés. Defoliart (2003), note que les punaises puantes sont également consommées à travers l'Asie du Sud-Est, l'Afrique austral et le Mexique. Cloutier souligne également que les hémiptères ne subissent pas de métamorphose complète entre le stade larvaire et la forme adulte, ce sont des Hétérométaboles.

I.3.6. Isoptères

Selon Lavalette (2013), les isoptères les plus consommés appartiennent majoritairement à la famille des Termites. Ils sont particulièrement appréciés pour leurs valeurs nutritives (Van Huis, 2003). Il existe 63 espèces de termites et sont consommées aux stades nymphe et adulte (Zaremski *et al.*, 2009 ; Jongema, 2015). Les termites subissent une métamorphose incomplète, ce sont des insectes Hétérométabole (cloutier, 2015).

I.4. Valeur nutritionnelle des insectes comestibles

De nombreux travaux ont été publiés sur les valeurs nutritionnelles des insectes. Ils ont généralement une haute valeur nutritive en lien avec leur teneur en protéines (tableau 1), en lipides ainsi qu'en vitamines et minéraux (Bukkens, 1997 ; Ramos Elorduy, 1997 ; Xiaoming *et al.*, 2010 ; Rumpold et Schlüter, 2013b ; Finke et Oonincx, 2014 ; Payne *et al.*, 2016 ; Akhtar et Isman, 2018). En général, les insectes comestibles possèdent une très faible teneur en glucides (Chen *et al.*, 2009 ; Finke, 2013). La valeur nutritionnelle des insectes est extrêmement variable notamment en fonction de l'espèce (Zielińska *et al.*, 2015 ; Kouřimská et Adámková.,

2016 ; Castro *et al.*, 2018), mais également dans la même espèce en fonction de leur stade de développement, de leur sexe, de leur régime alimentaire, de leur habitat, de divers facteurs environnementaux (la température, la lumière et l'humidité) ainsi que par les méthodes d'analyses utilisées (Bukkens, 1997 ; Chen *et al.*, 2009 ; Rumpold et Schlüter, 2013 b ; Van Huis *et al.*, 2013 ; Finke et Oonincx, 2014 ; Nowak *et al.*, 2016 ; van Huis et Oonincx, 2017).

Tableau n° 1 : Teneurs en protéines et en apports énergétiques des insectes comestibles comparées aux animaux d'élevage (Srivastava *et al.*, 2009 ; Sirimungkararat *et al.*, 2010)

Animaux.	Protéines (g / 100 g de matière fraîche).	Energie (Kcal / 100 g)
Bœuf	19	150
Agneau	17	206
Veau	18	126
Porc	13	416
Poulet	21	110
Poisson	19	100
Œuf cru	13	145
Sauterelle (adulte)	17	124
Criquet (adulte)	15	125
Œuf de fourmi rouge	7	83
Termite (adulte)	14	613
Chenille	28	370
Charançon (larve)	7	562

I.4.1. Apports énergétiques

La teneur en énergie de la plupart des insectes comestibles est considérable en raison de leur teneur élevée en protéines et en matière grasses (Osimani *et al.*, 2017). La valeur énergétique dépend du stade de développement des insectes. En effet, les larves ou les pupes sont généralement plus riches en énergie que les adultes (Bednářová, 2013 ; Zielińska *et al.*, 2018).

Ramos-Elorduy *et al.* (1997) ont analysé 78 espèces d'insectes et ils ont estimé leur valeur énergétique entre 293 et 762 kcal/100 g. Rumpold et Schlüter (2013a), notent également que

79,65 % des insectes comestibles sont caractérisés par un contenu énergétique supérieur à 400 kcal/100 g et 40,94 % supérieur à 500 kcal/100 g. Les chercheurs soulignent que la teneur énergétique moyenne des insectes comestibles est comprise entre 409,78 et 508,89 kcal/100 g (sur la base de la matière sèche), avec des teneurs énergétiques maximales qui peuvent atteindre 762,00-776,85 kcal/100 g chez certains lépidoptères (Rumpold et Schlüter., 2013 ; Ramos-Elorduy *et al.*,1998).

I.4.2. Protéines

Selon plusieurs chercheurs comme Rumpold et Schlüter (2013b), Zielińska *et al.* (2015), les protéines sont les principaux composants nutritionnels des insectes comestibles. Leur teneur moyenne est de 60 % (Finke *et al.*, 2014 ; Van Huis, 2016 ; Bessa *et al.*, 2017 ; Schlüter *et al.*, 2017 ; Kim *et al.*, 2019). Généralement, la teneur en protéines des insectes basée sur la matière sèche se situe entre 13 et 77 % (Rumpold et Schlüter, 2013b ; Xiaoming *et al.*, 2010 ; Sanchez-Muros *et al.*, 2014 ; Kupferschmidt, 2015) ou entre 9.3–80% (Williams *et al.*, 2016 ; Adámková *et al.*,2017). Ceci dépend des espèces d'insectes étudiées (Van Huis *et al.*, 2013). La teneur en protéines varie fortement selon les espèces (les orthoptères ont une teneur en protéines plus élevée que les termites, 61,32% contre 35,3% respectivement (Rumpold et Schlüter, 2013a). Selon Ademolu (2010), la teneur en protéines des insectes dépend également du stade de développement. En effet, les adultes ont généralement une teneur en protéines plus élevée que les stades larvaires. De plus, la teneur en protéines de la plupart des insectes est supérieure à celle retrouvée dans les protéines végétales telles que le soya (36,5 %), ainsi que dans les protéines animales telles que le bœuf (18,4 %), le poulet (18,3 %), le poisson (18,3 %), le lait (3,5 %) et les œufs (13 %) (Young et Pellett, 1994 ; Ghaly, 2009 ; Finke, 2007 ; ANSES, 2014).

Les teneurs en protéines brutes des insectes comestibles classés par ordre sont résumées dans tableau n° 2.

Tableau n° 2 : Teneurs en protéines brutes des différents ordres d'insectes comestibles (Xiaoming *et al.*, 2010)

Ordre des insectes	Stade	Variation de la teneur en protéines (%)
Coléoptères	Adultes et larves	23-66
Lépidoptères	Chrysalide et chenilles	14-68
Hémiptères	Adultes et larves	42-74
Homoptères	Adules, larves et œufs	45-57
Hyménoptères	Adultes, nymphes, larves et œufs	13-77
Odonates	Adultes et larves	46-65
Orthoptères	Adultes et imago	23-65

✓ Acides aminés

La qualité des protéines dépend de la nature des acides aminés présents dans leur séquence (essentiels ou non essentiels) et de la digestibilité des protéines (Zielińska *et al.*, 2018 ; Akhtar *et Isman*, 2018). L'aspect et la caractéristique les plus importants des protéines d'un point de vue nutritionnel est sa composition en acides aminés. Phénylalanine, valine, thréonine, tryptophane, isoleucine, la méthionine, la leucine et la lysine sont classées parmi les acides aminés essentiels car l'organisme ne peut pas les synthétiser. L'histidine est un acide aminé semi-essentiel (Guevara *et al.*, 1995 ; Martin, 2001 ; Simone *et al.*, 2013 ; Akhtar *et Isman*, 2018 ; Zielińska *et al.*, 2018). Bukkens (1997, 2005) note que Chez certaines espèces d'insectes, ces acides aminés sont très bien représentés. En revanche, les protéines de céréales qui sont des aliments de base dans les régimes alimentaires du monde entier sont souvent pauvres en lysine et dans certains cas sont pauvres également en tryptophane et en thréonine (Ramos-Elorduy *et al.*, 1997 ; Day, 2013 ; Kamau *et al.*, 2017). En effet, l'analyse de nombreux insectes comestibles a révélé une teneur en acides aminés essentiels qui varie de 30% à 96%, et leur digestibilité se situe entre 60 à 98,5 % (DeFoliart, 1992 ; AFSSA, 2007 ; Bednářová *et al.*, 2014 ; Rûmpold *et Schlüter* 2013b ; Yi *et al.* 2013 ; Xiaoming *et al.*, 2010).

I.4.3. Matières grasse

Après les protéines, la matière grasse représente la deuxième plus grande fraction de la composition nutritionnelle des insectes comestibles (Rûmpold *et Schlüter*, 2013b ; Mlcek *et al.*, 2014 ; Castro *et al.*, 2018). Il est à noter que le contenu en matière grasse des insectes comestibles est plus élevé au stade larvaire par rapport aux autres stades de développement

(Chen *et al.*, 2009 ; Xiaoming *et al.*, 2010 ; Payne *et al.*, 2016), sauf pour les criquets qui sont plus gras au stade adulte qu'à l'état de nymphe (Van Huis *et al.*, 2013). Pour le criquet la teneur en lipide varie de 10 à 60% de poids sec (Bukkens, 1997 ; Bednářová, 2013 ; Kouřimská et Adámková, 2016 ; Laroche *et al.*, 2019). Les chercheurs comme Ekpo (2005), Van Huis (2017) notent que cette teneur est considérée un peu élevée que la quantité trouvée dans les viandes conventionnelles tels que le bœuf, le poulet, l'œuf et le lait. En outre, la teneur en acide gras et la composition des lipides des insectes dépendent aussi des espèces, du sexe, du stade de développement et du régime alimentaire (Beenackers *et al.*, 1985 ; Hanson *et al.*, 1985 ; Ramos-Elorduy, 1997 ; Oonincx *et al.*, 2015 ; Payne *et al.*, 2016 ; Finke *et al.*, 2017 ; Akhtar et Isman, 2018). Ceci a été conclu par les études de recherche effectuées par Lehtovaara en 2017.

Selon Rumpold et Schlüter (2013a), la teneur moyenne en matières grasses des différents ordres d'insectes comestible varie entre 13,41% (orthoptères) et 33,40% (coléoptères). En outre, les hémiptères, les isoptères, et les lépidoptères (chenilles) sont également riches en matière gras avec des teneurs de 30,26%, 32,74% et 27,66% respectivement.

Le contenu en lipide des insectes comestibles peut contribuer à la sécurité alimentaire humaine, en fournissant de l'énergie et des acides gras essentiels (Ramos-Elorduy, 2008 ; Finke et Oonincx, 2014 ; Paul *et al.*, 2017). D'ailleurs, certaines études signalent la présence des acides gras polyinsaturé dans les insectes comestibles qui sont importants pour la santé humaine (Ekpo *et al.*, 2009 ; Womeni *et al.*, 2009 ; Kouba et Mourot, 2011 ; Zhang, 2020). De plus, certains insectes sont riches en acides gras essentiels linoléique (Oméga-6) et α -linoléique (oméga-3) (Fontaneto *et al.*, 2013 ; Zielinska *et al.*, 2015). Il est à rappeler que les larves de vers de farines et les criquets sont riches en acide palmitique, acide linoléique (oméga-6) et α -linoléique (oméga-3) (Tzompa *et al.*, 2014 ; Brookhaven *et al.*, 2015). Les teneurs moyennes en acides gras des insectes classés par ordres sont exposées dans le tableau n°3.

Tableau n° 3: Teneurs moyennes en acides gras par ordre d'insectes (Rumpold et Schlüter, 2013a).

Ordres d'insectes	Acides gras saturé (AGS) (%)	Acides gras Monoinsaturé (AGMI) (%)	Acides gras Polyinsaturé (AGPI) (%)
Coléoptères	38.49	35.72	27.14
Diptères	33.02	47.23	15.95
Hémiptères	43.89	32.39	22.89
Hyménoptères	29.88	48.76	21.18
Isoptères	41.97	22.00	36.04
Lépidoptères	37.04	22.36	39.76
Orthoptère	32.05	29.37	37.08

I.4.4. Glucides

Les glucides jouent un rôle très important dans l'alimentation humaine car ils sont la principale source d'énergie pour l'organisme (Martin, 2001 ; Zabentungwa, 2020). Il existe une variabilité de la teneur en glucides entre les insectes comestibles. En effet, cette teneur varie de 5 à 51% de poids sec (Kouřimská, 2016 ; Adámková, 2017 ; Kuntadi *et al.*, 2018). Par conséquent, les insectes comestibles peuvent être utilisés comme source de glucides, car ils contiennent des quantités relativement élevées de polysaccharides, qui jouent un rôle important dans le renforcement du système immunitaire (Sun *et al.*, 2007 ; Chen *et al.*, 2009). Par contre, des chercheurs comme Siriamorpun et Thammapat (2008), estiment que l'apport en glucides des insectes comestibles est considéré très faible, car la plupart des insectes sont consommés à l'état immatures. Cependant, certaines espèces telles que *Oryctes monoeros* et *Gryllotalpa africana*, contiennent une grande quantité de glucides (Siulapwa, 2012). D'après Ramos-Elorduy *et al.* (2010), la teneur en glucides de la fourmi pot-de-miel peut atteindre 77,7% de poids sec. Il est à noter qu'il n'y a pas de glucides dans les produits d'origine animale précédemment comparés (Keller *et al.*, 2012).

I.4.5. Teneur en fibre

Selon Van Huis *et al.* (2013), les insectes comestibles contiennent une quantité considérable de fibres (Tableau n°4). En effet, la chitine insoluble est la forme de fibre la plus courante dans le corps des insectes qui constitue principalement leurs exosquelettes. De plus, La chitine est considérée comme une fibre non digestible, bien que l'enzyme chitinase se trouve dans les sucs gastriques humains (Paoletti *et al.*, 2007).

Selon Fink (2007), l'élimination de la chitine améliore la digestibilité des protéines d'insectes. La chitine est également associée à la défense des organismes contre certaines infections parasitaires et états allergiques (Goodman, 1989 ; Borkovcovà, 2009). La chitine de l'exosquelette des insectes agit dans le corps humain comme la cellulose et à cause de cet effet, elle est souvent appelée « fibre animale » (Borkovcovà, 2009).

Tableau n° 4 : Teneur en fibres contenues dans la matière sèche de quelques insectes comestibles (Bednářová, 2013)

Nom scientifique	Stade	Teneur en fibre (% de matière sèche)
<i>Bombyx mori</i>	Pupe	14
<i>Apis mellifera</i>	Nymphe	11
<i>Locusta migratoria</i>	Nymphe	27
<i>Galleria mellonella</i>	Chenille	21
<i>Gryllus assimilis</i>	Nymphe	8
<i>Tenebrio molitor</i>	Larve	18
<i>Zophoba satratus</i>	Larve	17

I.4.6. Les micronutriments

Tout comme les autres composants nutritionnels des insectes, les teneurs en vitamines et minéraux sont variables, mais peuvent toutefois être contrôlées par leur alimentation (Finke, 2013 ; Rumpold et Schlüter, 2013b ; Zielińska *et al.*, 2015).

a) Vitamines

En général, les insectes sont une bonne source de riboflavine (vitamine B2), d'acide pantothéniques (vitamine B 5), de biotine (vitamine B8) et de cobalamine (vitamine B12) (Rumpold et Schlüter, 2013b). Certaines espèces d'insectes sont également riches en vitamine E et en choline (Akhtar et Isman, 2018 ; Finke, 2013 ; Rumpold et Schlüter, 2013b ; Van Huis, 2017). En outre, certaines espèces d'insectes telles que les grillons et les sauterelles sont riches en acide folique (Vitamine B9) (Rumpold et Schlüter, 2013a).

Toutefois, la plupart des insectes comestibles sont une source pauvre en vitamine A, vitamine C et de thiamine (Rumpold et Schlüter, 2013b ; Van Huis, 2017).

b) Minéraux

La majorité des insectes comestibles sont riches en minéraux tels que le cuivre, le fer, le magnésium, le manganèse, le phosphore, le sélénium et le zinc (Finke, 2013 ; Rumpold et Schlüter, 2013b ; Van Huis *et al.*, 2013 ; Xiaoming *et al.*, 2010 ; Zielińska *et al.*, 2015). Les insectes contiennent généralement davantage de fer, de zinc et de calcium que la viande de bœuf, de porc et de poulet (Zielińska *et al.*, 2015). Seulement quelques espèces d'insectes comme les coléoptères et les termites (Isoptère) sont pauvres en manganèse (Rumpold et Schlüter, 2013b). De plus, la plupart des insectes ont une teneur faible en sodium (57-330 mg/100 g) qui ne dépasse pas la dose journalière maximale recommandée (1500 mg) (Zielińska *et al.*, 2015). Plusieurs chercheurs notamment Fink (2002), Fink et Oonincx (2014) notent que les insectes sont pauvres en calcium et en potassium. Néanmoins, certaines espèces d'insectes telles que les grillons, les fourmis et quelques chenilles ont une teneur significative en calcium (Akhtar et Isman, 2018). Actuellement, il y a peu d'études sur la biodisponibilité minérale des insectes comestibles (de Castro *et al.*, 2018).

I.5. Avantages des élevages d'insectes comparés aux élevage traditionnels

La croissance démographique, l'urbanisation et la montée des classes moyennes rendent la demande mondiale en aliments et principalement en protéines d'origine animale en plein essor (Alexandratos et Bruinsma, 2012 ; Van Huis *et al.*, 2013). L'élevage d'insectes fournit de nombreux avantages et peut contribuer non seulement à la sécurité alimentaire humaine, mais aussi à celle des animaux.

Selon Oonincx et De Boer (2012), l'élevage d'insectes comestibles génère 100 fois moins de gaz à effet de serre et 10 fois moins d'ammoniac que le bétail conventionnel (bœuf, porc et poulet) (Fig. n° 7). En effet, La production animale est responsable de plus de 14 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre (oxyde nitreux, dioxyde de carbone et méthane) (Gerber *et al.*, 2013) et même de 59 % à 71 % des émissions d'ammoniac agricoles (Beusen *et al.*, 2008).

Selon Oonincx *et al.* (2010), la production de gaz carbonique (CO₂) par les insectes dépend de plusieurs facteurs tels que l'espèce, le stade de développement, le régime alimentaire, la

température et leur niveau d'activité, alors que leur production d'ammoniac est influencée par leur alimentation et des facteurs environnementaux (température et humidité relative).

D'après Van Huis *et al.* (2013), l'élevage d'insectes nécessite également moins de surface terrestre que l'élevage classique (Fig. n° 8). Ooninx et De Boer (2012), précisent que pour produire 1 kg de vers de farine, la surface utilisée est seulement 10 % de la surface terrestre nécessaire pour produire la même quantité de bœuf. De plus, les insectes peuvent être élevés sur des flux secondaires organiques (Alexander *et al.*, 2017 ; Rumpold et Schlüter, 2013a ; Van Huis, 2017 ; Van Huis *et al.*, 2013) ce qui permet de diminuer la contamination de l'environnement dû à la bioconversion des déchets organiques et en plus d'augmenter la fertilité des sols (Van Huis *et al.*, 2013). Il est à noter également que l'élevage d'insectes nécessite moins d'eau par rapport aux bétails, à titre d'exemple environ 8 L d'eau sont nécessaires pour produire 1 kg de grillons, par contre il faudrait 15 000 L pour produire la même quantité de bœuf (Pimental, 2003 ; Mekonnen, 2010 ; Berenbaum, 2016). Plusieurs recherches ont montré que l'élevage d'insectes offre d'autres avantages : le taux de conversion des aliments par les insectes est extrêmement élevé. Par exemple pour produire 1 kg de masse corporelle animale, les grillons n'ont besoin que de 1,7 kg d'aliments (Collavo *et al.*, 2005). Par contre, pour avoir une augmentation de 1kg de la masse corporelle de l'animal, il faut utiliser 2,5 kg d'aliment pour le poulet, 5 kg pour le porc et 10 kg pour la viande bovine (Smil, 2002) (Fig. n° 9). Ceci est probablement dû au fait que les insectes sont des animaux poïkilothermes alors que les animaux à sang chaud utilisent aussi une partie de leur alimentation pour maintenir la température du corps constante (Alexander *et al.*, 2017 ; Premalatha *et al.*, 2011). De plus, les insectes ont un taux de croissance très rapide et par conséquent, ils atteignent leur maturité en quelques jours seulement comparativement à plusieurs mois voire des années selon le cas pour le bétail (Alexander *et al.*, 2017 ; Nakagaki et Defoliart, 1991).

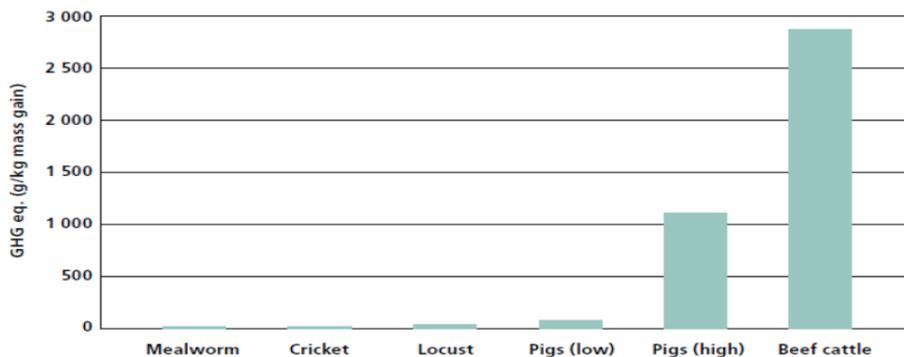


Fig. 7 : Comparaison de production des gaz à effet de serre (g/kg) entre les insectes comestibles et les animaux traditionnels (Oonincx *et al.*, 2010)

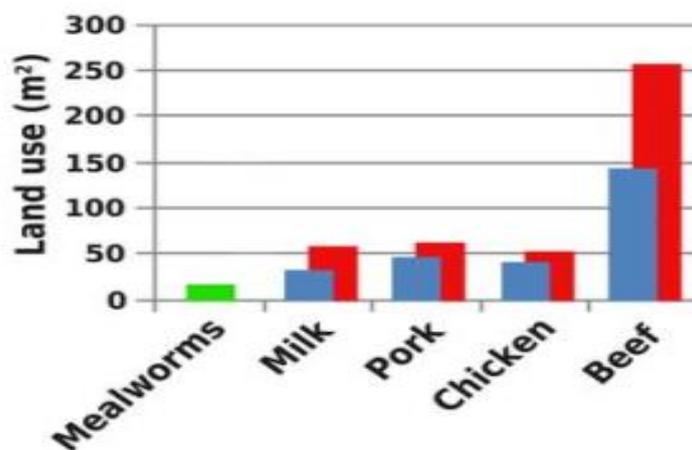


Fig. 8 : Espace nécessaire pour produire 1kg de protéines consommable par les insectes et les animaux traditionnels (Oonincx et de Boer, 2012)

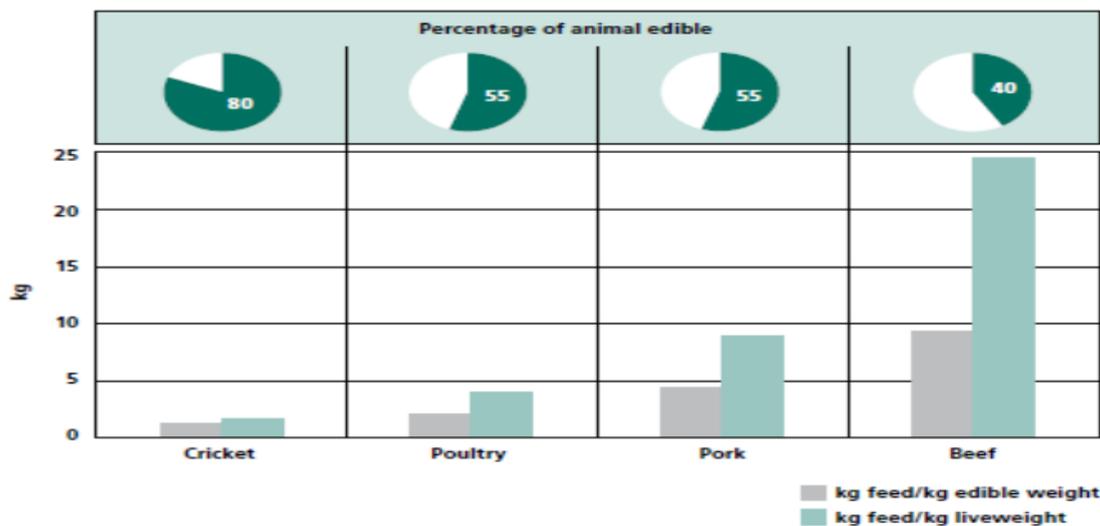


Fig. 9 : Efficacité de conversion des animaux traditionnels et du criquet (Van Huis, 2013).

I.6. Risque liés à la consommation des insectes

Selon ANSES (2015), les risques sanitaires liés aux insectes ou produits à base d'insectes peuvent être de deux grands types :

- Spécifiques à l'espèce, par exemple présence de dangers microbiens, de corps étrangers, de substances toxiques (intrinsèques ou bio accumulés), de substances anti nutritionnelles ou allergènes.
- Liés aux pratiques d'élevage, de transformation ou encore aux conditions de conservation et de transport.

I.6.1. Risque allergène

L'exosquelette et la carapace des insectes peuvent induire des réactions allergiques (Johansson *et al.*, 2004 ; Boye *et al.*, 2012 ; Nwaru *et al.*, 2014). En effet, la chitine est une molécule au potentiel allergène (de Gier et Verhoeckx, 2018 ; Murefu *et al.*, 2019). Il est à rappeler que les personnes qui sont allergiques aux mollusques, aux arachnides, aux crustacés, devraient s'abstenir de consommer des insectes par risque de réaction allergique (Van Huis, 2013 ; Francis *et al.*, 2019).

I.6.2. Risque microbiologique

Selon De Castro *et al.* (2018), le microbiote intestinal des insectes pourrait être un milieu approprié pour la croissance de micro-organismes indésirables comme les bactéries Gram-positif. (Klunder *et al.*, (2012), ont évalué le contenu microbien des produits frais, transformés et les insectes comestibles stockés *T. molitor*, *A. domesticus* et *Brachytrupes*. Les résultats ont montré la présence de divers types d'entérobactéries et d'entérobactéries sporulantes.

Selon plusieurs auteurs notamment Giaccone (2005), Cerritos et Cano-Santana (2008), si le traitement thermique et les conditions de stockage ne sont pas bien faits, les insectes comestibles peuvent engendrer des risques microbiologiques.

I.6.3. Risque chimique

Les dangers chimiques résultent majoritairement des substances chimiques produites par l'insecte même ou accumulées par lui via son environnement ou son alimentation (Berenbaum, 1993 ; Zegrobelny et ORS, 2009 ; Belluco *et al.*, 2013). Ainsi, certains insectes ne sont comestibles qu'à certains stades de développement, par exemple à l'état de larve ou à l'état adulte (NVWA, 2012). En outre, certains insectes sont dotés d'un système de défense ou de

répulsion constitués d'éléments chimiques, c'est le cas par exemple des fourmis qui sécrètent de l'acide formique (Dzerefos *et al.*, 2013 ; Rumpold et Schlüter, 2013a). ANSE (2015), note qu'il y a deux types d'insectes avec des dispositifs toxiques, les insectes qui présentent des dispositifs venimeux externes comme des dards, des pinces ou des poils urticants et les insectes qui sont capables de stocker et /ou synthétiser des éléments chimiques toxiques qui n'apparaissent que si l'insecte est consommé.

I.6.4. Risque physique

Les Orthoptères (criquets, grillons) et les Coléoptères (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 sur l'étiquette du produit que les pattes et les ailes de l'insecte doivent être retirés avant consommation.

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

I.6.5. Risque de toxicité

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. En effet, cette espèce doit être préparée d'une manière spécifique par exemple en réchauffant les insectes premièrement dans de l'eau tiède avant de changer l'eau pour la cuisson (Van Huis, 2014).

Concernant l'aspect lié à l'environnement, le premier risque concerne la présence de métaux lourds au sein de l'insecte (Langlade, 2019). En effet, 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 (Vijver *et al.*, 2003). Selon les mêmes chercheurs, des études décrites 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.

Un autre risque toxicologique environnemental réside dans la contamination des insectes par les pesticides de leur environnement et de leur nourriture. Par exemple les criquets peuvent

présenter des teneurs importantes qui peuvent être problématiques lorsqu'elles sont consommées en forte quantité (Van Huis, 2014).

I.7. Transformation des insectes comestibles destinés à l'alimentation humaine

I.7.1. Différents types de produits à bases d'insectes

Pour le marché européen, les insectes sont souvent tués par congélation pendant 48h (Melis *et al.* 2018). Ils sont ensuite triés, bouillis avant d'être déshydrater par cuisson lente ou lyophilisés (Fombong *et al.*, 2017 ; Garofalo *et al.* ,2019). Ensuite, ils peuvent être transformés ou consommés selon trois façons : comme insecte entier, sous forme de pate ou comme un extrait de matière grasse pour compléter les produits alimentaires pour l'alimentation animale ou humaine.

✓ Insectes entiers

Dans les pays tropicaux, les insectes sont souvent consommés entiers, mais certains insectes tels que, les sauterelles et les criquets nécessitent la suppression de certaines parties de leur corps par exemple les ailes et les pattes (Van Huis, 2012 ; Kinyuru *et al.*, 2021). Selon les mêmes auteurs, en fonction du plat préparé, les insectes frais peuvent être cuisinés, rôtis, frits ou bouillis. En République démocratique populaire Laos, comme dans d'autres pays, on peut trouver au marché des insectes consommés comme amuse-gueules ou frits avec des feuilles de citronnier (Van Huis, 2014).

✓ Granulés, poudres et pâtes

Les insectes comestibles peuvent être broyés, on obtient alors une pâte, une farine ou une poudre (Machado *et al.*, 2019). Ces dernières peuvent être incorporées à d'autres aliments pour améliorer leur qualité et valeur nutritionnelle. Il est à noter qu'on peut réaliser des granules destinés à l'alimentation animale par exemple pour la volaille et la pisciculture.

✓ Huiles d'insectes

Les larves d'insectes notamment les coléoptères et les lépidoptères sont souvent riches en lipides. Il est possible pour certaines espèces, de les transformer en huile ou d'en extraire la matière grasse après les avoir moulues (Purschke, 2017). D'après Boullaud (2018), l'huile ou le beurre obtenu des insectes ont une grande valeur nutritionnelle et pourront être utilisés en cosmétique en raison de la grande qualité des lipides des insectes qui ont un grand pouvoir hydratant.

I.7.2. Exemples de produits à base d'insectes comestibles destinés à la consommation humaine

- Tablettes de chocolats aux insectes (Azzollini *et al.*, 2018).
- Fromages, yaourt (Zielinska *et al.*, 2017).
- Buquadilla (Van Huis *et al.*, 2012).
- Biscuits aux insectes (Tan *et al.*, 2015 ; Homann *et al.*, 2017), petits pains (Gonzalez *et al.*, 2018) et muffins (Duda *et al.*, 2019).
- Barres énergétiques aux insectes (Ouellet, 2017).
- Steak d'insectes (Tan *et al.*, 2016 ; Walia *et al.*, 2018).
- Boisson alcoolisées aux insectes (Boullaud, 2018).

Chapitre II

Données bibliographiques sur

Locusta migratoria et

schistocerca gregaria

II. Présentation des deux espèces acridiennes *Locusta migratoria* et *schistocerca gregaria*

II.1. Présentation de *Locusta migratoria*

Le criquet migrateur *Locusta migratoria* (Linné, 1758) a une très grande extension géographique. En effet, de nombreuses sous espèces au statut plus au moins net ont été décrites principalement en Afrique, à Madagascar, en Asie orientale, en Australie et en régions méditerranéennes (Duranton et *al.*, 1982)

II.1.1. Position systématique de *Locusta migratoria*

Selon Louveaux et Ben-Halima (1987), la classification du criquet migrateur se fait comme suit :

Classe : Insectes

Ordre : Orthoptera

Sous-ordre : Caelifera

Super-famille : Acridoidea

Famille : Acrididae

Sous-famille : Oedipodinae

Genre : *Locusta*

Espèce : *Locusta migratoria* (Linné, 1758)



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

II.1.2. Morphologie

➤ Œuf

Selon Popov et *al.* (1990), l'œuf de cet acridien a une couleur brun clair et une taille qui varie de 5,5 à 7,1 mm. Les œufs sont disposés dans le sol de manière bilatérale sous forme d'oothèque (La masse ovigère constituée d'œufs et de l'oothèque est surmontée d'un bouchon de matière spumeuse. La longueur du bouchon spumeux est de 1,5 à 5 cm, la couleur est blanchâtre ou brun clair et la structure est spongieuse.

➤ La larve

Selon Masson (1989), les larves grégaires de *Locusta migratoria* sont de couleur grise au début de développement qui devient foncé par la suite, orange et même noir en fin de développement larvaire. Par contre, les larves de la phase solitaire ont une pigmentation uniforme, le plus

souvent colorée en vert ou en brun selon l'humidité et la couleur générale de l'environnement (Duranton *et al.*, 1982).

➤ L'adulte

Ce grand insecte passe par deux phases alternatives : une phase solitaire sédentaire et une phase grégaire migratrice (Robert, 1972). Sous sa forme solitaire cet acridien mesure 29 à 46 mm chez le mâle et 37 à 60 mm chez la femelle. Tandis que sous sa forme grégaire, il mesure 40 à 50 mm chez le mâle et 46 à 56 mm chez la femelle (Balachowsky et Mesnil, 1936). La coloration générale des imagos solitaires est verte ou brune, plus ou moins claire ou foncée et plus ou moins mouchetée de brun foncé ou noirâtre en particulier sur le pronotum, mais les imagos grégaires ont une teinte unique jaune plus ou moins oranger maculé.

Locusta migratoria présente une tête arrondie, le sommet du vertex est large, convexe, les favéoles temporales sont petites et triangulaires, les antennes sont filiformes un peu plus longues que la tête (Bonnemaison, 1961). Selon Chopard (1943), Dirsh et Descamps (1968), Harz (1975), l'oviscapte des femelles est court, robuste à valve courbées, les valves inférieures à saillie basale externe. L'appareil génital mâle est subdivisé en une partie proximale appelé plaque sous-anale et une partie distale appelé plaque sous-génitale (Beaumont et Cassier, 2009).

II.1.3. Cycle biologique

Le criquet migrateur est une espèce appartenant à la catégorie des locustes présentant un phénomène de polymorphisme phasaire très marqué. Elle se reproduit en continu et effectue 4 à 5 générations par an dans sa phase solitaire et 3 dans sa phase grégaire (Launoisluong et Lecoq, 1989).

Masson et Machive (1989), signalent que le cycle biologique de ce criquet largement répandu est complexe, il varie toutefois selon le type d'habitat, le climat et la quantité de nourriture verte disponible pour le développement des larves. Au moment de la ponte, la femelle enfonce son oviscapte profondément dans la terre (Balachowsky et Mesnil, 1936 ; Outtar, 2009). Les œufs sont déposés sur la couche humide du sol entre cinq à quinze cm de profondeur (Popov *et al.*, 1990).

Le criquet migrateur, comme tous les autres acridiens, passe par trois états biologiques successifs : l'état embryonnaire, l'état larvaire et l'état imaginal

II.1.4. Développement embryonnaire

Les œufs des criquets évoluent en un temps très variable mais en rapport direct avec les conditions extérieures notamment la température (Chopard, 1932). Chez *Locusta migratoria*,

l'embryogenèse dure 18 jours à 27°C et 10 jours à 33°C (Duantan *et al.*, 1982). Elle peut durer plus d'un mois en particulier en saison fraîche (Lecoq, 1991).

II.1.5. Développement larvaire

En saison chaude, le développement larvaire passe normalement par 5 stades et dure environ 3 semaines (Launois-Luong et Lecoq, 1989). Les 3 premiers stades larvaires se ressemblent avec bien sur une augmentation de taille (Bellmann et Luquet, 1995 ; Outtar, 2009). Les larves de 4ème et 5ème stade se distinguent par leur taille et la grandeur de leur ébauche alaire qui sont dirigées vers le haut (Outtar, 2009) et qui restent différentes de celles des 3 premiers stades qui sont dirigées vers le bas (Bellmann et Luquet, 1995).

II.1.6. Développement imaginal et maturation sexuelle

La larve du 5ème stade subit une mue imaginale qui donne naissance à l'adulte (Outtar, 2009 ; Gregorio, 1996). Ce jeune imago possède des téguments mous qui durcissent progressivement en une dizaine de jours au maximum. Après cette étape, le jeune imago se consacre surtout à la recherche d'un biotope favorable à l'alimentation. (Duranton et Lecoq, 1990).

II.1.7. Accouplement

Les individus de cette espèce peuvent s'accoupler 4 jours après la mue imaginale (Steedman, 1988). Pour s'accoupler, le mâle grimpe sur la femelle et l'extrémité de son abdomen tordu sur le côté (Chopard, 1938). En effet, le spermatophore est introduit dans la spermathèque de la femelle et le sperme se trouve transféré dans les organes femelles (Grassé, 1949).

La figure 11 présente les différents stades de développement du criquet migrateur *Locusta migratoria*.

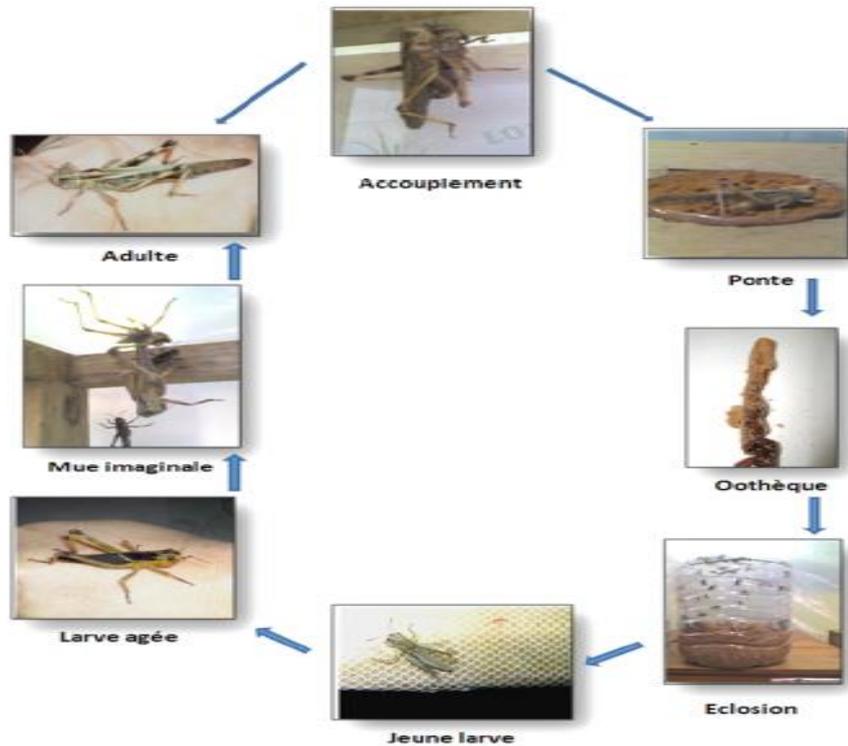


Fig. 11: Cycle biologique du criquet migrateur (Popov *et al.*, 1990)

II.2. Présentation du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria*

II.2.1. Position systématique du criquet pèlerin

L'étude globale de la position taxonomique de *Schistocerca gregaria* a été effectuée par plusieurs auteurs notamment Chopard (1943), Dirsh (1975), Uvarov (1966), Louveaux et Ben-Halima (1987). D'après ces auteurs, la classification du criquet pèlerin se fait comme suit :

Classe : Insectes

Ordre : Orthoptera

Sous-ordre : Caelifera

Super-famille : Acridoidea

Famille : Acrididae

Sous-famille : Cyrtacanthacridinae

Genre : *Schistocerca*

Espèce : *Schistocerca gregaria*



Fig. 12 : *Schistocerca gregaria* (Plantamp, 2012)

II.2.2. Morphologie

➤ Œuf

Les œufs des criquets sont pondus sous forme d'une masse ovigère appelée oothèque. En effet, l'ensemble de la masse ovigère est surmonté par un bouchon spumeux. Popov *et al.* (1990) mentionnent que les œufs de criquet pèlerin sont de couleur jaune claire et brunâtre et se présente sous une forme allongée légèrement incurvée dont la longueur est comprise entre 7 et 8 mm.

➤ La larve

Selon Duranton et Lecoq (1990), toutes les larves grégaires sont noires durant les deux premiers stades puis elles deviennent jaunes avec une maculature noire. La jeune larve est à la naissance de couleur blanc jaunâtre, verdâtre, crème ou rose et elle devient rapidement noire en quelques heures. Au bout de quelques jours, il est nettement distingué une tache de couleur jaune sale et en forme de chevron sur le thorax, ainsi que quelques taches jaunâtres sur la tête, l'abdomen et les fémurs (Mallamaire et Roy, 1968).

➤ L'adulte

Le criquet pèlerin est un acridien de grande taille. Les femelles mesurent de 70 à 90 mm de long et les mâles de 60 à 75 mm (Duranton et Lecoq, 1990). La tête est une capsule rigide et globuleuse qui porte dorso-latéralement deux yeux composés entre lesquels s'insèrent 2 antennes filiformes et 3 ocelles (yeux simples), (Beaumont et Cassier 1973). La coloration du criquet pèlerin est très variable, elle dépend de l'état phasaire et de la maturation sexuelle. La couleur du corps des individus grégaires sont uniformément jaunes et noirs (Duranton *et al.*, 1987).

II.2.3. Cycle biologique

Le criquet pèlerin comme tous les autres acridiens, il passent par trois états biologiques successifs : l'état embryonnaire, l'état larvaire et l'état imaginal. La durée de son cycle de développement est de 71 jours à une température de 33°C et une humidité de 45%.

En général, le criquet pèlerin a deux à trois générations par an et exceptionnellement quatre (Appert et Deuse, 1982 ; Pastre *et al.*, 1988 ; Duranton et Lecoq, 1990 ; Popov *et al.*, 1990 ; Launois-Luong et Lecoq, 1993).

Selon Popov *et al.* (1990), la majorité des criquets pèlerin déposent leurs œufs dans le sol (ponte hypogée). L'ensemble des processus qui préparent et conduisent au dépôt des œufs dans le sol constitue la ponte ou l'oviposition. Elle se déroule en quatre étapes : La recherche d'un site de

ponte, le forage du trou de ponte, le dépôt des œufs et de la matière spumeuse (oothèque) et enfin, le damage et le balayage du sol.

II.2.4. Développement embryonnaire

Selon Duranton et Lecoq (1990), les œufs doivent absorber environ leur propre poids d'eau dans les cinq premiers jours après la ponte. Cela est suffisant pour leur permettre de se développer correctement. S'ils ne peuvent absorber cette quantité d'eau alors les œufs n'éclosent pas. Cependant, même s'il n'y a pas assez d'eau dans le sol dans les premiers jours suivant la ponte, ils peuvent attendre quelques temps et terminer leur développement si une pluie survient.

II.2.5. Développement larvaire

La durée d'incubation des œufs de ce criquet est en moyenne de l'ordre de 13 jours (Duranton et Lecoq, 1990) ou de 10 jours (Popov *et al.*, 1990). Le criquet pèlerin produit une jeune larve qui mis à part la taille et certaines caractéristiques ressemble à l'adulte. Morphologiquement, la larve dite néonate se distingue de l'adulte par l'absence d'ailes et un appareil génital rudimentaire. La présence de la cuticule et d'un exosquelette rigide des insectes fait que la croissance est discontinue et se réalise par mues successives (De Gregorio, 1996).

II.2.6. Développement imaginale

Selon De Gregorio (1996), la larve du 5^{ème} stade subit une mue imaginale qui donne naissance à l'adulte. En effet, la mue imaginale se déroule comme une mue larvaire. La mue débute par la rupture de la cuticule le long de lignes de moindre résistance situées au niveau de la tête et du thorax, une fois la cuticule fendue, la larve s'extrait en dégageant successivement, la tête, le thorax puis l'abdomen. De la cuticule fendue s'extrait un individu adulte. Celui-ci possède des ailes et des organes génitaux complètement développés.

II.2.7. Accouplement

Selon Duranton *et al.* (1982), l'accouplement est toujours précédé par des parades sexuelles que les mâles effectuent et se manifeste par : l'embuscade, la poursuite, les stridulations, le battement des ailes au sol et les vols spéciaux pour informer les femelles de leurs présences. Le mâle pratique l'embuscade et quand une femelle passe à proximité ce dernier saute dessus et s'y agrippe au moyen de ses pattes antérieures et médianes. L'abdomen du mâle est recourbé vers le bas à droite ou à gauche. Les crochets de l'épiphalle s'accrochent à la plaque sous-génitale de la femelle. Le pénis est introduit entre les valves génitales dans le vagin et son extrémité atteint le canal de la spermathèque. Le sperme est transmis du mâle à la

femelle par l'intermédiaire d'un spermatophore. Il est introduit dans le tractus génital de la femelle. La copulation dure de 3 à 14 heures (Ghidhaoui, 1990 in Dahoun, 2000).

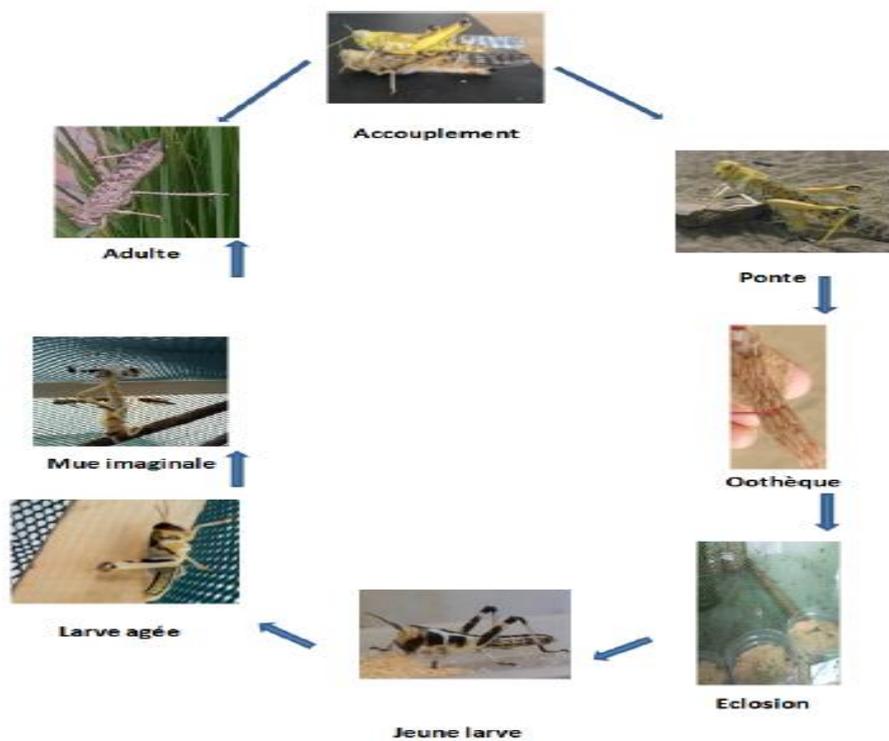


Fig. 13 : Cycle biologique de criquet pèlerin (Symmons et Cressman, 2001)

Chapitre III

Technologie biscuitière

III.1. Généralité sur les biscuits

Le terme « biscuit » est dérivé du mot latin « bis coctus », qui signifie « cuit deux fois » (Gallagher, 2008). A ses débuts, le biscuit étant en effet une sorte de galette nécessitant une première cuisson, puis un passage dans des compartiments au-dessus du four ou dans une étuve pour terminer l'évaporation de son humidité (Kiger et Kiger, 1967 ; Menard *et al.*, 1992). En effet, cette double cuisson n'est plus pratiquée actuellement en biscuiterie et il sera plus juste d'entendre le terme biscuit par « bien cuit » (Kiger et Kiger, 1967).

Un biscuit peut être défini comme suit : " C'est un aliment à base de farines alimentaires, de matières sucrantes, de matière grasse, et de tous autres produits alimentaires, parfums et condiments autorisés, susceptibles après cuisson de conserver ses qualités organoleptiques et commerciales pendant une durée supérieure à un mois et pouvant dépasser une année (biscuiterie sèche) ou un temps limité en fonction d'un débit régulier assez rapide (pâtisserie industrielle)" (Kiger et Kiger, 1967 ; Mohtedji-Lambalais, 1989).

Un biscuit peut être défini également en tant qu'une matrice complexe constituée de plusieurs cavités avec différentes tailles et formes, qui sont formées pendant la cuisson quand les gaz de levée et la vapeur d'eau sont libérés. Ces cavités sont des porosités formées par l'expansion des bulles d'air (air pockets) piégées durant le pétrissage (Fustier, 2006). En fait, la texture des biscuits est attribuée en premier lieu à la gélatinisation de l'amidon et le sucre refroidi plutôt qu'à la structure protéine/amidon (Gallagher *et al.*, 2004a ; Ardent *et al.*, 2009).

III.2. Classification des biscuits

Il n'existe pas de classification officielle des biscuits en raison de la très grande variété des productions et de la multiplicité des composants pouvant entrer dans les diverses fabrications. Cependant, une classification peut être envisagée en se basant sur la consistance de la pâte avant cuisson (Kiger et Kiger, 1967 ; Mohtedji-Lambalais, 1989 ; Feillet, 2000).

➤ Les pâtes dures ou semi-dures

Donnant naissance au type de biscuits secs sucrés et salés : casse-croûte, sablés, petit beurre, etc. C'est une fabrication sans œufs qui représente environ 60 % de la consommation de biscuits

➤ Les pâtes molles

S'adressent à la pâtisserie industrielle (à ne pas confondre avec la pâtisserie fraîche). Il s'agit à la fois de biscuits secs, tels que boudoirs, langues de chat et d'articles moelleux tels que

généralistes, madeleines, cakes, macarons. La particularité de ces biscuits est leur richesse en œufs et en matières grasses. Ils représentent environ 26,5 % de la consommation.

- Les pâtes qui ont une forte teneur en lait ou en eau et contiennent peu de matières grasses.

Ce sont les pâtes à gaufrettes (10,5 % de la consommation).

Plusieurs facteurs peuvent influencer la qualité des biscuits tels que : la qualité et le niveau des ingrédients utilisés, les conditions de fabrication telles que le pétrissage, le repos et le moulage de la pâte et enfin, la cuisson et le refroidissement des biscuits (Maache-Rezzoug *et al.*, 1998b ; Manohar et Rao, 2002).

III.3. Matière première utilisées dans la fabrication des biscuits

III.3.1. Farine

Malgré la diversité des produits rencontrés en biscuiterie, la farine reste la matière première principale de ce secteur. Généralement la farine du froment est la plus utilisée pour la confection des biscuits. Certains facteurs intrinsèques à la farine comme les protéines peuvent influencer qualitativement la qualité du produit fini, donc la teneur en protéines doit être comprise entre 7,5 à 10 %. Elle doit rester inférieure à 11% (Menard *et al.*, 1992).

III.3.2. Sucre

Les substances sucrantes représentent dans le biscuit 20 à 35 % du poids des matières premières. Les matières sucrantes les plus utilisées sont : Saccharose et le Glucose (Jean-François, 1994). En biscuiterie, la matière sucrante joue le rôle d'agent de conservation, aromatisant, colorant. Elle aide à retarder le rancissement de la matière grasse (Jean-François, 1994).

III.3.3. Matière grasse

En biscuiterie, les matières grasses utilisées sont généralement d'origine végétale (huile de palme). La teneur en matière grasse est en fonction du type de biscuit fabriqué. Elle joue le rôle de :

- Agent de plasticité : chaque graisse possède sa plasticité particulière.
- Contribution structurale : Le corps gras préalablement émulsifié, contient de l'eau et de l'air sous forme d'inclusion, qui sous l'action de la chaleur vont se vaporiser et former des vacuoles. Cette formation d'alvéoles, secondant celles des poudres levants ajoutées au biscuit, confère au produit fini sa structure alvéolaire.

- Agent thermique : Les matières grasses sont parmi toutes les matières premières, celles qui possèdent le coefficient de conductibilité thermique le plus élevé. Lors de la cuisson des produits, elles agissent comme de très bons agents de transmission de la chaleur. (Haoua et Tingali, 2007 ; Souliac *et al.*, 2010).

III.3.4. Eau

L'eau est un facteur essentiel dans les comportements rhéologiques des pâtes. Il sert à hydrater la farine, rassembler, coller et gonfler toutes les particules d'amidon de la farine et à favoriser les réactions entre la farine et les autres ingrédients de la pâte. L'eau est nécessaire pour la solubilisation des ingrédients, pour l'hydratation des protéines et pour le développement d'un réseau de gluten (Sofia, 2016).

III.3.5. Substances levants

Ce sont des levures chimiques, substances alcalines génératrices d'acide carbonique. Elles facilitent la levée du biscuit et elles confèrent après la cuisson une structure alvéolaire (Sofia, 2016 ; Redjem et Derghal, 2016).

III.3.6. Lait

Le lait peut remplacer l'eau dans certaines recettes de biscuit. Il mouille la pâte, améliore la structure et la texture de la pâte. Il stimule la saveur acquise aux biscuits, accélère leur cuisson et donne une couleur marquée (la présence de lactose). Généralement en industries, on utilise le lait en poudre. En effet, c'est un produit hautement nutritif et équilibré. Il contient des matières albuminoïdes (caséine), des matières grasses, des substances sucrées (lactose) et des substances minérales (Coutouly *et al.*, 1998).

III.3.7. Œufs en poudre

Les œufs apportent de la légèreté et du moussant aux recettes, comme pour les boudoirs, les madeleines, les génoises et prenant la couleur à la cuisson. Ils permettent aussi de donner une couleur dorée aux biscuits. Les œufs sous forme de poudre sont moins sensibles aux attaques microbiennes et de stockage plus facile. Les propriétés fonctionnelles de certaines molécules constitutives des œufs sont : Aromatique, Colorant, Moussant (blanc), Émulsifiant (jaune) (Coutouly *et al.*, 1998).

III.3.8. Sel

C'est le chlorure de sodium (NaCl) indiqué à celui utilisé en cuisson. Il est soluble dans presque tous les liquides. Son rôle est d'accélérer le ramollissement de la croûte et **joue** un rôle important dans la conservation des ingrédients et protège l'aliment (Kiger et Kiger, 1967).

III.4. Chaîne de fabrication des biscuits

III.4.1. Pétrissage

Le pétrissage de la pâte est effectué dans un pétrin, menu d'un bol de pétrissage. Il est à noter qu'un temps de pétrissage de 5 min donne une pâte non cohérente et donc mal pétrie ainsi qu'un temps de 15 à 20 min entraîne un ramollissement de la pâte qui devient collante, ils correspondent donc à un pétrissage excessif. En effet, l'optimum de temps de pétrissage est 10 min qui donne une pâte cohérente, non collante et d'une bonne malléabilité (Benkadri., 2010).

III.4.2. Façonnage et découpage de la pâte

Le laminage est la première opération de mise en forme de la pâte pétrie. Il consiste à façonner la pâte (formation d'un ruban d'épaisseur déterminée) en la faisant passer entre un train de laminoirs (Fellueit, 2000).

III.4.3. Cuisson

La cuisson est un processus durant lequel se déroulent de multiples réactions biochimiques et physico-chimiques complexes : dénaturation des protéines, gélatinisation partielle de l'amidon, expansion de la pâte par réduction et dilatation thermique de gaz, évaporation de l'eau et formation de la couleur (réaction de Maillard) (Armand et Germain, 1992).

La cuisson est conduite dans des fours tunnels de plusieurs dizaines de mètres (pouvant dépasser la centaine constituée de plusieurs sections (se différenciant par leur température et leur humidité) (Fellueit, 2000).

Les modifications physico-chimiques durant la cuisson des biscuits sont résumés dans le tableau n°5.

Tableau n° 5 : Les modifications physico-chimiques durant la cuisson des biscuits (Ben-Mbarek, 2015).

Température (°C)	Modifications physico-chimiques
32 à 38° C	Formation d'une pellicule à la surface du biscuit.
32 à 99° C	Dégagement du gaz carbonique et expansion du pâton. Gélatinisation partielle de l'amidon. Dénaturation réversible des protéines.
99 à 121° C	Dénaturation irréversible des protéines.
149 à 205° C	Caramélisation des sucres.
188 à 205° C	Dextrinisation ou formation d'une surface luisante

III.4.4. Refroidissement

Les biscuits sortant du four à des températures élevées sont refroidis à l'air libre, pendant quelque minute, des ventilateurs sont utilisés pour éliminer l'humidité (Cheblaoui et Yahiatene, 2016).

III.4.5. Conditionnement

Les biscuits ont besoin d'un emballage pour les protéger de l'oxygène, des odeurs et de la lumière. Il existe différents types d'emballage qui sont utilisés pour la conservation des biscuits comme : le carton, l'aluminium et le plastique, sous forme de barquettes, cylindrique et rectangulaire (Dugourd, 2009).

III.4.6. Critères d'évaluation de la qualité du biscuit

Les attributs de la qualité les plus importants dans les aliments sont les caractéristiques sensorielles : la texture, la saveur, l'arôme, taille et la couleur. La qualité du biscuit se traduit par une maîtrise rigoureuse des caractéristiques physiques (dimensions, couleur, humidité), l'apparence de la surface et de la texture (densité, dureté, résistance aux bris) (Fustier, 2006). Cette qualité est gouvernée par la nature et la quantité des ingrédients utilisés (Maache-Rezzoug *et al.*, 1998a). Dans le cas des biscuits, la couleur et la texture sont des paramètres importants dont on doit contrôler.

➤ Texture

Elle est déterminée principalement par la teneur en humidité, en gras et le types et les quantités des carbohydrates structurales (cellulose, amidons ; pectines...etc.) et les protéines présentes (Fellows, 2000). Elle influe considérablement la perception du consommateur. L'expansion, un événement pertinent dans la formation de la texture est déterminé par les propriétés rhéologiques de la pâte, qui dépend du comportement et interactions de ces composants et la solubilité du gaz dans la phase continue. Des grandes expansions produisent une faible densité ce qui résulte en de biscuits de grandes porosité (Lara *et al.*, 2011). La résistance de la croûte du biscuit à la déformation est un attribut textural dont on connaît sous le nom de la dureté et fermeté et c'est un facteur important dans les produits de panification comme elle est fortement corrélée avec la perception de la fraîcheur du biscuit (Lara *et al.*, 2011). Pour cela, la texture est un critère de qualité important, ou la formation d'une miette tendre et flexible est désirée (Lara *et al.*, 2011).

Les propriétés de texture des aliments : Une évaluation initiale de la dureté : la friabilité ; une perception de la mastication, l'adhésion et l'humidité, si le produit est gras avec une

évaluation de la taille et la géométrie des particules de l'aliment ; une perception de la vitesse de fracturabilité de l'aliment pendant la mastication, la libération de l'eau ...etc. (Fellows, 2000).

➤ **Couleur**

La couleur est un facteur déterminant dans la définition de la qualité de n'importe quel aliment. En effet, elle est un trait que le consommateur remarque immédiatement comme elle influence l'impression sensorielle subjective (Lara et *al.*, 2011).

➤ **Goût, flaveur et arôme**

Les attributs du goût sont le salé, le sucré, l'amère et l'acidité. Les composants volatiles d'arôme sont produits sous l'effet de la chaleur, l'oxydation, l'activité non enzymatique sur les protéines, la matière grasse et les carbohydrates (ex. réaction de Maillard) (Fellows, 2000).

Partie expérimentale

Chapitre IV

Matériels et Méthodes

IV. Matériels et Méthodes

Le présent travail a été réalisé au niveau de :

- ✓ Salles d'élevage du laboratoire de recherche VALCORE
- ✓ Laboratoire de microbiologie de la faculté des Sciences
- ✓ Biscuiterie ISSER DELICE (Boumerdes) (Annexe I)

L'objectif de la présente étude consiste à :

- Faire un élevage de deux espèces de criquets (*Locusta migratoria* et *Schistocerca gregaria*) au niveau des salles d'élevage VALCORE.
- Un contrôle microbiologique des farines d'insectes (*Locusta migratoria* et *Schistocerca gregaria*) qui serviront pour une formulation alimentaire (biscuit sec) saine.
- Un contrôle physico-chimique de deux farines de criquet (*Locusta migratoria* et *Schistocerca gregaria*) dans le but de voir la qualité alimentaire et la valeur nutritionnelle de ces farines.
- Incorporation de la farine des criquets *Locusta migratoria* et *Schistocerca gregaria* dans la formulation de biscuit sec.
- Contrôle de qualité du biscuit sec formulé.
- Etude de l'effet de l'incorporation de la farine sur les paramètres physiques du biscuit sec.

IV.1. Matériel biologique

L'étude a été menée sur 2 espèces acridiennes *Schistocerca gregaria* et *Locusta migratoria*. Les individus de ces deux espèces ont été élevés dans les salles comme indiqué précédemment.

IV.2. Matériel non biologique

Le matériel non biologique se compose de l'appareillage, les verreries et les milieux de culture utilisés dans le cadre de ce travail (Annexe II)

IV.3. Méthodes

IV.3.1. Elevage des criquets

Les criquets ont été élevés dans plusieurs cages en bois de dimensions différentes (fig. n° 14). Les grandes cages sont réservées pour l'élevage de masse et les moyennes cages pour les larves de 5^{ème} stade. Ces dernières sont destinées à la production de la farine. Les petites cages sont destinées à élever les petites larves. Pour ce qui est des conditions de l'élevage : les températures sont comprises entre 30 et 34 °C. L'humidité relative varie entre 60 et 75%. La

photopériode est naturelle selon la saison et aucune source de lumière n'a été rajoutée à l'élevage. Les criquets sont nourris à base de graminée spontanée (le gazon) et un complément de son de blé.



Fig. 14: Elevage des criquets (Originale)

IV.3.2. Traitement des échantillons (la farine de *Locusta migratoria* et *Schistocerca gregaria*)

IV.3.2.1. Séchage des insectes

Pour produire cette farine, les individus de chaque espèce sont récoltés dans des cages au stade adulte. Ils sont ensuite sacrifiés par congélation et stockés à -24 °C. Les criquets ont été placés dans une étuve nettoyée au préalable, à 110 °C pendant 24 heures (Fig. n°15 et 16).



Fig. 15 : Séchage des individus de *Schistocerca gregaria* (Originale)



Fig. 16 : Séchage des individus de *Locusta migratoria* (Originale)

IV.3.2.2. Broyage des insectes

Après séchage à l'étuve, les criquets ont été débarrassés de leurs tibias puis broyés à l'aide d'un broyeur électrique jusqu'à l'obtention d'une farine fine et homogène (Fig. n°17 et 18). La farine obtenue est stockée dans des sachets propres et stériles jusqu'à son utilisation ultérieure.



Fig. 17: Broyage des criquets (Originale)



Fig. 18 : Farine obtenue après broyage (Originale)

IV.3.3. Analyses microbiologiques de la farine de *Locusta migratoria* et *Schistocerca gregaria*

IV.3.3.1. Préparation de la solution mère et des dilutions décimales

La préparation de la solution mère pour les deux farines (produits solides) est réalisée comme suit (Annexe III) :

On Introduit aseptiquement 10 g du produit à analyser (farine de criquet) dans un flacon stérile contenant 90 ml d'EPT, ensuite ce mélange a été homogénéisé sous agitation magnétique et laissé au repos. La suspension mère de dilution 10^{-1} est ainsi constituée (fig. n° 19).

A partir de la suspension mère, des dilutions plus grandes sont réalisées pour faciliter les dénombrements. La dilution 10^{-2} est obtenue en introduisant un volume de 1mL de la solution mère à l'aide d'une pipette stérile dans un tube à essai contenant 9mL d'EPT. D'autres dilutions décimales ont été préparées de la même manière.

IV.3.3.2. Recherche et dénombrement de la flore mésophile aérobie totale à 30°C (ISO4833)

➤ Principe

Le dénombrement de la flore mésophile aérobie totale (FTAM) été réalisé selon les normes (N.A 1207) APHA et ISO 4833 sur le milieu TGEA (Tryptone glucose et l'extrait d'Agar). Ce test permet d'avoir une idée sur la qualité microbiologique générale d'un produit naturel. Cette flore est un bon indicateur de la qualité hygiénique générale et de la stabilité du produit.

➤ Mode opératoire

A partir de chaque dilution décimale, on a porté aseptiquement 1 ml de chaque dilution et en mettant au centre de boîte de pétri puis on a coulé environ 15 ml de la gélose TGEA préalablement fondue et refroidie à 45°C.

On a mélangé soigneusement l'inoculum dans le milieu de culture en forme de « 8 » et laissé les boîtes se solidifier sur la palliasse. La flore est dénombrée après 72 heures d'incubation à 30°C

➤ Lecture

Retenir les boîtes contenant un nombre de colonies compris entre 30 et 300. Les résultats sont exprimés en UFC par g de produit selon la formule suivante :

$$X=N.(1/D). (1/V)$$

X : nombre de germes par gramme de produit

N : nombre de colonies

V : volume de l'inoculum

D : facteur de dilution

La flore aérobie mésophile totale présente un halo claire autour de chaque colonie, blanche et jaune, de différentes tailles en masse.

IV.3.3.3. Recherche et dénombrement de coliformes totaux et fécaux (ISO 4832 ,2006)

Les coliformes sont des entérobactéries, bactéries à Gram négative, ce sont des bacilles non sporulant, aérobies ou anaérobies facultatives, oxydase négatif.

➤ Principe

Le dénombrement des coliformes totaux et fécaux est réalisé selon les norme ISO 4832 et FAD-BAM sur gélose VRBL (Gélose lactosée biliée au vert brillant et au rouge de phénol).

➤ **Mode opératoire**

Après avoir les dilutions (10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3}), déposer 1ml dans trois boîte de pétri vide, puis couler en dessus, la gélose VRBL fondue et refroidi à 45°C. Faire ensuite des mouvements circulaires pour bien mélanger la gélose et l'inoculum. Laisser la gélose se solidifié puis incubé les boîtes à 37°C pour les coliformes totaux et à 44°C pour les coliformes fécaux pendant 24 heures.

➤ **Lecture**

La présence de coliformes se traduit par l'apparition de colonies de couleur rouge cerise et de 0.5 mm de diamètre

IV.3.3.4. Recherche et dénombrement des levures et moisissures (ISO 7954)

Les moisissures sont des hétérotrophes, aérobies, acidophiles, pH de développement compris entre 3 et 7 et mésophiles (température de croissance de 20 à 30°C). Les levures sont typiquement unicellulaires de formes ronde ou ovoïde et se multiplient par bourgeonnement.

➤ **Principe**

Le dénombrement des levures et moisissures s'est effectué sur le milieu OGA, selon les normes ISO 7954.

➤ **Mode opératoire**

Ensemencement en masse de 1 ml des dilutions décimales sont portés aseptiquement dans trois boîte de Pétri, les gouttes sont étalées à l'aide d'un râteau stérile avec la gélose OGA (Oxytetracycline Glucose Agar). Après solidification, les boîtes ont été incubées à 25°C/5jrs

➤ **Lecture**

Les levures se présentent sous forme de colonies rondes plus ou moins bombé ou plate en surface, les contours est le plus souvent régulier. Elles sont opaques et pigmentées. Par contre, Les moisissures se présentent sous forme de colonies duveteuses pigmentées plus ou moins étendus.

IV.3.3.5. Recherche et dénombrement des *Staphylococcus aureus*

Staphylococcus aureus appartient à la famille des Micrococaceae. C'est une espèce aéro-anaérobie facultative, catalase positive, immobile et non sporulée (Laurent *et al.*, 1998). Elle est capable de produire une enterotoxine qui est l'agent causal des intoxications alimentaires.

➤ **Principe**

Le dénombrement de *Staphylococcus Aureus* est réalisé selon les normes ISO 6888-1 (V08-14) sur milieu Baird Parker.

➤ **Mode opératoire**

Un volume de 0,1 mL de chaque dilution décimale est prélevé à l'aide d'une pipette stérile et ensuite déposé à la surface de la gélose Baird Parker. Les boîtes sont incubées à 37°C pendant 48 heures.

➤ **Lecture**

La présence de staphylocoques se traduit par l'apparition de colonies noires (réduction de tellure) entourées d'un halo clair.

Le nombre de germes par mL ou par g de produit est calculé par la formule suivante :

$$X=N.(1/D). (1/V)$$

Soit :

X : nombre de germe par ml ou g de produit.

V : volume de l'inoculum

N : Nombre de colonies

D : Facteur de dilution ou la dilution considérée.

IV.3.3.6. Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux

Les entérocoques appartiennent à la famille des Streptococcaceae, ils vivent généralement dans l'intestin humain. Cette famille comporte les espèces suivantes comme : *Enterococcus faecalis*, *Enterococcus faecium*. En effet, leur présence dans les produits alimentaires est une indication de contamination fécale.

➤ **Principe**

Le dénombrement de Streptocoques fécaux est réalisé selon les normes ISO 7899, il est basé sur un test présomptif sur milieu Roth suivi d'un test confirmatif sur milieu Eva Litsky en cas de résultat positif.

➤ **Mode opératoire**

La recherche des Streptocoques fécaux se fait sur le milieu Roth D/C répartie dans des tubes à essai à raison de 10 mL. On porte aseptiquement 1mL de chaque dilution décimale et ensemençer dans le milieu Roth D/C. L'incubation se fait à une température de 37°C pendant 48 h.

➤ **Lecture**

La présence de Streptocoques fécaux se caractérise par l'apparition d'un trouble microbien dans le milieu Roth.

IV.3.3.7. Recherche et des salmonelles

Les Salmonelles sont des Bacillus Gram positif, mobiles, non sporulé et anaérobies facultatif.

➤ Principe

Le dénombrement des Salmonelles s'est fait selon les normes N. A 1203. Il est nécessaire de procéder à un pré-enrichissement et un enrichissement puis un isolement dans milieu sélectif (Guirand, 1998).

➤ Mode opératoire

-Pré enrichissement

On prélève aseptiquement un volume de 1mL de la solution mère, puis l'introduire dans un flacon contenant 10 mL de BLMT. Ensuite, on incube à 37°C pendant 24 heures.

-Enrichissement primaire

A partir du milieu pré-enrichissement, on porte aseptiquement un volume de 1 mL dans un tube à essai contenant le milieu sélectif (SFB). Le tube est incubé à 37°C pendant 24h.

-Isolement

Cette étape est réalisée à partir du milieu d'enrichissement sur gélose Hecktoen dans le cas où le test d'enrichissement a été noté positif. L'incubation est faite à 37 °C pendant 24h.

➤ Lecture

Après étuvage, les colonies apparaissent avec une coloration bleu verdâtre à centre noirâtre dû à la production d'H₂S.

IV.3.4. Formulation de biscuit sec

Les biscuits sont des produits résultants d'un mélange de farine, de sucre, de matières grasses, de poudre à lever, d'arômes, de sel et d'eau. Selon les types de biscuits à préparer.

Il existe plusieurs types de biscuits dont la teneur des ingrédients varie en fonction du biscuit Produit.

IV.3.4.1. Recette du biscuit formulé

La recette utilisée pour la formulation du biscuit sec témoin (T) est faite selon la formule établie par SUDHA *et al.* (2007) (Tableau 6). Ce biscuit témoin (T) est fabriqué avec un taux d'incorporation de 100% de farine de blé tendre. Les autres biscuits ont été formulés selon la même recette avec différents taux d'incorporation de la farine du criquet (10%, 15% et 20%) (Bawa *et al.*,2020) (Tableau 7). Les autres ingrédients restant les mêmes.

Tableau n° 6 : Ingrédients utilisés pour la formulation du biscuit sec Témoin (SUDHA et al., 2007b)

Matière première	Taux d'incorporation en (g)
Farine	300
Sucre	90
Graisse végétale	60
Sel (NaCl)	3
Bicarbonate de sodium	1,2
Bicarbonate d'ammonium	3
Dextrose monohydrate	6
Lait écrémé	6
Eau	56

Tableau n° 7 : Différentes formulations utilisées pour la conception du biscuit sec

L'échantillon	La farine de blé tendre (g)	La poudre de criquet (g)
Témoin	300	0
P.C 10%	270	30
P.C 15%	255	45
P.C 20%	240	60

P.C : Poudre de criquet

IV.3.4.2. Processus de formulation du biscuit sec (Annexe IV)

IV.3.4.2.1. Procédé de mélange des matières premières

Le mélange a été réalisé selon la méthode indirecte dite de crémage qui comprend un certain nombre d'étapes (Ajila *et al.*, 2010 ; Aboudaou, 2011).

➤ Première étape

On Mélange les matières grasses avec le sucre pendant 3 minutes.

➤ **Deuxième étape**

On fait dissoudre le sel, le bicarbonate de sodium et d'ammonium dans de l'eau qu'on ajoute à la préparation précédente et qu'on mixe pendant 5 à 6 min, on obtient une crème homogène.

➤ **Troisième étape**

On ajoute la farine et le lait au mélange crémeux et on mélange le tout pendant 3 minutes

IV.3.4.2.2. Moulage des pâtes

Cette opération est effectuée manuellement, les biscuits en fin de moulage ont une épaisseur de 5,5 mm et un diamètre de 63 mm.

IV.3.4.2.3. Conditions de cuisson

La cuisson est une opération importante, car d'elle, dépend le goût et l'aspect des biscuits. Le four utilisé est composé de quatre étages, à température indirecte et ventilé. La température du four est de 200 °C et le temps de cuisson est de 9 à 10 minutes.

IV.3.4.2.4. Refroidissement et emballage

A la sortie du four, les biscuits sont refroidis totalement à l'air libre pendant une durée de 15 minutes. Après une durée de refroidissement de 30 min, les biscuits sont pesés puis mis dans des papiers d'aluminium bien fermés pour être conservés

IV.3.5. Détermination des paramètres physiques

Le diamètre (D) des biscuits a été mesuré par la pose de cinq biscuits bord à bord à l'aide d'un pied à coulis. Le même ensemble de biscuits a été tourné 90° et le diamètre a été réévaluée. (AACC, 1995)

Les valeurs moyennes de ces biscuits sont indiquées en millimètres. L'épaisseur (E) de biscuits a été mesurée par l'empilement de cinq biscuits sur le dessus les uns des autres et en prenant la moyenne de cinq biscuits en millimètre. Le taux de propagation a été calculé en divisant le diamètre (D) par l'épaisseur (E). $TP = D/E$ (Singh., et al 2003)

✓ **Détermination de la teneur en eau (Humidité)**

La teneur en eau de la farine a été déterminée par la méthode de l'étuvage.

➤ **Principe**

Le principe consiste à éliminer la teneur en eau de la farine de *L. migratoria* par dessiccation à 105°C à l'étuve.

➤ **Mode opératoire**

On pèse plus ou moins 10 g de l'échantillon (farine) dans un bocal métallique à fond plat préalablement taré. On sèche à l'étuve à 105°C pendant 3 heures. On répète l'opération jusqu'à poids constant. L'aperte en poids correspond à la teneur en eau.

➤ **Calcul et expression des résultats**

Le calcul du taux d'humidité par perte de poids à la dessiccation se fait de la manière ci-après :

$$\text{Humidité (\%)} = ((P1 - P2) / P0) \times 100$$

P1 : poids du bocal métallique vide.

P2 : poids du bocal métallique contenant l'échantillon.

P0 : poids après séchage et dessiccation.

IV.3.6. Analyses microbiologique de biscuit sec formulé par incorporation de la farine de criquet

Les méthodes d'analyses sont les mêmes que les analyses effectuées pour la farine de criquet.

IV.3.7. Analyses sensorielles des biscuits formulés

Le test de classement est un test hédonique qui consiste à donner, simultanément et dans un ordre aléatoire, les différents échantillons codés par 8 lettres à chaque dégustateur. Cette technique permet de décrire objectivement et de mesurer les caractéristiques organoleptiques des biscuits. Un questionnaire a été distribué aléatoirement sur 60 dégustateurs, ces derniers ont apprécié les biscuits en se basant sur les critères agréables, désagréables et très agréables (Vodouche-egueh *et al.*, 2017) (Annexe V).

Les échantillons ont été présentés comme suit :

- T : correspond à l'échantillon témoin (0g de la farine du criquet)
- L1, L2, L3 correspondent aux biscuits formulés avec différentes proportions de la farine de *Locusta migratoria* : 10%, 15% et 20% respectivement.
- S1, S2, S3 correspondent aux biscuits formulés avec différentes proportions de la farine de *Schistocerca gregaria* : 10%, 15% et 20% respectivement.

Les différents paramètres organoleptiques retenus pour les analyses sensorielles des biscuits sont :

- ✓ L'odeur
- ✓ Le goût

- ✓ La couleur
- ✓ L'aspect (Texture)
- ✓ Croustillance

IV.3.8. Analyses statistiques

Les données des analyses physiques des différents biscuits formulés par l'incorporation de la farine des criquets ont été traitées à l'aide de logiciel Statistica v 8.0. Ce dernier a servi à l'analyse des données pour la comparaison des moyennes et pour l'analyse de la variance (ANOVA) par le test de Tukey avec un seuil de signification fixé à 5 %.

Chapitre V

Résultats et Discussion

V. Résultats et Discussion

V.1. Résultats de L'analyses microbiologiques de la farine des criquets

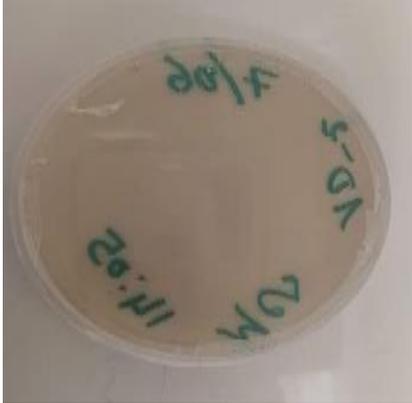
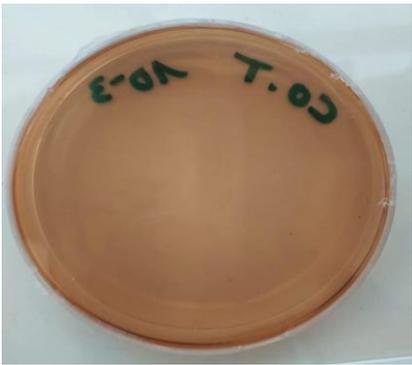
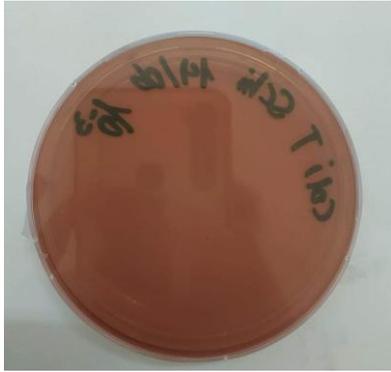
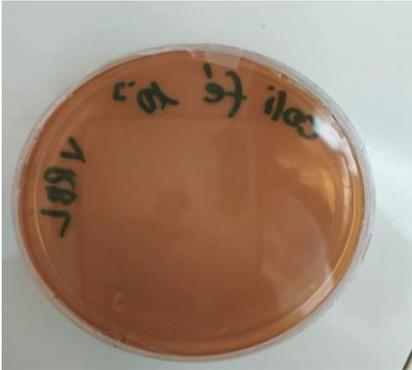
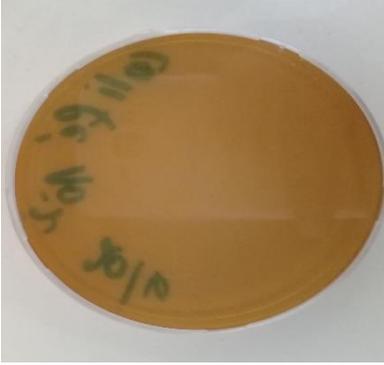
Dans le but de garantir une sécurité hygiénique et un niveau de qualité organoleptique, des analyses microbiologiques ont été effectuées. En effet, lorsqu'un produit est destiné à la consommation, le niveau de contamination de celui-ci doit être réduit le plus possible et répondre aux normes exigées par le journal officiel. Les résultats des analyses microbiologiques des farines d'insectes sont résumés dans le tableau 8.

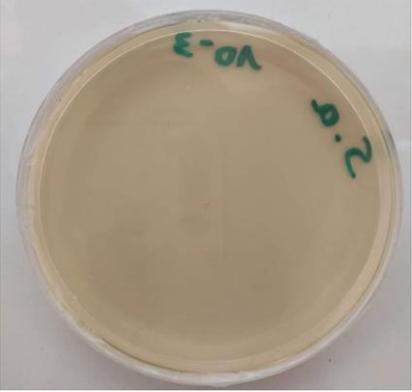
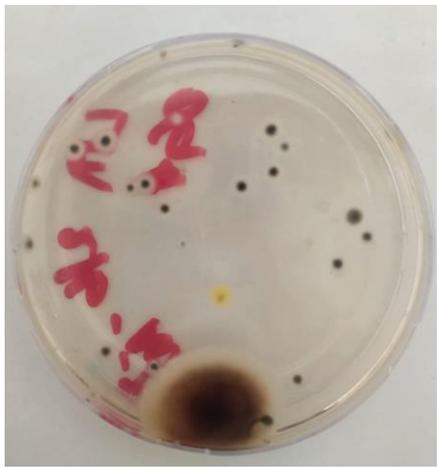
Tableau n° 8 : Résultats des analyses microbiologiques de la farine des criquets

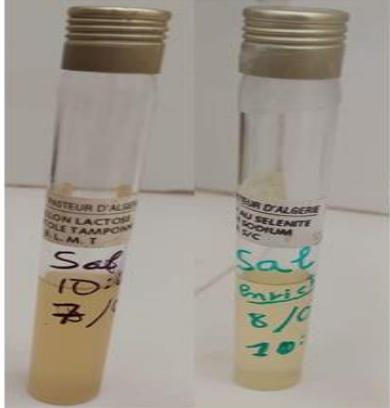
La lecture des analyses microbiologiques de la farine de *Schistocerca gregaria* et de *Locusta migratoria* sont regroupés dans le tableau 9.

Germes Recherchés	Résultats		Critères d'hygiène UFC/ g	Normes Journal officiel par germe
	<i>Locusta migratoria</i>	<i>Schistocerca gregaria</i>		
FMAT	Absence	Absence	5.10⁶	ISO 4833 /N.A1207
Coliformes totaux	Absence	Absence	10³	ISO 4832 , 2006
Coliformes fécaux	Absence	Absence		
<i>Staphylococcus aureus</i>	Absence	Absence	10³	ISO 6888
Streptocoque fécaux	Absence	Absence	10³	ISO 7899
Levures et moisissures	21	24	10³	ISO 7954
Salmonelle	Absence	Absence	Absence	N.A 12

Tableau n° 9 : Lecture des analyses microbiologique

Germes Recherchés	Aspect macroscopique		Lecture
	<i>Locusta migratoria</i>	<i>Schistocerca gregaria</i>	
FMAT			Absence de colonies
Coliformes totaux			Absence de colonies de couleur rouge cerise
Coliformes fécaux			Absence de petites colonies de couleur rouge foncé

<p><i>Staphylococcus aureus</i></p>			<p>Absence de colonies noires brillantes entourés d'un halo jaune clair</p>
<p>Streptocoque fécaux</p>			<p>Absence de trouble microbien dans le milieu Roth</p>
<p>Levures et Moisissures</p>			<p>Les moisissures apparaissent sous forme duveteux tandis que les levures sous forme de petites colonies de forme ronde et couleur blanche</p>

<p>Salmonelle</p>			<p>Absence de colonies bleu verdâtre à centre noirâtre.</p>
--------------------------	---	--	---

Les résultats des analyses microbiologiques obtenus dans la présente étude pour les deux échantillons de farines montrent une absence totale de coliformes totaux et les germes pathogènes *Escherichia coli*, *Streptocoques fécaux*, *staphylococcus aureus* et *Salmonelle* pour les deux espèces *Schistocerca gregaria* et *Locusta migratoria*. Ces résultats confirment ceux trouvés par Grabowski (2017). Cet auteur a noté une absence totale de germes pathogènes sur une farine issue de *Locusta migratoria* et de *Chilcomadi damoorei*. En revanche, les résultats obtenus dans le présent travail sont légèrement inférieurs à ceux trouvés par Grabowski et al. (2016), sur l'espèce *T. molitor*. Cela est dû probablement aux conditionnements de stockage et séchage différents entre les deux études de recherche.

Ce travail note aussi une absence de FAMT et de levures et moisissures. Ces résultats ne dépassent pas les normes de journal officiel. Donc il semble que la farine obtenue est de bonne qualité hygiénique. Ces résultats concordent avec ceux avancés par les chercheurs comme Ali et al. (2010), Klunder et al. (2012), Stoops et al. (2016) et Garofalo (2017). En effet, ces auteurs ont souligné une faible présence de FAMT et de levures et moisissures.

D'après les résultats précédant, on peut déduire que ces deux échantillons de farines sont de bonne qualité microbiologique et ne sont pas contaminés au cours des différents processus de stockage et de séchage. Il est à rappeler que les criquets sont élevés dans des bonnes conditions et le nettoyage des cages, de la salle d'élevage et de l'aliment est assuré quotidiennement. Donc l'incorporation de cette farine dans des formulations alimentaires ne représente aucun risque pour le consommateur.

V.2. Analyses physiques et microbiologiques du biscuit enrichi par la poudre des deux espèces du criquet

V.2.1. Etude des caractéristiques physiques des biscuits

Les paramètres physiques des biscuits retenus sont : le diamètre, l'épaisseur et le rapport de propagation. Les résultats de ces mesures sont indiqués dans le tableau 10.

Les biscuits à base de farine de blé uniquement ont des caractéristiques physiques différentes par rapport aux biscuits formulés par incorporation de la farine de *Schistocerca gregaria* et *Locusta migratoria*. Selon le présent travail, on note que le diamètre de biscuit augmente avec l'augmentation de pourcentage d'incorporation de la farine pour les deux espèces : *Locusta migratoria* et *Schistocerca gregaria*. En effet le diamètre de différentes formulations de biscuit varie de 66,3 mm à 70,1 mm pour les biscuits incorporés de la farine de *Locusta migratoria* et de 65 à 67 mm pour les biscuits incorporés de la farine de *Schistocerca gregaria* (Tableau 10). Ces résultats sont les mêmes que ceux mentionnés par Zielińska et al. (2020) pour la farine de *Tenebrio molitor*.

En revanche, on constate que l'épaisseur des biscuits produits diminue avec l'augmentation de la proportion de la farine incorporé. En effet, le diamètre varie de 10,3 mm à 8,1 mm pour les biscuits incorporés de la farine de *Locusta migratoria* et de 12,7 mm à 7,9 mm pour les biscuits incorporés de la farine de *Schistocerca gregaria*. Ces résultats sont en accord avec les études menées par Olaniyon (2018) sur *Macrotermes nigeriensis*. Le rapport de propagation des biscuits qui se définit comme étant le rapport entre le diamètre et l'épaisseur des biscuits, il varie de 6,43 à 8,65 pour les biscuits incorporés de la farine de *Locusta migratoria* et de 5,11 à 8,48 pour les biscuits incorporés de la farine de *Schistocerca gregaria*. Selon Eissa et al. (2007), les biscuits ayant des valeurs élevées de propagation sont les meilleurs, ce qui montre l'effet positif de l'incorporation de la farine sur les biscuits formulés. Pour ce qui est de l'humidité, il ressort du tableau des résultats que ce paramètre diminue proportionnellement avec le taux de d'incorporation de farine d'insectes. En effet, il varie de 10,21 à 5,39 pour les biscuits incorporés de la farine de *Locusta migratoria* et de 10,21 à 5,53 pour les biscuits incorporés de la farine de *S. gregaria*

Tableau n°10 : Résultats des analyses physiques des biscuits secs produits par incorporation de la poudre d'insectes à différents taux (10, 15 et 20%).

Analyse physico-chimique	Témoin	<i>Locusta migratoria</i>			<i>Schistocerca gregaria</i>		
		10%	15%	20%	10%	15%	20%
Diamètre (mm)	62	66,3	70,0	70,1	65,3	66,4	67
Épaisseur (mm)	10,8	10,3	10,0	8,1	12,7	8,1	7,9
Rapport de propagation	5,74	6,43	7	8,65	5,14	8,19	8,48
Humidité	10,21	10,03	7,35	5,39	10,14	5,54	5,53

V.2.2. Analyse microbiologique de produit fini

Les analyses microbiologiques du biscuit témoin et celui enrichi par la farine d'insectes sont représentés dans le tableau n°11.

Tableau n° 11 : Résultats de l'analyse microbiologique de biscuit sec

Germe Recherchés	Lecture	Témoin	<i>Locusta migratoria</i>			<i>Schistocerca gregaria</i>		
			10%	15%	20%	10%	15%	20%
FMAT	24h	/	/	/	/	/	/	/
	48h	20	10	30	30	40	1.1.10 ²	1.3.10 ²
	72h	20	20	30	60	60	1.5.10 ²	1.9.10 ²
	5j	/	/	/	/	/	/	/
Coliformes totaux à 30 °C	24h	00	00	00	00	00	00	00
	48h	00	00	00	00	00	00	00
	72h	/	/	/	/	/	/	/
	5j	/	/	/	/	/	/	/
Coliformes fécaux 40°C	24h	00	00	00	00	00	00	00
	48h	00	00	00	00	00	00	00
	72h	/	/	/	/	/	/	/
	5j	/	/	/	/	/	/	/
Staph à coagulase	24h	00	00	00	00	00	00	00
	48h	00	00	00	00	00	00	00
	72h	/	/	/	/	/	/	/
	5j	/	/	/	/	/	/	/
Levures	24h	/	/	/	/	/	/	/
	48h	/	/	/	/	/	/	/
	72h	00	00	00	00	10	50	50
	5j	00	00	00	00	10	60	80
Moisissures	24h	/	/	/	/	/	/	/
	48h	/	/	/	/	/	/	/
	72h	00	00	00	00	00	00	00
	5j	00	00	00	00	00	00	00

Les résultats des analyses microbiologiques obtenus pour les sept échantillons montrent une faible présence de Germe aérobies totales pour le biscuit témoin et les biscuits enrichis par la poudre de *Locusta migratoria*. Alors que, un nombre légèrement élevé de colonies a été noté pour les biscuits enrichis par la farine de *Schistocerca gregaria*, ceci est dû peut-être aux ingrédients ajoutés au biscuits ou au contamination durant le processus de fabrication de biscuit. Ces résultats sont légèrement supérieurs à ceux rapportés par Ayensu *et al.* (2019) sur les biscuits formulés à base de farine des larves de charançon du palmier.

Les résultats des analyses microbiologiques ont montré également une absence totale des *Staphylococcus aureus*, des coliformes et des moisissures dans les différentes formulations de biscuits. Ces résultats sont similaires aux résultats rapportés par Ayensu *et al.* (2019).

De l'analyse du tableau, il ressort que le nombre de colonies de levures augmente proportionnellement de 10 à 80 avec le taux d'incorporation de la farine de *Schistocerca gregaria* pour le biscuit 10% et 20% respectivement. Ces levures sont complètement absentes dans les autres échantillons. Nos résultats sont nettement différents par rapport à ceux avancés par Ayensu *et al.* (2019). En effet, ces auteurs ont mentionné une absence totale des levures sur leurs échantillons. Il est à rappeler que nos résultats ne dépassent pas les normes précisées par le journal officiel, ce qui signifie que les biscuits formulés sont de qualité microbiologique satisfaisante ceci est dû à leur cuisson qui a été à 200°C.

V.2.3. Résultats des caractéristiques organoleptiques des biscuits

La qualité organoleptique joue un rôle très important dans la valeur commerciale du biscuit. Les analyses sensorielles des biscuits ont été faite sur 60 personnes, leurs âges entre 6 et 66 ans. Les participants ont dégusté nos biscuits et les ont appréciés en se basant sur les critères : agréable, très agréable, désagréable, assez agréable, très désagréable... selon les paramètres suivant : l'odeur, le goût, l'aspect (texture), la couleur et la croustillance.

V.2.3.1. Odeur

Les résultats de l'appréciation de l'odeur par les dégustateurs sont présentés par la figure 19 pour *Locusta migratoria* et par la figure 20 pour *Schistocerca gregaria*.

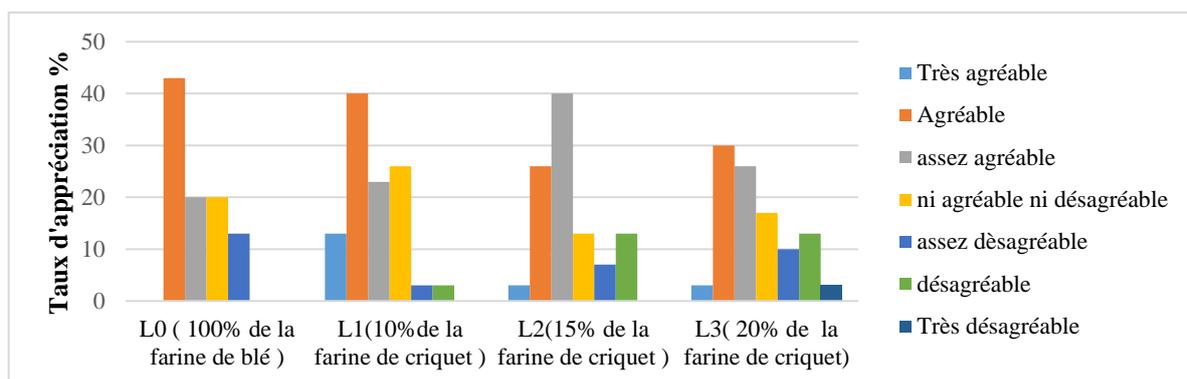


Fig. 19: Résultats de l’appréciation de l’odeur des différents biscuits fabriqués par l’incorporation de la farine de *Locusta migratoria* à différents taux.

De l’analyse de la figure, il ressort de façon générale que la formulation témoin (L0) est celle la plus appréciée par les dégustateurs à un pourcentage de 44%, suivi de la formulation L1 (10% de la farine) à un pourcentage de 40%. Il est à noter également qu’environ 40% des dégustateurs ont apprécié assez agréablement l’odeur du biscuit L2 obtenu par l’incorporation de 15% de la poudre de *Locusta migratoria*.

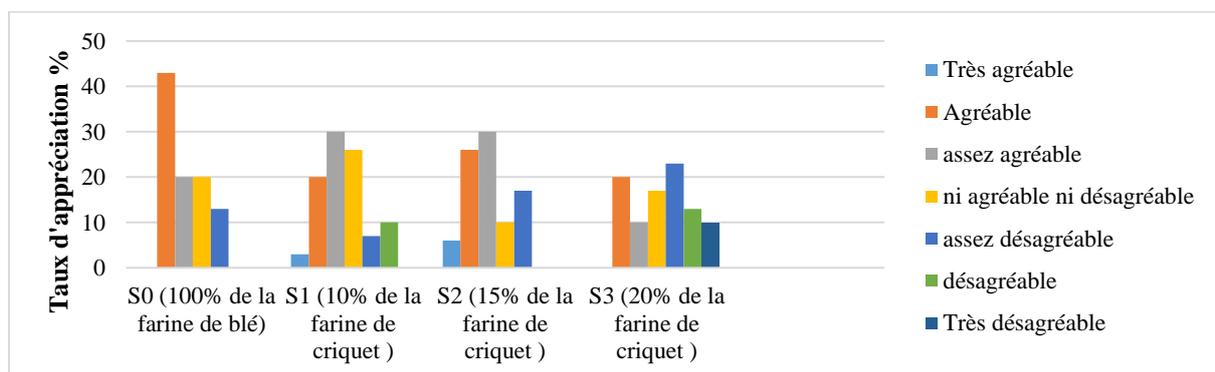


Fig. 20: Résultats de l’appréciation de l’odeur des des différents biscuits formulés par l’incorporation de la farine de *Scistocerca gregaria* à différents taux.

Selon la figure ci-dessus, il semble que plus de 40 % des dégustateurs ont apprécié agréablement le biscuit S0 pour le paramètres odeur, suivi de biscuit S2 obtenu par l’incorporation de 15% de la poudre de criquet avec un pourcentage de 28%. Ensuite, plus de 30% des dégustateur ont apprécié assez agréablement le biscuit S1 et S2 contre 25% qui n’ont pas apprécié le biscuit S3.

V.2.3.2. Goût

Les résultats de l'appréciation du goût des biscuits formulés sont présentés par la figure 21 pour *Locusta migratoria* et 22 pour *Schistocerca gregaria*.

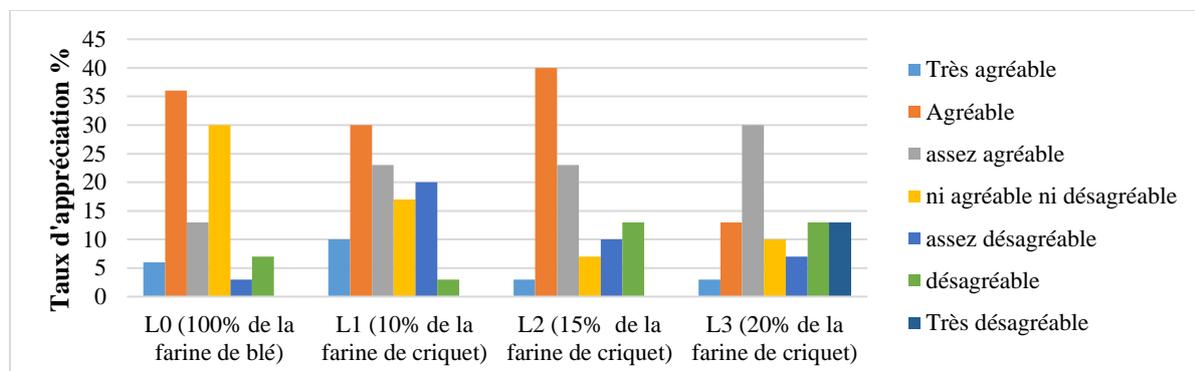


Fig. 21 : Résultats de l'appréciation du goût des biscuits produits par incorporation de la farine de criquet de *Locusta migratoria* à différents taux.

Il ressort de cette figure que la formulation L2 (15% de poudre d'insecte) est celle la plus préférée par les dégustateurs avec un pourcentage de 40%. La formulation L0 et L1 présentent un taux d'acceptation de 37% et 30 % respectivement. Par ailleurs, 30% des dégustateurs ont apprécié assez agréablement le biscuit L3 (20% de la farine d'insecte).

Selon les résultats précédents, on peut déduire que pratiquement toutes les formulations sont acceptées par le consommateur pour le critère du goût.

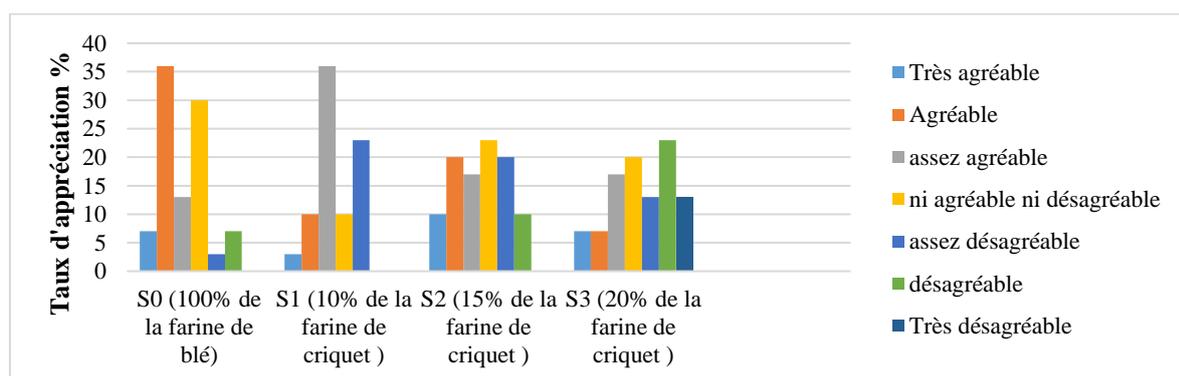


Fig. 22: Résultats de l'appréciation du goût des biscuits formulés par l'incorporation de la farine de *Schistocerca gregaria* à différents taux.

A partir des résultats obtenus, on remarque que le biscuit témoin (S0) sans farine d'insecte (contenant 100% de farine de blé tendre) est le plus accepté avec un pourcentage de 37%. De plus, les dégustateurs ont apprécié assez agréablement le biscuit S1 à un pourcentage de 38%.

Par contre, 23% des dégustateurs n'ont pas accepté la formulation S3 (à 20% de farine de criquet). En outre, 30% des participants ont donné la note ni agréable ni désagréable pour la formulation témoin (S0).

V.2.3.3. Aspect (texture)

Les résultats de l'appréciation de l'aspect des biscuits formulés sont représentés par les figures 23 et 24

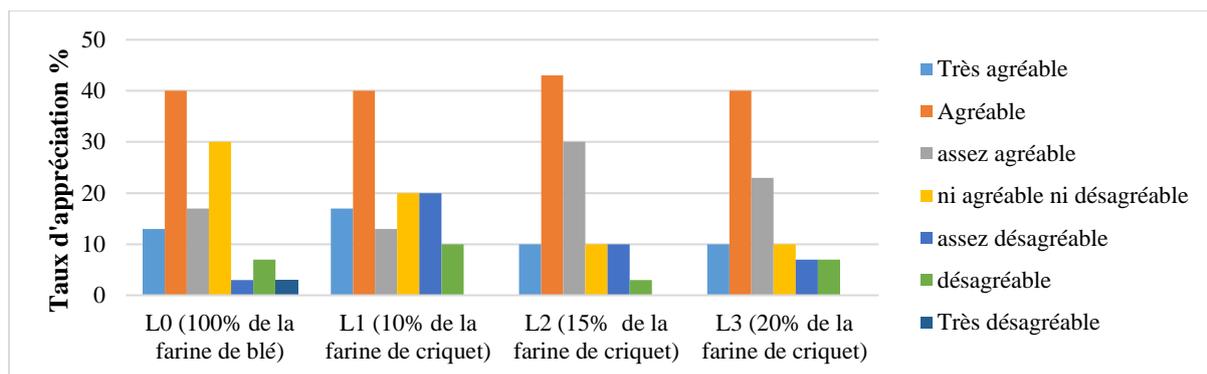


Fig. 23: Résultats de l'évaluation de l'aspect des biscuits produits par l'incorporation de la farine de *Locusta migratoria* à différents taux.

Selon la figure 23, on remarque que le biscuit L2 (15% de la farine de criquet) est le plus préféré par les dégustateurs avec un pourcentage de 44%, suivi des biscuits L0 (sans farine de criquet), L2 (10% de la farine de criquet), L3 (20% de la farine de criquet) avec un même pourcentage d'appréciation qui de 40%. Ces résultats permettent de conclure que les 4 formulations sont acceptées agréablement par les dégustateurs.

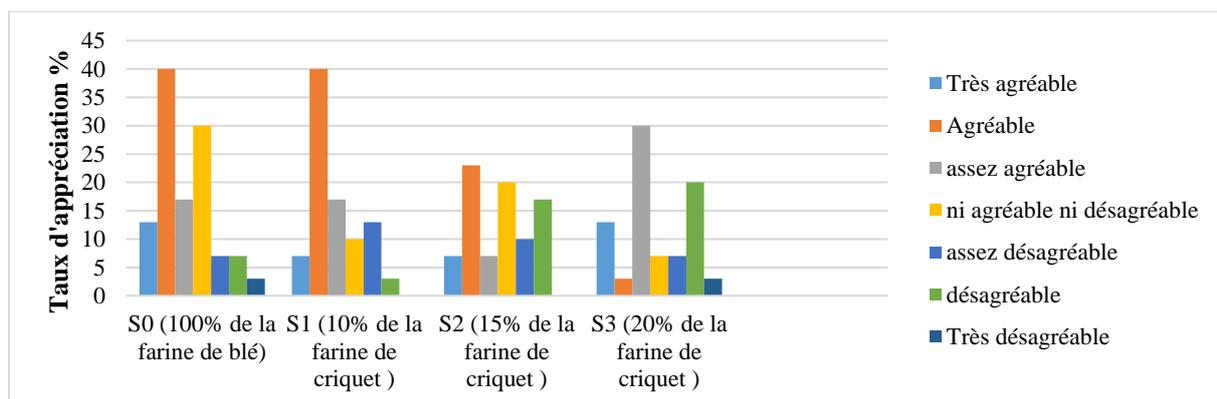


Fig. 24 : Résultats de l'évaluation de l'aspect des biscuits formulés par l'incorporation de la farine de *Schistocerca gregaria* à différents taux

Selon la figure ci-dessus, 40 % des dégustateurs ont apprécié agréablement le biscuit S0 (0% de la farine de criquet) et le biscuit S1 (10% de la farine de criquet). Suivi de la formulation S2 (15% de la farine d'insecte) à un pourcentage de 24%. Il est à noter que le biscuit S3 (20% de la farine de criquet) a été accepté par 30%. Par contre 20 % de dégustateurs ne l'ont pas accepté.

V.2.3.4. Couleur

Les résultats de l'appréciation de la couleur des biscuits formulés sont mentionnés par les figures 25 et 26.

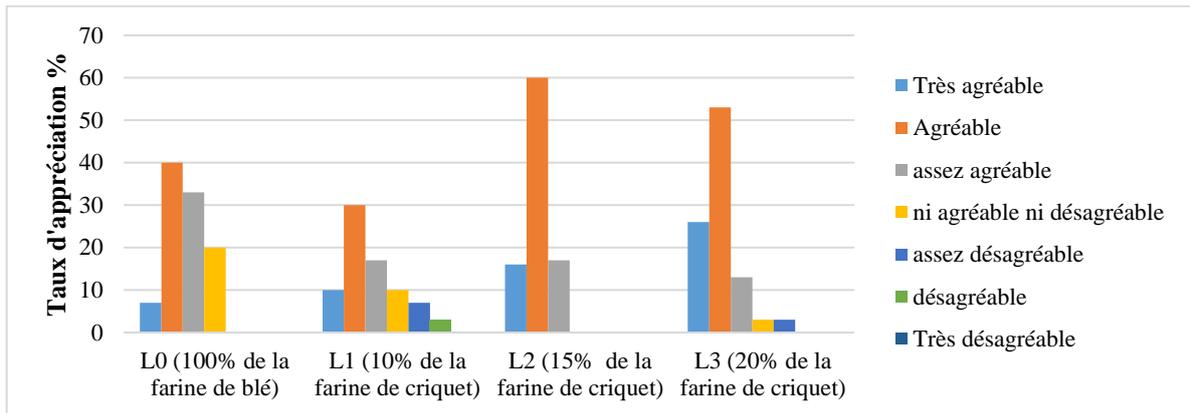


Fig. 25 : Résultats de l'appréciation de la couleur des biscuits formulés par l'incorporation de la farine de *Locusta migratoria* à différents taux.

La couleur est le premier paramètre observé par le dégustateur pour apprécier la qualité du produit.

Les résultats de la présente étude ont montré que les dégustateurs ont accepté toutes les formulations avec des pourcentages différents. En effet, la formulation la plus appréciée est celle de L2 (15% de farine d'insecte) avec un pourcentage de 65%, suivi de L3 (20% de la farine de criquet) avec un pourcentage de 53%. Cela pourrait s'expliquer par l'aspect du chocolat donné par la farine d'insecte aux biscuits L2 et L3. On remarque aussi que les deux formulations L0 et L1 sont acceptées également par les dégustateurs, mais avec des pourcentages moins élevés 40% et 34% respectivement.

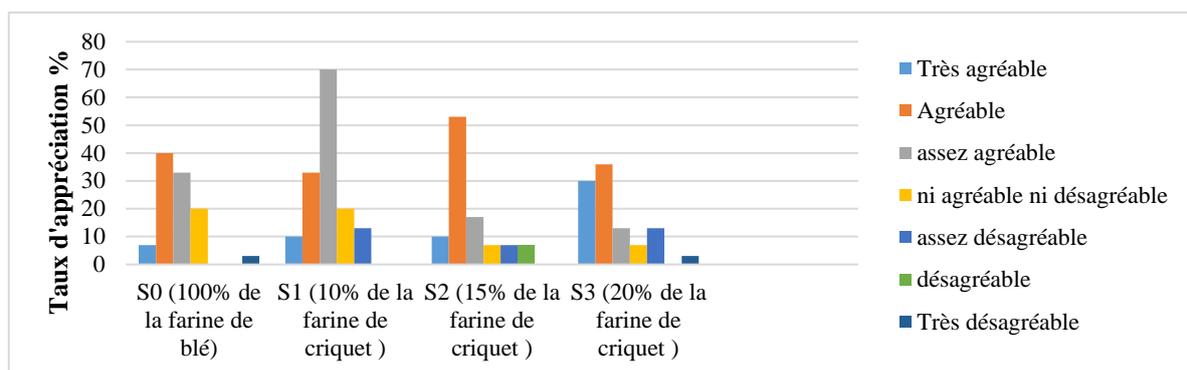


Fig. 26 : Résultats de l’appréciation de la couleur des biscuits formulés par l’incorporation de la farine de *Schistocerca gregaria* à différents taux.

A partir des résultats obtenus, on remarque que le biscuit S2 (15% de la farine de criquet) présente un taux d’acceptation de 53%. La formulation S1 (10% de la farine de criquet) a été appréciée assez agréablement par les dégustateurs avec un pourcentage de 70%. Le biscuit S3 est le moins accepté par les consommateurs.

On conclut que la couleur de biscuit peut être varié selon le taux d’incorporation de la farine de *Locusta migratoria* ou *Schistocerca gregaria* car cette dernière peut l’influencer en la rendant sombre.

V.2.3.5. Croustillance

Les résultats de l’appréciation de croustillance des biscuits enrichi par la poudre de *Locusta migratoria* et *Schistocerca gregaria* sont présentés par les figures 27 et 28.

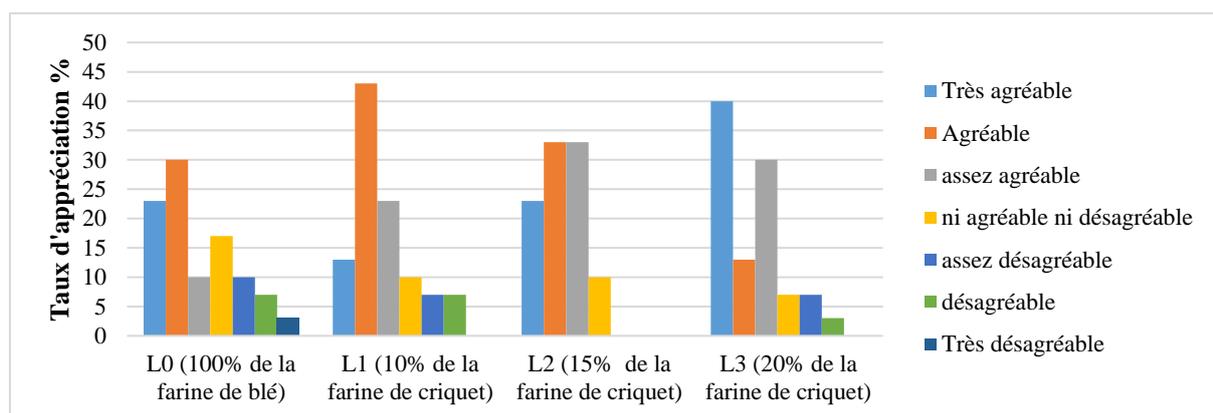


Fig. 27 : Résultats de l’évaluation de la croustillance des biscuits enrichis par la farine de *Locusta migratoria* à différents taux.

Selon la figure ci-dessus, 44 % des dégustateurs ont apprécié agréablement le biscuit L1 (10% de la farine de criquet), le biscuit L2 (15% de la farine de criquet) est accepté par les

dégustateurs avec un pourcentage de 33%, Suivi de la formulation témoin L0 (0% de la farine d'insecte) à un pourcentage de 30%. Il est à noter que le biscuit L3 (20% de la farine de criquet) n'a pas été accepté par 40% des dégustateurs.

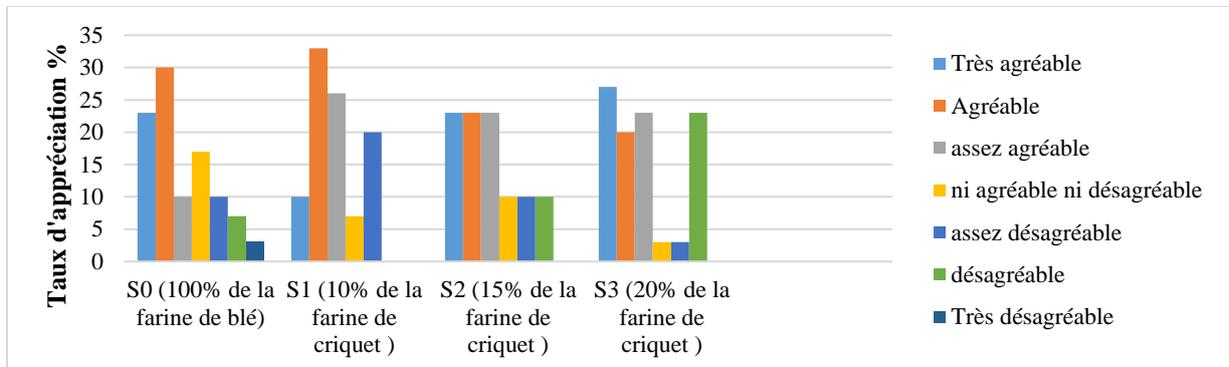


Fig. 28 : Résultats de l'évaluation de la croustillance des biscuits enrichi par la farine de *Schistocerca gregaria* à différents taux.

Les résultats de la présente étude ont montré que les dégustateurs ont accepté les premières formulations avec 34%, 30%, 24% pour S1, S0 et S2 respectivement. En effet, la formulation la plus appréciée est celle de S1 (10% de farine d'insecte) avec un pourcentage de 34%. On remarque aussi que la formulation S3 n'a pas été acceptée par les consommateurs.

Selon les résultats du test sensoriel, on peut déduire que l'incorporation de la farine des deux criquets influence la couleur, l'aspect, le goût, l'odeur et la croustillance des biscuits formulés.

Pour *Schistocerca gregaria* (Fig. n°29), il semble que les biscuits S0 (100% de blé tendre) et S1(10% de farine d'insecte) sont les plus acceptés par les consommateurs pour l'ensemble des paramètres Croustillance, aspect, goût et odeur. Par contre les biscuit S2 (15% de farine de criquet) et S3 (20% de farine de criquet) sont les plus appréciés par les dégustateurs pour le paramètre couleur.

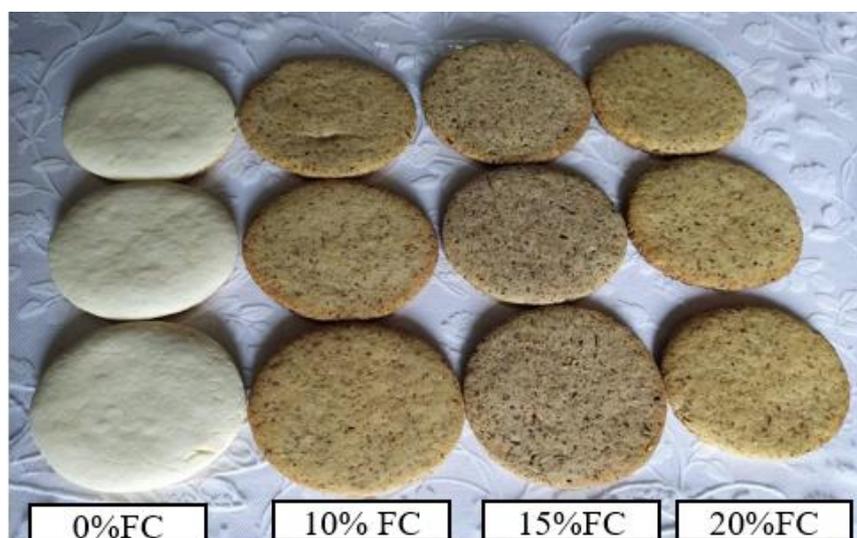
Pour *Locusta migratoria* (Fig. n°30), il semble que la formulation L2 (15 % de farine de criquet) est la plus appréciée pour l'ensemble des paramètres : goût, texture, couleur et croustillance. Le biscuit L0 (100% farine de blé tendre) est le plus acceptable pour le paramètre odeur.

Donc on peut conclure selon les interprétations précédentes que la majorité des biscuits formulés par l'incorporation de la farine de *Locusta migratoria* sont les plus acceptés par rapport à ceux formulés par l'incorporation de la farine de *Schistocerca gregaria*.

A partir des résultats précédents on peut classer les différentes formulations de biscuit selon l'ordre de préférence pour les deux espèces *L. Migratoria* et *S. Gregaria*.

- *Schistocerca gregaria*

Formule	Classement
S0 (0 % de la farine de criquet)	2
S1 (10% de la farine de criquet)	1
S2 (15% de la farine de criquet)	3
S3 (20 % de la farine de criquet)	4

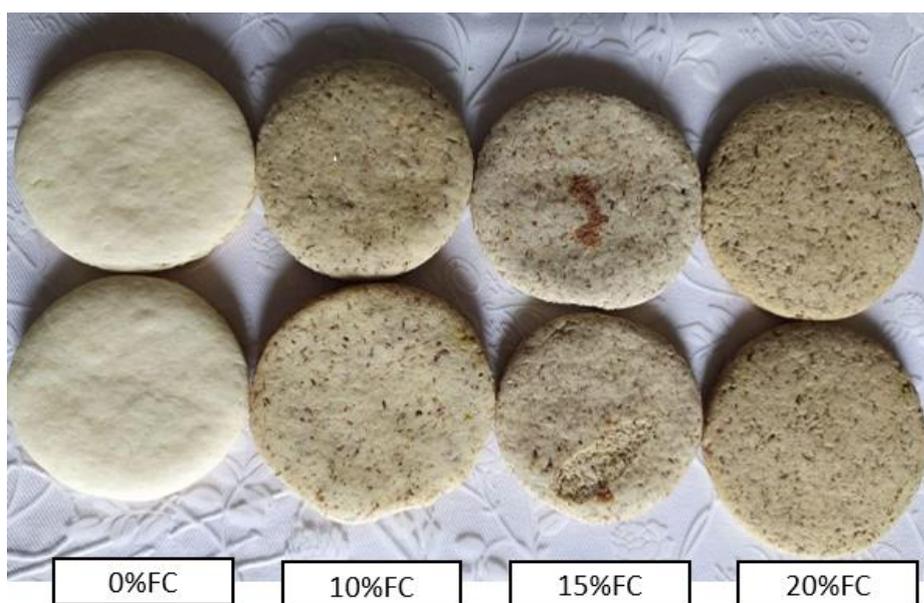


FC : Farine de criquet

Fig. 29 : Biscuits formulés par incorporation de la farine de *Schistocerca gregaria* à différents taux.

- *Locusta migratoria*

Formule	Classement
L0 (0% de la farine de criquet)	3
L1 (10% de la farine de criquet)	2
L2 (15% de la farine de criquet)	1
L3 (20% de la farine de criquet)	4



FC : Farine de crickets

Fig. 30: Biscuits formulés par incorporation de la farine de *Locusta migratoria* avec différents taux.

V.2.4. Résultats des Analyses statistiques

Les résultats des analyses statistiques des différents paramètres physiques des biscuits formulés sont présentés dans les tableaux et les figures de logiciel, suivants :

a) *Locusta migratoria*

Humidité

Tableau n° 12 : Résultats de l'analyse statistique de humidité de *Locusta migratoria*

	Degr. OfFreedom	Humidité(%)-SS	Humidité (%) - MS	Humidité (%) - F	Humidité (%) - p
Pourcentage (%)	3	47,9985	15,9995	98,671	0,000001
Error	8	1,2972	0,1622		
Total	11	49,2957			

Tukey HSD test; variable Humidité (%) (Spreadsheet5) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,16215, df = 8,0000					
	Pourcentage (%)	Humidité (%) - Mean	1	2	3
4	P20	5,39000		****	
3	P15	7,35000			****
2	P10	10,03000	****		
1	P0	10,21000	****		

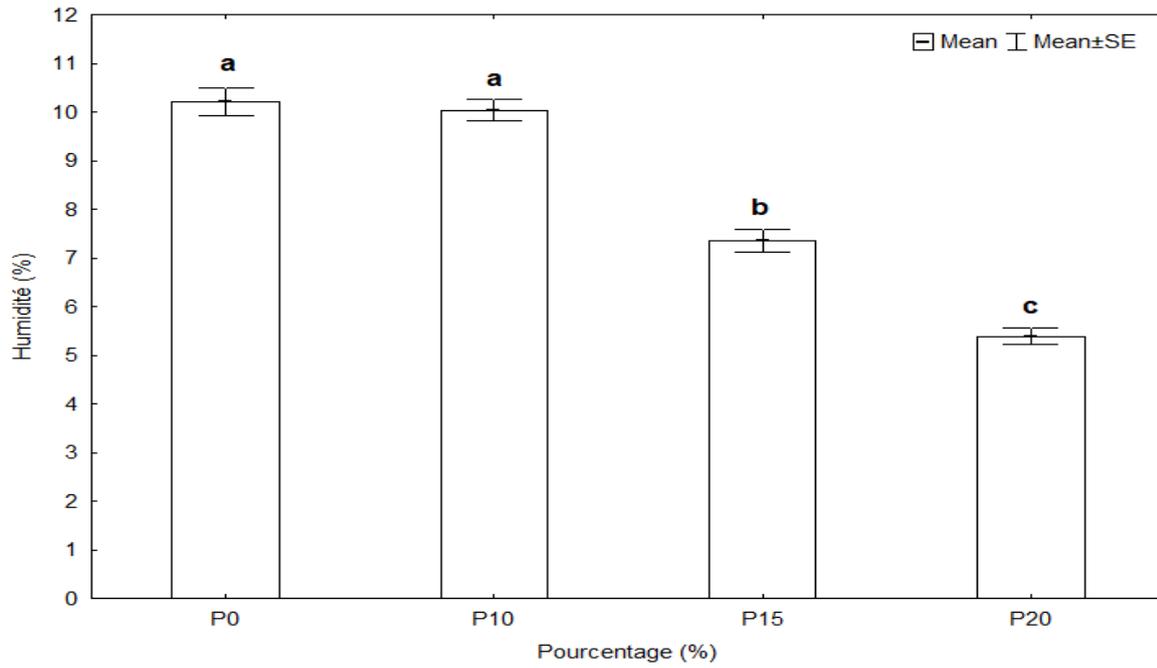


Fig. 31 : Résultats de l’analyse l’anova da l’humidité de *Locusta migratoria*

Diamètre

Tableau n°13 : Résultats de l’analyse statistique de diamètre de *Locusta migratoria*

	Degr. of - Freedom	Diamètre (mm) - SS	Diamètre (mm) - MS	Diamètre (mm) - F	Diamètre (mm) - p
Pourcentage (%)	3	132,18	44,06	5,443	0,024685
Error	8	64,76	8,09		
Total	11	196,94			

Tukey HSD test; variable Diamètre (mm) (Spreadsheet5) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 8,0950, df = 8,0000				
	Pourcentage (%)	Diamètre (mm) - Mean	1	2
1	P0	62,00000		****
2	P10	66,30000	****	****
3	P15	70,00000	****	
4	P20	70,10000	****	

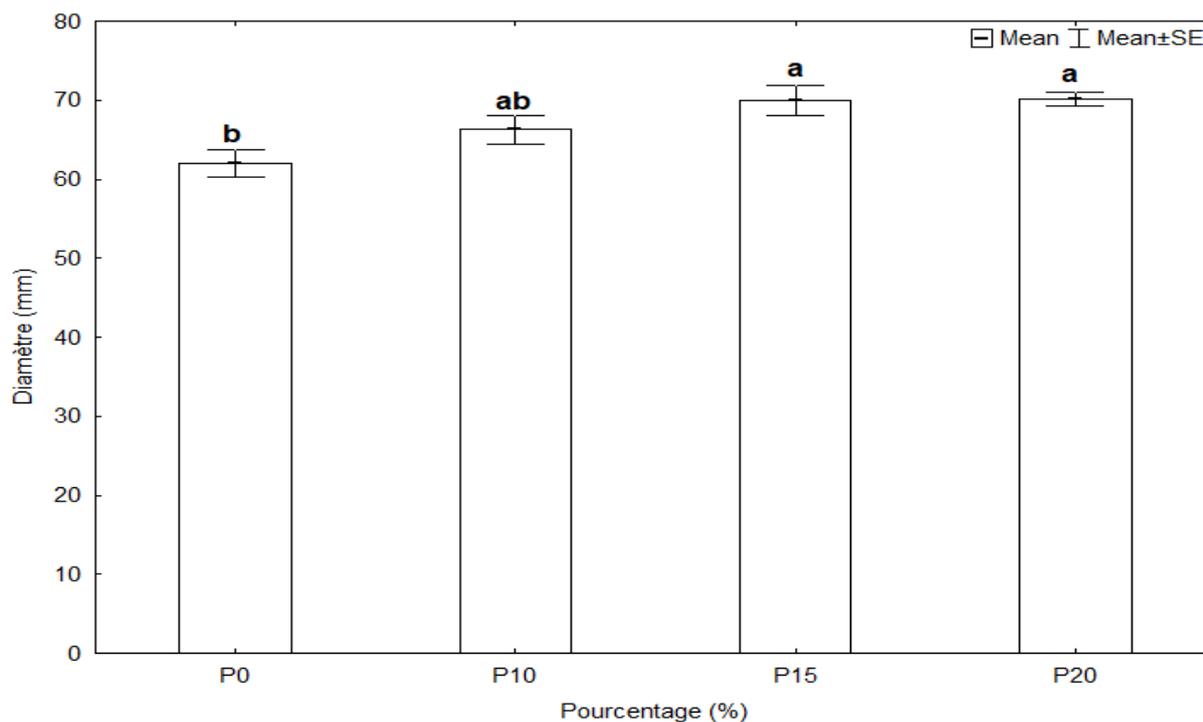


Fig. 32 : Résultats de l’analyse l’anova de diametre de *Locusta migratoria*

Epaisseur

Tableau n° 14 : Ré sultats de l’analyse statistique de l’épaisseur de *Locusta migratoria*

	Degr. of - Freedom	Epaisseur (mm) - SS	Epaisseur (mm) - MS	Epaisseur (mm) - F	Epaisseur (mm) - p
Pourcentage (%)	3	12,540	4,180	9,137	0,005802
Error	8	3,660	0,458		
Total	11	16,200			

Tukey HSD test; variable Epaisseur (mm) (Spreadsheet5) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,45750, df = 8,0000				
	Pourcentage (%)	Epaisseur (mm) - Mean	1	2
4	P20	8,10000		****
3	P15	10,00000	****	
2	P10	10,30000	****	
1	P0	10,80000	****	

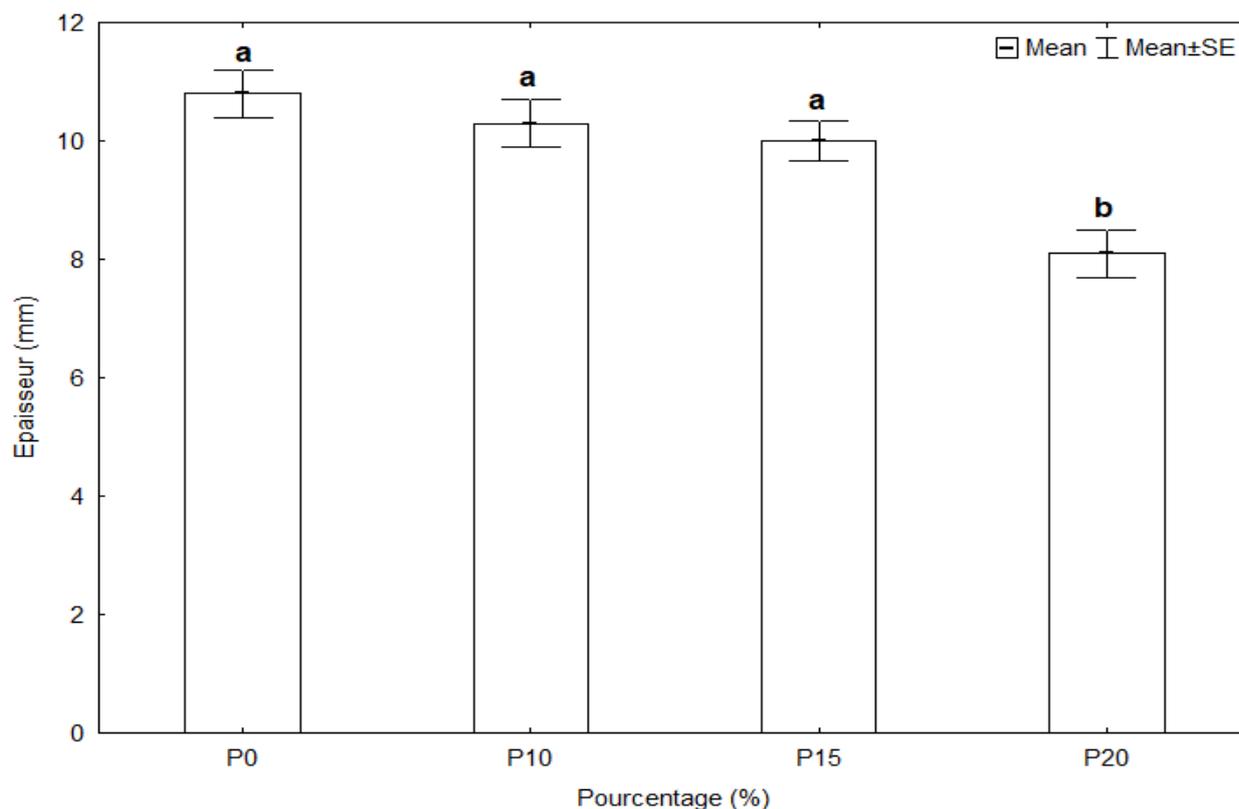


Fig. 33 : Résultats de l’analyse l’anova de l’épaisseur de *Locusta migratoria*

b) *Schistocerca gregaria*

Humidité

Tableau n° 15 : Résultats de l’analyse statistique de l’humidité de *Schistocerca gregaria*

	Degr. of - Freedom	Humidité (%) - SS	Humidité (%) - MS	Humidité (%) - F	Humidité (%) - p
Pourcentage (%)	3	51,7315	17,2438	39,387	0,000039
Error	8	3,5024	0,4378		
Total	11	55,2339			

Tukey HSD test; variable Humidité (%) (Spreadsheet5) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,43780, df = 8,0000				
	Pourcentage (%)	Humidité (%) - Mean	1	2
4	P20	5,43667	****	
3	P15	6,74667	****	
2	P10	10,06667		****
1	P0	10,21000		****

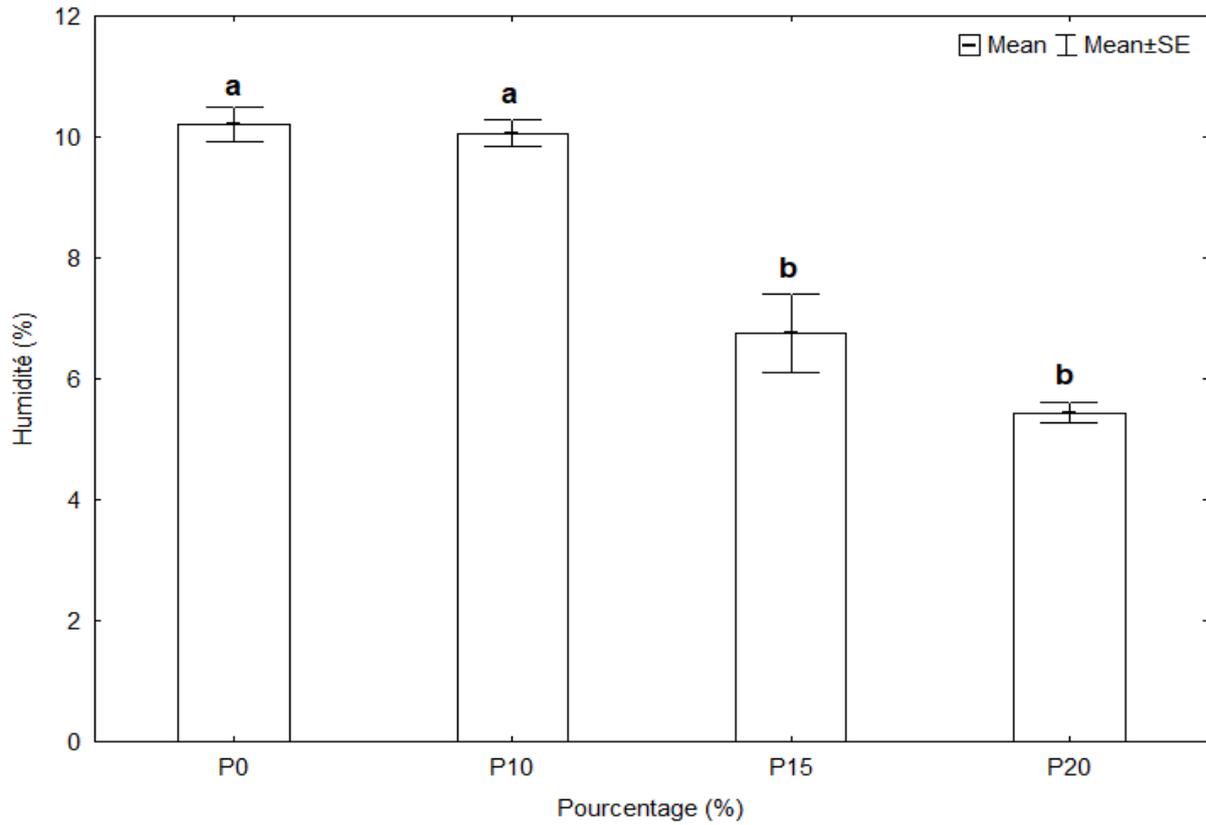


Fig. 34 : Résultats de l'analyse l'anova da l'humidité de *Schistocerca gregaria*
Diamètre

Tableau n° 16 : Résultat de l'analyse statistique de diamètre de *Schistocerca gregaria*

	Degr. of - Freedom	Diamètre (mm) - SS	Diamètre (mm) - MS	Diamètre (mm) - F	Diamètre (mm) - p
Pourcentage (%)	3	34,30	11,43	1,405	0,310693
Error	8	65,11	8,14		
Total	11	99,41			

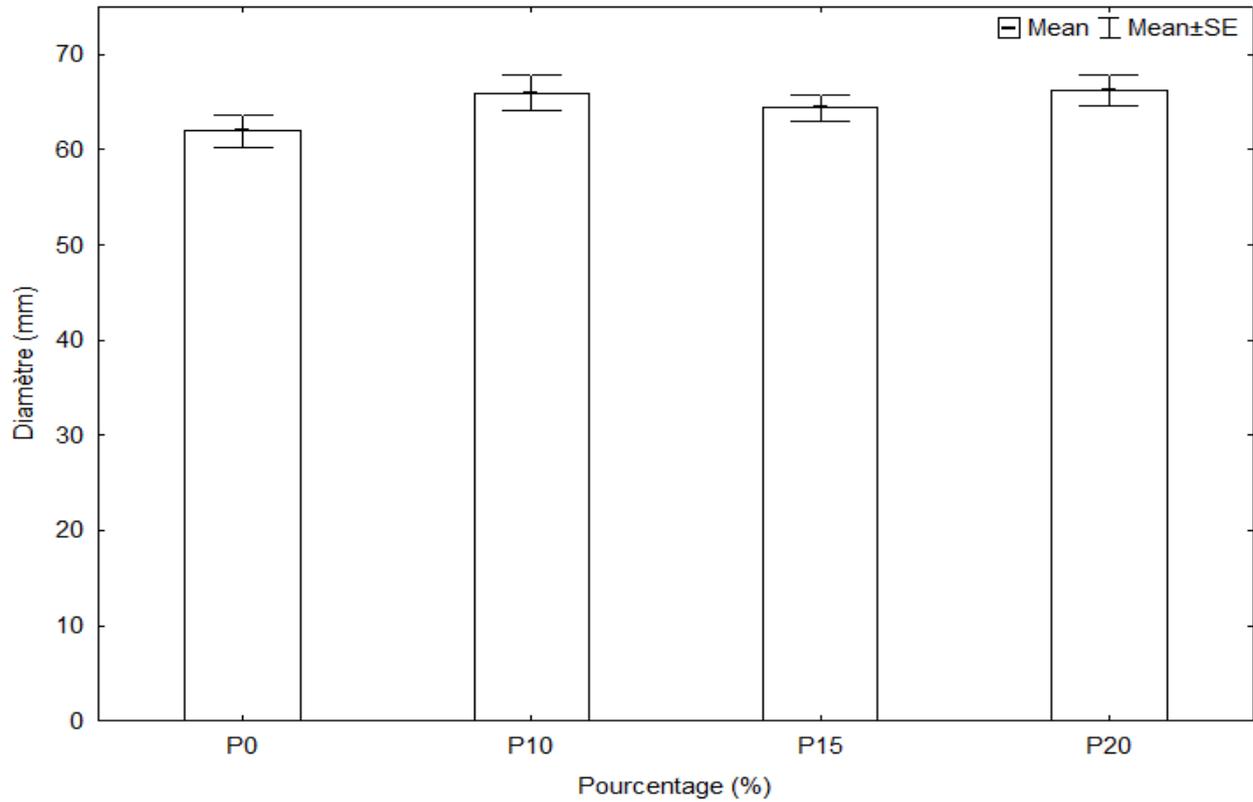


Fig. 35 : Résultats de l’analyse l’anova da diamètre de *Schistocerca gregaria*

Epaisseur

Tableau n°17 : Résultats de l’analyse statistique de l’épaisseur de *Schistocerca gregaria*

	Degr. of - Freedom	Epaisseur (mm) - SS	Epaisseur (mm) - MS	Epaisseur (mm) - F	Epaisseur (mm) - p
Pourcentage (%)	3	42,420	14,140	29,105	0,000118
Error	8	3,887	0,486		
Total	11	46,307			

Tukey HSD test; variable Epaisseur (mm) (Spreadsheet5) Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = ,48583, df = 8,0000				
	Pourcentage (%)	Epaisseur (mm) - Mean	1	2
4	P20	8,03333	****	
3	P15	8,30000	****	
1	P0	10,80000		****
2	P10	12,60000		****

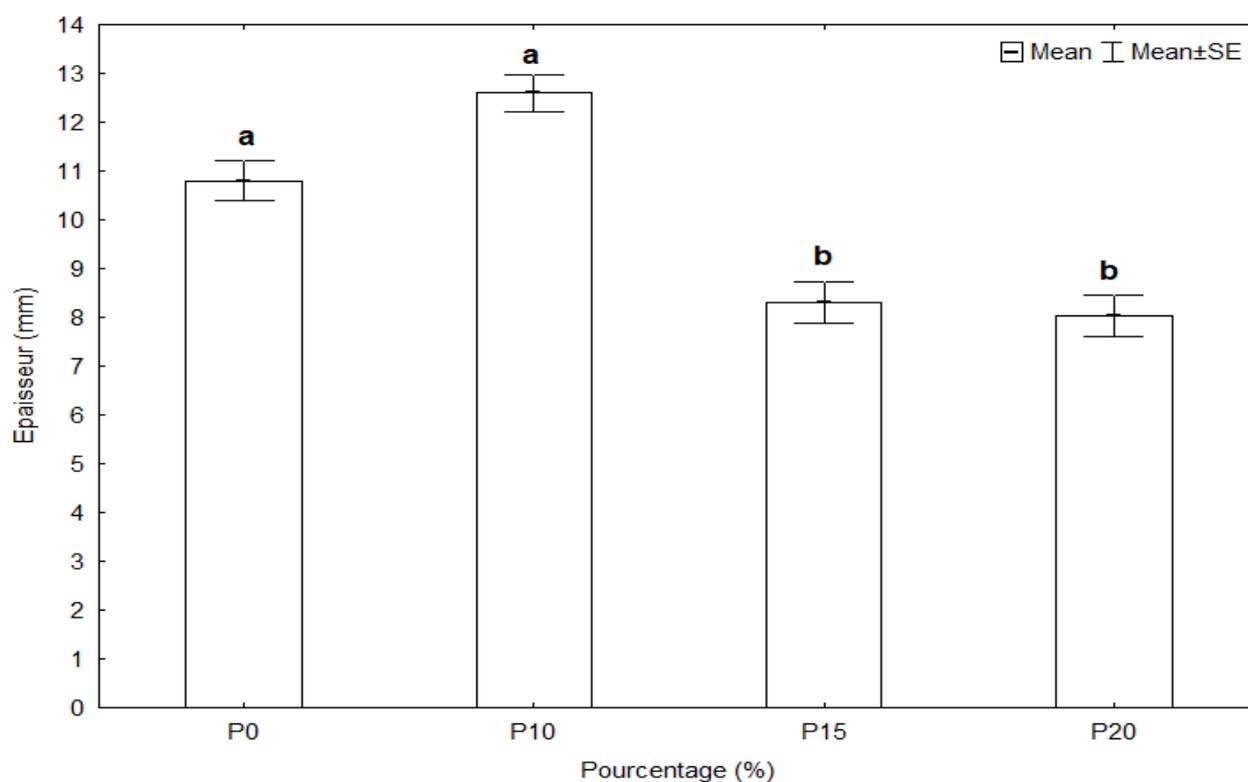


Fig. 36 : Résultats de l'analyse l'anova da l'épaisseur de *Schistocerca gregaria*

L'analyse statistique des caractéristiques physiques des différents biscuits formulés par l'incorporation de la poudre de *Locusta migratoria* a révélé une différence hautement significative au seuil de 5 % entre les différents biscuits pour les paramètres physiques (Humidité et épaisseur) et une différence significative pour le paramètre Diamètre. Nous pouvons donc dire que l'augmentation du taux d'incorporation de la farine de *Locusta migratoria* entraîne une diminution hautement significative des valeurs obtenues pour l'humidité et l'épaisseur et une augmentation significative des valeurs obtenues pour le paramètre diamètre.

Il ressort de l'analyse statistique des différents paramètres physiques des biscuits produits par l'incorporation de la farine de *Schistocerca gregaria* une différence hautement significative au seuil de 5 % entre les différents biscuits pour les deux paramètres physiques déterminés (Humidité et épaisseur) et une différence non significative au seuil de 5% pour le paramètre diamètre. On peut donc conclure que l'augmentation du taux d'incorporation de la farine de *Schistocerca gregaria* entraîne une diminution hautement significative des valeurs obtenues

pour l'humidité et l'épaisseur. L'incorporation de la farine de *Schistocerca gregaria* n'influence pas sur le diamètre des biscuits produits.

V.3. Discussion générale

Les résultats des travaux précédents de plusieurs chercheurs ont confirmé que l'incorporation de la farine des d'insectes dans des produits alimentaires permet d'améliorer leur valeur et qualité nutritionnelle (Tan et *al.*, 2016). La fabrication des produits à base d'insectes a été commencée par des produits alimentaires familiers tels que le pain (Cappelli et *al.*, 2020), les saucisses (Choi et *al.*, 2017), les pâtes (Smarzy et *al.*, 2019), les produits de boulangerie (Delicato et *al.*, 2020), les barres de snacks (Adámek et *al.*, 2018) et les snacks à base de céréales (Severimi et *al.*, 2018). La recherche de la façon de les enrichir avec des farines d'insectes serait donc un bon point de départ. Aujourd'hui, plusieurs travaux sur la formulation des aliments à base d'insectes sont cités dans plusieurs publications. Il est utile de citer les travaux de Ayeiko et *al.* (2010) qui ont élaboré des biscuits et des petits pains à base de termites et les travaux de Kim et *al.* (2017), qui ont visé l'enrichissement de yaourt avec la sauterelle *Oxya chenensis*.

Dans le but de garantir une sécurité hygiénique et un niveau de qualité organoleptique, des analyses microbiologiques ont été effectuées sur la farine des deux espèces de criquets : *Schistocerca gregaria* et *Locusta migratoria*, ainsi que sur le produit enrichi par les deux farines. Les résultats des analyses microbiologiques des échantillons analysés montrent une absence totale des coliformes totaux et les germes pathogènes : *Escherichia coli*, Streptocoques fécaux, *Staphylococcus aureus* et les Salmonelles. Les résultats montrent aussi une légère présence de FAMT et une faible quantité de levures et moisissures. Ces valeurs notées ne dépassent pas les normes précisées par le journal officiel. Donc, on peut conclure selon les résultats obtenus pour ces deux criquets *S. gregaria* et *L. migratoria* que leurs farines produites sont de très bonne qualité microbiologique. D'autres parts les résultats obtenus pour les biscuits enrichis par la farine *L. migratoria* et *S. gregaria* montrent une faible présence des germes aérobies pour les différentes formulations. Il est à noter également une absence totale des germes pathogènes, coliformes et moisissures dans toutes les formulations produites. En outre, le présent travail note une faible présence des levures et moisissures dans les biscuits enrichis par la farine de *Schistocerca gregaria* pour les différents pourcentages (10%, 15% et 20%). Ces levures et moisissures sont absents dans les produits formulés par la farine de *Locusta migratoria*.

Les résultats du test sensoriel des différents échantillons élaborés par des taux d'incorporation des farine d'insectes (*Locusta migratoria* et *Schistocerca gregaria*) ont montré que les biscuits à base de farine de *Locusta migratoria* sont appréciés agréablement par l'ensemble des dégustateurs. Le biscuit type L2 (15% de la farine de *Locusta migratoria*) se caractérise par un

très bon goût, un bon aspect, une bonne croustillance et une bonne couleur, c'est le biscuit le plus préféré.

Selon les analyses physique et statistique, on note une différence significative entre les différents biscuits formulés par la farine de *Locusta migratoria* pour tous les paramètres physiques déterminés (Humidité, épaisseur et diamètre). Ce qui montre que l'incorporation de la farine de criquet a un effet sur les caractéristiques des biscuits élaborés. On remarque aussi que l'épaisseur diminue proportionnellement avec l'augmentation des taux d'incorporation des farines, cette diminution serait due à la faible capacité de gonflement de la farine d'insecte. Ces résultats sont en accord avec ceux rapporté par Dewi *et al.* (2020) sur les biscuits formulés par l'incorporation de la farine de *Melanoplus cinereus*. Le présent travail souligne aussi l'influence significativement de la farine de *Schistocerca gregaria* sur les paramètres humidité et épaisseur des biscuits obtenus. Il est à rappeler que cette farine n'a pas un effet sur le diamètre des biscuits formulés. Ces résultats sont légèrement différents de ceux mentionnés par Ogunlakin *et al.* (2018) sur les biscuits formulés par l'incorporation de la poudre de termite *Macrotermes nigeriensis*.

Conclusion
et perspectives

Conclusion et Perspectives

Les insectes comestibles peuvent très bien être une solution alternative pour résoudre les problèmes alimentaires mondial comme la dénutrition ou la famine.

Ce mémoire de fin de cycle en biotechnologie microbienne a pour but de valorisation de la farine de deux espèces d'insectes *Schistocerca gregaria* et *Locusta migratoria* dans l'alimentation humaine. Pour cela, nous avons réalisé des analyses microbiologiques de ces farines d'insectes et on les a incorporées dans différentes formulations de biscuits secs.

Le contrôle microbiologique des échantillons analysés a montré qu'ils sont de bonne qualité microbiologique vu l'absence de Salmonelle, Streptocoques, *Staphylococcus aureus* ainsi que le faible nombre des autres germes (les valeurs ne dépasse pas les normes).

D'après les résultats des analyses physiques, microbiologiques et le test sensoriel effectué sur les différentes formulations de biscuit élaboré, nous pouvons donc conclure que :

-L'ajout de la farine de criquet pourrait modifier ou améliorer les propriétés physiques (diamètre, épaisseur, volume) des biscuits formulés.

- Les biscuits enrichis par la poudre d'insecte étaient de qualité microbiologique satisfaisante.

- L'incorporation de la farine d'insectes modifie et améliore les caractéristiques organoleptiques des biscuits formulés. Dans notre cas, la formulation L2 (15% de farine) est la plus appréciée par les dégustateurs.

Après avoir présenté les résultats les plus importants de cette recherche en détail, qui pourront servir de guide aux étudiants et chercheurs en leur permettant d'acquérir plus de connaissances approfondies sur ce sujet. Ce travail reste à compléter en avenir par des études sur les aspects manquants, Pour cela, en perspective il serait souhaitable de :

- ✓ Compléter ce travail avec des analyses biochimiques approfondies qui permettront de mieux connaître la composition nutritionnelle des insectes comestibles.
- ✓ Suivre et déterminer la date limite de consommation de la farine et de biscuit fabriqué.
- ✓ Il serait intéressant d'étudier en détail la granulométrie des farines d'insectes
- ✓ Il serait aussi intéressant de formuler d'autres aliments à base d'insectes comme les salés, les friandises...

Références bibliographiques

Références bibliographiques

A

- AACC., 1995. Approved methods of the American Association of cereal chemists .10ed. method 44-15a: 132p.
- Aboudaou M., 2011. Essai d'incorporation du germe du blé tendre dans une farine à tendance biscuitière. Thèse de Magistère, Ecole Nationale Supérieure Agronomique (E.N.S.A), El Harrach, 106 p.
- Adalla C. B. and Cervancia C. R., 2010. Philippine edible insects: a new opportunity to bridge the protein gap of resource-poor families and to manage pests. Forest Insects as Food: Humans Bite Back, Chiang-Mai, Thailand, 151 p.
- Adámek M., Adámková A., Mlček J., Borkovcová M. and Bednářová M., 2018. Acceptability and sensory evaluation of energy bars and protein bars enriched with edible insect Potravinarstvo Slovak. Journal of Food Sciences, 12: 431-437.
- Adámková A., Mlcek J., Kouřimská L., Borkovcová M., Bušina T., Adámek M., Bednářová M. and Krajsa J., 2017. Nutritional potential of selected insect species reared on the island of Sumatra. International journal of Environmental Research and Public Health, 14 (5), 521.
- Ademolu K. O., Idowu A. B. and Olatunde G. O., 2010. Nutritional value assessment of variegated grasshopper, *Zonocerus variegatus* (L.) (Acridoidea, Pygomorphidae), during post-embryonic development. African Entomology, 18 (2) : 360-364.
- AFSSA, 2007. Mise sur le marché d'insectes et de denrées à base d'insectes pour la consommation humaine. Agence fédérale pour la sécurité de la chaîne alimentaire.
- Ajila C.M., Aalami M., Leelavathi K. and Rao U.P., 2010. Mango peel powder: A potential source of antioxidant and dietary fiber in macaroni preparations. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 11(1): 219-224.
- Akhtar Y. and Isman M. B., 2018. Insects as an alternative protein source. Ed. Elsevier, Canada, 288 p.
- Alexander P., Brown C., Arneth A., Dias C., Finnigan J., Moran D. and Rounsevell M. D., 2017. Could consumption of insects, cultured meat or imitation meat reduce global agricultural land use? Global Food Security, 15: 22-32.
- Alexandratos N. and Bruinsma J., 2012. World agriculture towards 2030/2050. Aroof Copy, 12 (03): 1-151.

Références bibliographiques

- Ali A., Mohamadou B.A., Saidou C., Aoudou Y. and Tchiegang C., 2010. Physicochemical properties and safety of grasshoppers, important contributors to food security in the far North Region of Cameroon. *Research Journal of Animal Sciences*, 4 : 108-111.
- ANSES, 2015. Avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à « la valorisation des insectes dans l'alimentation et l'état des lieux des connaissances scientifiques sur les risques sanitaires en lien avec la consommation des insectes. Ed. Maisons-Alfort, France, 42 p.
- Appert J. et Deuse J., 1982. Les ravageurs des cultures vivrières et maraichères sous les tropiques. Ed. Maisonneuve & Larousse, Paris, 420 p.
- Araujo Y. and Becerra Y. P., 2007, Diversidad de invertebrados consumidos por las etnias Yanomami y Yekuana del alto Orinoco, Venezuela, *Interciencia*, 32 (5): 318-323.
- Ardent E. K., Renzetti S. and Fabio D.B., 2009. Dough microstructure and textural aspects of gluten-free yeast bread and biscuits. In Gallagher E, gluten-free. Ed. *Food Science and Technology*, Wiley-Blackwell, 107 - 125p.
- Armand B. and Germain M., 1992. Le blé : éléments fondamentaux et transformation. Ed. Presses de l'Université Laval, Québec, 439 p.
- Ayeiko M., Orriao V. and Nyambuga I. A., 2010. Processed products of termites and lake flies: improving entomophagy for food security within the Lake Victoria region. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 10 (2): 2085-2098.
- Ayensu J., Lutterodt H., Annan R.A., Endusei A. and Loh S.P., 2019. Nutritional composition and acceptability of biscuits fortified with palm weevil larvae (*Rhynchophorus phoenicis Fabricius*) and orange –fleshed sweet potato among pregnant women. *Food Science and Nutrition*, 7(5):1807-1815.
- Azzollini D., Derossi A., Fogliano V., Lakemond C.M. and Severini C., 2018. Effects of formulation and process condition on microstructures, texture and digestibility of extruded insect-mixed snacks. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 45: 344-353.

B

- Balachowsky A. et Mesnil L., 1936. Les insectes nuisibles aux plantes cultivées, leurs mœurs, leur destruction. Ed. Etablissement Busson, Paris, 1141-1921 p.
- Barre A., Caze-Subra S., Gironde C., Bienvenu F., Bienvenu J. et Rougé P., 2014. Entomophagie et risque allergique. *Revue Française d'Allergologie*, 54 (4) : 315-321.
- Bawa M., Songsermpong S., Kaewtapee C. and Chanput W., 2020. Nutritional, sensory, and texture quality of bread and cookie enriched with house cricket (*Acheta domesticus*) powder. *Journal of food processing and preservation*

Références bibliographiques

- Beaumont A. et Cassier P., 2009. Travaux pratique de biologie animale : zoologie, embryologie, histologie. Ed. Dunod, Paris, 502 p.
- Bednářová M., Borkovcová M., Komprda T., 2014. Purine derivate content and amino acid profile in larval stages of three edible insects. *Journal Science Food Agriculture*, 94 (1): 71-76.
- Bednářová M., Borkovcová M., Mlček J., Rop O. and Zeman L., 2013. Edible Insects-Species suitable for entomophagy under condition of Czech Republic. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 61(3): 587-593.
- Beenackers M.T.A., Van der Horst D.J. and Van Marrewijk W.J., 1985. Insect lipids and lipoproteins, and their role in physiological processes. *Progress in Lipid Research*, 24 : 19-67.
- Bellmann H. et Luquet G., 1995. Guide des Sauterelles, Grillons et Criquets d'Europe Occidentale. Ed. Delachaux et Niestle, Lausanne, 384 p.
- Bellmann H., 2006. Insectes et principaux arachnides. Ed. Vigot, 440 p.
- Belluco S., Losasso C., Maggioletti M., Alonzi C.C., Paoletti G.M. and Ricci A., 2013. Edible insects in a food safety and nutritional perspective: A critical review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12 (3): 296-313.
- Ben Mbarek S. et Deboub I., 2015. Valorisation des sous-produits du palmier dattier et leurs utilisations. Thèse de Magistère, Université Echahid Hamma Lakhdar, El-Oued, 89 p.
- Benhalima T., 2006. Problématique du criquet pèlerin et stratégie de lutte préventive. Conf. Rég. Appr. Lutt. Integr. Criq. Pèler., Commissar. Energ. atom., Alger, 23 (1) : 3-5.
- Benkadri S., 2010. Contribution à la diversification de l'alimentation pour enfants coéliquie : fabrication de farine-biscuit sans gluten. Thèse de Magister, Université Mentouri, Constantine, 88 p.
- Berenbaum M., 1993. Over –the –counter insects. *American Entomologist*, 39 (4): 200-202.
- Berenbaum M., 2016. A consuming passion for entomophagy. *American Entomologist*, 62 (3): 140-142.
- Bessa L.W., Pieterse E., Sigge G. and Hoffman L.C., 2017. Insects as human food; from farm to fork. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 10 (14): 5017-5022.
- Beusen A. H., Bouwman A. F., Heuberger P. S., Van Drecht G. and Van Der Hoek K. W., 2008. Bottom-up uncertainty estimates of global ammonia emissions from global agricultural production systems. *Atmospheric Environment*, 42 (24): 6067-6077.
- Bodenheimer F. S., 1951. Insects as human food: A chapter of the ecology of man, The Hague. Ed. Springer, Netherlands, 352 p.

Références bibliographiques

- Bonnemaïson L., 1961. Les ennemis animaux. Des plantes cultivées et des forets. Ed. Sep, Paris, 599 p.
- Borkovcová M., Bednářová M., Fišer V. and Ocknecht P., 2009. Kitchen Variegated by Insects 1, Lynx, Brno.
- Boullaud R., 2018. Les nouveaux comportements alimentaires : la consommation des insectes et des arachnides. Thèse de doctorat. Université de Limoges, France, 158p.
- Boye J. I. and Barbana C., 2012. Protein processing in food and bioproduct manufacturing and techniques for analysis. Food and Industrial Bioproducts and Bioprocessing, 10: 86-113.
- Bukkens S. G.F., 1997. The nutritional value of edible insects. Ecology of Food and Nutrition, 36 (2-4): 287-319.
- Bukkens S.G.F., 2005. Insects in the human diet: nutritional aspects, ecological implications of minilivestock; role of rodents, frogs, snails, and insects for sustainable development. Ed. Science Publisher, New Hampshire 577 p.

C

- Caparros Megido RC., Gierts C., Blecker C., Brostaux Y., Haubruge E., Alabi T. and Francis F., 2016. Consumer acceptance of insect-based alternative meat products in Western countries. Food Quality and Preference, 52: 237-243.
- Cappelli A., Oliva N., Bonaccorsi G., Lorini C. and Cini E., 2020. Assessment of the rheological properties and bread characteristics obtained by innovative protein sources (*Cicer arietinum*, *Acheta domesticus*, *Tenebrio molitor*): Novel food or potential improvers for wheat flour. Food Science and Technology, 118, 19 p.
- Cazaux G., Van Gijsegem D. and Bas L., 2010. Alternatieve eiwitbronnen voor menselijke consumptie: een verkenning. Rapport Department Landbouw en Visserij, Afdeling Monitoring en Studie, 39 p.
- 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 Protection, 27(3-5) : 473-480.
- Cheblaoui Y et Yahiaten N., 2016 : Contribution à la diversification de l'alimentation pour l'enfant cœliaque : fabrication de farine- Biscuit sans gluten, 15-16.
- Chen X., Feng Y. and Chen, Z., 2009. Common edible insects and their utilization in China. Entomological Research, 39 (5): 299-303.

Références bibliographiques

- Choi Y.S., Kim T.K., Choi H.D., Park J.D., Sung J.M., Jeon K.H., Paik H.D. and Kim Y.B., 2017. Optimization of replacing pork meat with yellow worm (*Tenebrio molitor L.*) for frankfurters. *Korean Journal for Food Science of Animal Resource*, 37 : 617-625.
- Chopard L., 1943. Orthoptéroïdes de l'Afrique du Nord. Ed. Libraire Larose, Paris, 447p.
- Chopard L., 1932. La présence du criquet migrateur (*Locusta migratoria L.*) en Normandie. *Bulletin de la Société Entomologique de France*, 37 : 122-123.
- Cicatiello C., De Rosa B., Franco S. and Lacetera N., 2016. Consumer approach to insects as food: Barriers and potentials for consumption in Italy. *British Food Journal*, 118 (9) : 2271–2286.
- Cloutier J., 2015. Insectes comestibles en Afrique : introduction à la collecte, au monde de préparation et à la consommation des insectes. Ed. Agromisa, Wageningen, 125p.
- Collavo A., Glew R. H., Huang Y. S., Chuang L. T., Bosse, R. and Paoletti M. G., 2005. House cricket small-scale farming. In M. G. Paoletti, *Ecological implications of minilivestock: Potential of insects, rodents, frogs and snails*. Ed. Science Publisher, États-Unis, 519-544p.
- Comby B., Messager L., 1990. Délicieux insectes : les protéines du futur. Ed. Jouvence, Genève, Paris, 156 p.
- Costa Neto E.M., 2013. Insects as human food. An overview. *Amazônica - Revista de Antropologia*, 5 (3): 562-582.
- Coutouly G. and Marcussen L., 1998. Biscuits et biotechnologies. Ed. European Initiative for Biotechnology Education, Germany, 29 p.

D

- Da Rosa Machado C. and Thys R.C.S., 2019. Cricket powder (*Gryllus assimilis*) as a new alternative protein source for gluten –free breads. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 56 : 102-180.
- Damasio A.R., 1995. L'erreur de Descartes. *L'orientation scolaire et professionnelle*, 33(3), 477-479.
- Day L., 2013. Proteins from land plants – Potential resources for human nutrition and food security. *Trends Food Science and Technology*, 32 (1): 25-42.
- De Castro R. J. S., Ohara A., Aguilar J. G., dos S. and Domingues M. A. F., 2018. Nutritional, functional and biological properties of insect proteins: Processes for obtaining, consumption and future challenges. *Trends in Food Science and Technology*, 76: 82-89.
- De Gier S. and Verhoecx K., 2018. Insect (food) allergy and allergens. *Molecular Immunology*, 100: 82-106.

Références bibliographiques

- De Gregorio R., 1996. Le criquet pèlerin *Schistocerca gregaria*, biologie et élevage : Durée de développement et rythme de ponte dans les conditions de laboratoire. Ed. C.A.U.P.P.A., Serv. Film Rech. Scien., Paris, 150 p.
- De Guevara O. L., Padilla P., Garcia L., Pino J. M. and Ramos-Elorduy J., 1995. Amino acid determination in some edible Mexican insects. *Amino Acid*, 9 (2): 161-173.
- Defoliart G. R., 1997. An overview of the role of edible insect in preserving biodiversity. *Ecology of Food and Nutrition*, 36 (2-4): 109-132.
- DeFoliart G. R., 2003. Insects as food. *Encyclopedia of Insect.*, Academic Press.
- DeFoliart G. R., 2005. An overview of role of edible insects in preserving biodiversity. In Paoletti M.G., 2007. *Ecological implications of minilivestock: potential of insects, rodents, frogs and snails*. Ed. Science Publishers, New Hampshire, USA, 123-140 p.
- DeFoliart G.R., 1992. Insect-an overlooked food resource. In Adams J., *Insect Potpourri: Adventures in Entomology*. Ed. Sandhill Crane Press, Gainesville, 44-48p.
- Delicato C., Schouteten J.J., Dewettinck K., Gellynck X. and Tzompa-Sosa D.A., 2020. Consumers perception of bakery products with insect fat as partial butter replacement. *Food Qual. Prefer*, 79: 156-166.
- Deroy O., Reade B. and Spence C. H., 2015. The insectivore's dilemma, and how to take the west out of it. *Food Quality and Reference*, 44: 44-55.
- Dewi T., Vidiarti A.N., Fitranti D. Y., Kurniawati D.M .and Anjani G., 2020. Formulation of baby biscuits with substitution of wood grasshopper flour (*Melanoplus cinereus*) as an alternative complementary food for children. *Food Research*, 4 (3):114-122.
- Dirsh V. M. et Descamps M., 1968. *Insectes Orthoptères Acridoidea, Faune de Madagascar*. Paris, 312 p.
- Dirsh V. M., 1975. *Classification of the acridomorphoid insects*. Ed. Oxprint Limited, Britain, 171 p.
- Duda A., Adamczak J., Chelminska P., Juskiewicz J. and Kowalczewski P., 2019. Quality and nutritional textural properties of durum wheat pasta enriched with cricket powder. *Foods*, 8(2),46 p.
- Dugour D., 2009. *Préventions des emballages l'engagement des fabricants des biscuits et gâteaux*, Le syndicat des biscuits et gâteaux de France, 8p.
- Duranton J. F. et Lecoq M., 1990. *Criquet pèlerin au Sahel*. Ed. Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), Montpellier, 183 p.

Références bibliographiques

- Duranton J. F., Launois M., Launois-Luong M. H. et Lecoq M., 1982. Manuel de prospection acridienne en zone tropicale sèche. Ed. CIRAD / PRIFAS, G.E.R.D.A.T, Paris, 695 p.
- Duranton J. F., Launois M., Launois-Luong M. H., Lecoq M. et Rachadi T., 1987. Guide antiacridien du Sahel. Ed. CIRAD, G.E.R.D.A. T, Montpellier, 343 p.
- Dzerefos C. M., Kwiatkowski E. T., and Toms R., 2013. Comparative ethno entomology of edible stinkbugs in southern Africa and sustainable management considerations. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, vol. 9, 20 p.

E

- Eissa S. H. H., 2007. The toxicity of mercury on the sea-urchin gametes and embryos. *The Egyptian Journal Experim Biol*, 3 , 37-42.
- Ekpo K., Onigbinde A. O., and Asia I. O., 2009. Pharmaceutical potentials of the oils of some popular insects consumed in southern Nigeria. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology Pharmacy & Pharmacology*, 3 (2), 51-57.
- Ekpo K., Onigbinde A.O., 2005. Nutritional potentials of the larva of *Rhynchophorus phoenicis* (F). *Pakistan Journal of Nutrition*, 4(5): 287-289.

F

- Fallon A. E., Rozin P., and Pliner P., 1984. The child's conception of food: The development of food rejections with special reference to disgust and contamination sensitivity. *Child Development*, 566-575.
- FAO., 2008. Fats and fatty acids in human nutrition: Report of an expert consultation. Section publication.
- FAO., 2013. Edible insects. Future prospects for food and feed security. FAO Forestry Paper. Rome, 201 p
- FAO., 2014. Insectes comestibles : Perspectives pour la sécurité alimentaire et l'alimentation animale. FAO, section Publications.
- FAO., 2009. How to feed the world in 2050? Paper presented at the High Level Expert Forum, Rome, Italia.
- Feillet P., 2000. Le grain de blé, composition et utilisation. Ed. INRA, Paris, 308 p.
- Fellows P., 2000. Food Processing Technology Principles and Practice. Ed. Wood head Publishing, Cambridge England. 575p.
- Finke M. D. and Oonincx D., 2014. Insects as food for insectivores. In Morales-Ramos J., Rojas G. and Shapiro-Ilan D. I., *Mass Production of Beneficial Organisms*. Ed. Elsevier, San Diego, 583-616 p.

Références bibliographiques

- Finke M. D., 2002. Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores. *Zoo Biology*, 21(3), 269-285.
- Finke M. D., 2007. Estimate of chitin in raw whole insects. *Zoo Biology*, 26 (2): 105-115.
- Finke M. D., 2013. Complete Nutrient Content of Four Species of Feeder Insects. *Zoo Biology*, 32 (1): 27-36.
- Finke M.D., and Oonincx D., 2017. Nutrient content of insects. In van Huis A. and Tomberlin J. K., *Insects as food and feed: from production to consumption*. Ed. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, 290-316 p.
- Fombong F. T., Van Der Borght M. and Broeck J. V., 2017. Influence of Freeze-Drying and Oven-Drying Post Blanching on the Nutrient Composition of the Edible Insect. *Ruspolia Different Insects*, 8(3): 102.
- Fontaneto D., Tommaseo-Ponzetta M., Galli C., Rise P., Glew R. H. and Paoletti M. G., 2013. Differences in fatty acid composition between aquatic and terrestrial insects used as food in human nutrition. *Ecology of Food and Nutrition*, 50: 351-367.
- Francis F., Doyen V., Debaugnies F., Mazzucchelli G., Caparros R., Alabi T., Blecker C., Haubruge E. and Gorazza F., 2019. Limited cross reactivity among arginine kinase allergen from mealworm and cricket edible insect. *Food Chemistry*, 276: 714-718.
- Fraval A., Aguilar J., 2004. *Glossaire entomologique*. Delachaux et Niestlé SA. 175p
- Fustier P. J., 2006. Influence des fractions de mouture de blé tendre (farine patente, Decoupure et basse) sur les propriétés rhéologiques des pâtes et caractéristiques des biscuits. Thèse de Doctorat, Université Laval, Québec, 54 p.

G

- Gahukar R. T., 2011. Entomophagy and human food security. *International Journal of Tropical Insect Science*, 31: 129-144.
- Gallagher E., 2008. Formulation and nutritional aspects of gluten-free cereal products and infant foods. In Ardent E. K. and Fabio D. B., *Gluten Free Cereal Products and Beverages*. Ed. Academicpress, Elsevier, 321-341p
- Gallagher E., Gormley T. R. and Arendt E. K., 2004. Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. *Trends in Food Science & Technology*, 15 : 143-152.
- Gallen C. et Gallen P. S., 2015. La comestibilité des insectes : étude exploratoire chez les jeunes consommateurs français, 24 p
- Garofalo C., Milanović V., Cardinali F., Aquilanti L., Clementi, F. and Osimani A., 2019. Current knowledge on the microbiota of edible insects intended for human consumption: A state-of-the-art review. *Food Research International*, 125: 108-527.

Références bibliographiques

- Garofalo C., Osimani A., Milanović V., Taccari M., Cardinali F., Aquilanti L., Riolo P., Ruschioni S., Isidoro, N. and Clementi F., 2017. The microbiota of marketed processed edible insects as revealed by high-throughput sequencing. *Food Microbiology*, 62: 15–22.
- Gerber P. J., Steinfeld H., Henderson B., Mottet A., Opio C., Dijkman J., Falcucci, A. and Tempio G., 2013. Tackling climate change through livestock: A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Ed. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, 115 p.
- Ghaly A. E., 2009. The use of insects as Human food in Zambia. *Online Journal of Biological Sciences*, 9(4): 93–104.
- Ghidhaoui H., 1990. Elevage du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) et impact de divers substrats alimentaires sur la reproduction. Mémoire ingénieure, ISH, Sousse, 44 p.
- Giaccone V., 2005. Hygiene and health features of minilivestock. *Ecological Implications of Minilivestock: Role of Rodents, Frogs, Snails, and Insects for Sustainable Development*. Ed. Science Publishers, New Hampshire, 598 p.
- Gonzalez C.M., Garzon R., and Rosell C.M., 2018. Insects as ingredients for bakery goods, a comparison study of *H. illucens*, *A. domestica* and *T. molitor* flours. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 51: 205-210.
- Goodman W.G., 1989. Chiin: a magic bullet?. *Food Insects*, 6-7.
- Grabowski N. T. and Klein G., 2016. Microbiology of cooked and dried edible Mediterranean field crickets (*Gryllus bimaculatus*) and superworms (*Zophobas atratus*) submitted to four different heating treatments. *Food Science and Technology International*, 23 (1): 17–23.
- Grabowski N.T. and Klein G., 2017. Bacteria encountered in raw insect, spider, scorpion, and centipede taxa including edible species, and their significance from the food hygiene point of view. *Trends in Food Science & Technology*, 63: 80-90
- Grafton R. Q., Daugbjerg C. and Qureshi M. E., 2015. Towards food security by 2050. *Food Secur*, (7): 179-183.
- Grasse P.P., 1949. *Traité de zoologie : Anatomie, systématique, biologie*. Ed. Masson et Cie, Paris, 1117 p.
- Guiraud J. P., 1998. *Microbiologie alimentaire. Microbiologie des principaux Produits laitiers*. Edition, Dunod, Paris. 210 p.

Références bibliographiques

- Habou Z.A., Tougiani A., Seydou R. et Toudo A., 2015. Une évaluation de Criquets comestibles au Niger: *Ornithacris turbida cavroisi* (Finot, 1907), *Anacridium melanorhodon* (Walker, 1870) et *Accanthacris ruficornis citrina* (Serville, 1838). *Journal of Applied Biosciences*, 90 :8348- 8354.
- Halloran A., Vantomme P., Hanboonsong Y., and Ekesi S., 2015. Regulating edible insects: the challenge of addressing food security, nature conservation, and the erosion of traditional food culture. *Food Security*, 7(3), 739-746.
- Hanson B. J., Cummins K. W., Cargill A. S. and Lowry R. R., 1985. Lipid content, fatty acid composition, and the effect of diet on fats of aquatic insects. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry*, 80 (2): 257-276.
- Hartmann C. and Siegrist M., 2016. Becoming an insectivore: Results of an experiment. *Food Quality and Preference*, 51:118-122.
- Harz K., 1975. Die Orthopteren Europas II - The Orthoptera of Europe II Series. *Entomologica*, 11 (1): 9-39.
- Homman A.M., Ayieko M.A., Konyole S.O. and Roos N., 2017. Acceptability of biscuits containing 10% crickets (*Acheta domesticus*) compared to milk biscuits among 5-10-years-old Kenyan schoolchildren. *Journal of Insect as Food and Feed*, 3(2): 95-103.
- Hwangbo J., Hong E. C., Jang A., Kang H. K., Oh J. S., Kim B.W. and Park B. S., 2009. Utilization of house fly-maggots, a feed supplement in the production of broiler chickens. *Journal of Environmental Biology*, 30 (4): 609-614.

I

- Illgner P. and Nel E., 2000. The geography of edible insects in sub-Saharan Africa: a study of the mopane caterpillar. *The Geographical Journal*, 166 (4) : 336-351.

J

- Jean-François M., 1994. Influence de la granulométrie du sucre en biscuiteries sèche. 3eme Ed. La Cristallisation, Paris, 52 p
- Johansson S. G., Bieber T., Dail R., Friedman P. S., Lanier B. Q. and Lokey R. F., 2004. Revised nomenclature for allergy for global use: report of the nomenclature Review committee of the world allergy organization. *Journal Allergy Clin. Immunol*, 113: 832-836.
- Johnson D.V., 2010. The contribution of edible insects to human nutrition and to forest management. *Forest Insects as Food. Proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and their potential for food development*. Ed. Human Bite Back, Bangkok, 522p.
- Jongema Y., 2012. List of edible insect Species of the world Wageningen, Laboratory of Entomology, Wageningen University, the Netherlands.

Références bibliographiques

- Jongema Y., 2015. List of edible insect species of the world. Laboratory of entomology, Wageningen university, the Netherlands
- Jongema, Y., 2017. List of Edible Insect Species of the World. Laboratory of Entomology, Wageningen University.

K

- Kamau E. H., Serrem C. A. And Wamunga F.W., 2017. Rat bioassay for evaluation of protein quality of soy-fortified complementary foods. *Journal Food Research*, 6 (6), 35p.
- Keller U., Battaglia R., Beer M., Darioli R. et Meyer K., 2012. Sixieme rapport sur la nutrition en Suisse. Berne : office fédéral de la santé publique.
- Khan S., Nadir S., Lihua G., Xu J. and Holmes K. A., 2016. Identification and characterization of an insect toxin protein, Bb70p, from the entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana*, using *Galleria mellonella* as a model system. *Journal of Invertebrate Pathology*, 133: 87-94.
- Kiger J. L. et Kiger J. G., 1967. *Techniques modernes de la biscuiterie, pâtisserie-boulangerie industrielles et artisanales et des produits de régime*. Ed. Dunod, Paris, 696 p.
- Kim T. K., Yong H. I., Kim Y. B., Kim H. W. and Choi Y.S., 2019. Edible insects as a protein source: A review of public perception, procession technology, and research trends. *Food Science of Animal Resources*, 39: 521-540.
- Kinyuru J., Kipkoech C., Imathiu S., Konyole S. and Roos N., 2021. Acceptability of cereal-cricket porridge compared to cereal and cereal-milk-porridges among caregivers and nursery school children in Uasin Gishu, Kenya. *International Journal of Tropical Insect Science*, 1-7.
- Klunder H. C., Wolkers-Rooijackers J., Korpela J. M. and Nout M. J .R., 2012. Microbiological aspects of processing and storage of edible insects. *Food Control*, 26: 628-631.
- Kouba M. and Mourot J., 2011. A review of nutritional effects on fat composition of animal products with special emphasis on n-3 polyunsaturated fatty acids. *Biochimie*, 93 (1): 13-17.
- Kouřimská L., Adámková A., 2016. Nutritional and sensory quality of edible insects. *NFS Journal*, 4: 22-26.
- Kuntadi A.Y. and Maharani K. E., 2018. Nutritional compositions of six edible insects in java. *Indonesian Journal of Forestry Research*, 5 (1): 57-68.
- Kupferschmidt K., 2015. Buzz food. *Science*, 350: 267-269.

L

Références bibliographiques

- Ladrón de Guevara O., Padilla P., García L., Pino J. M. and Ramos-Elorduy J., 1995. Amino acid determination in some edible Mexican insects. *Amino Acids*, 9 (2): 161-173.
- Langlade F., 2019. Utilisation des insectes en alimentation humaine : situation actuelle, enjeux et perspectives. Thèse doctorat, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, France, 159 p.
- Lara E., Cortes P., Briones V. and Perez M., 2011. Structural and physical modification of corn biscuits during baking process. *Food Science and Technology*, 44: 622-630.
- Laroche M., Perreault V., Marciniak A., Gravel A., Chamberland J. and Doyen A., 2019. Comparison of Conventional and Sustainable Lipid Extraction Methods for the Production of Oil and Protein Isolate from Edible Insect Meal. *Foods*, 8 (11), 572 p.
- Launois-Luong M. H. and Lecoq M., 1993. Reference manual of OMM codes for transmission of pest *Locusta* data. Ed. WMO and Islamic Educational Sciences and Cultural Organization, Geneva, 138p.
- Launois-Luong M. H. et Lecoq M., 1989. Vade Mecum des criquets du Sahel. Cirad-Prifas. Collection Acridologie Opérationnelle, Montpellier, 125 p.
- Laurent S., Federighi M. et Jouve J. L., 1998. Manuel de bactériologie alimentaire, Polytechnique, Paris.
- Lavalette M., 2013. Les insectes : une nouvelle ressource en protéines pour l'alimentation humaine. Thèse de doctorat, Université de Lorraine, France, 72p.
- Lecoq M., 1991. Le criquet migrateur en Afrique et à Madagascar. Cirad-Prifas, Montpellier, 31p.
- Lee J., Hwand I. H., Kim J. H., Kim M., Hwang J. S., Kim Y.H. and Na M., 2017. Quinoxaline, dopamine, and amino acid-derived metabolites from the edible insect *Protaetia brevitarsis seulensis*. *Archives of Pharma Cal Research*, 40(9): 1064-1070.
- Lehtovaara V. J., Valtonen A., Sorjonen J., Hiltunen M., Rutaro K., Malinga G.M., Nyeko P. and Roininen H., 2017. The fatty acid contents of the edible grasshopper *Ruspolia differens* can be manipulated using artificial diets. *Journal of Insects as Food and Feed*, 3: 253-262.
- Leraut P., 2003. Le guide entomologique. Delachaux et Niestlé, 108 (3), 527.
- Looy H., Dunkel F.V. and Wood J. R., 2013. How then shall we eat? Insect –eating attitudes and sustainable food ways. *Agriculture and Human Values*, 31 : 131-141.
- Louveaux A. and Benhalima T., 1987. Catalogue des orthoptères Acridoidea d'Afrique du Nord. *Ouest. Bull. Soc. Ent.*, 91 (3-4): 73 - 87.

Références bibliographiques

- Maache-Rezzoug Z., Bouvier J. M., Patras C. and Allaf K., 1998a. Effet of principale ingredients on rhological behaviour of biscuit dough and on qualiy of biscuits. Journal of Food Engineering, 35: 23-42.
- Maache-Rezzoug Z., Bouvier J. M., Patras C. and Allaf K., 1998 b. Study of mixing in connection with the rheological properties of biscuit dough and dimensional characteristics of biscuits. Journal of Food Engineering, 35: 43-56.
- Mac-Evilly C., 2000. Bugs in the system. Nutrition Bulletin, 25: 267-268
- Makhado R.A., Potgieter M. J. and Luus-Powell W. J., 2015. Tragelaphus strepsiceros browse during the dry season in the mopani veld of Limpopo Province, South Africa. Transaction of the Royal Society of South Africa, 71: 17-21.
- Makkar H. P. S., Tran G., Heuz V. and Ankers P., 2014. State of the art on use of insects as animal feed. Animal Feed Science and Technology, 197 : 1-33.
- Malaisse F., 2004. Ressources alimentaires non conventionnelles. Tropicultura, 30-36.
- Mallamaire A. et Roy J. (1958). La lutte contre le criquet pèlerin (*Schistocerca gregaria* Forsk.) en Afrique occidentale française. Bulletin de la Protection des Végétaux, 114 p.
- Manohar S. and Rao P. H., 2002. Interrelation ship between rheological characteristics of dough and quality of biscuits; use of elastic recovery of dough to predict biscuit quality. Food Research International, 35: 807-813.
- Martin A., 2001. The apport nutritionnels conseilles (ANC) for the french population. Reproduction Nutrition Development, 41(2) : 119-128.
- Masson M., 1989. Locustes et sautériaux : Le criquet migrateur africain : Biologie et lutte. Ed. Bayer, Hevertusen, 39 p.
- Mekonnen M. M. and Hoekstra A.Y., 2010. The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products. Ed. UNESCO-IHE, 29 p.
- Melis R., Braca A., Mulas G., Sanna R., Spada S., Serra G. and Anedda R., 2018. Effect of freezing and drying processes on the molecular traits of edible yellow mealworm. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 48: 138-149.
- Menard G., Emond S., Segin R., Bolduc R., Boudreau A., Marcous D., Painchaud M. and Poirier D., 1992. La biscuiterie industrielle. Le blé : éléments fondamentaux et transformation. Ed. Presses de l'Université Laval. Sainte-Foy. Canada, 348 p.
- Meyer-Rochow V. B. and Chakravorty J., 2013. Notes on entomophagie and entomotherapy generally and information on the situation in India in particular. Applied Entomology and Zoology, 48 (2): 105-112p

Références bibliographiques

- Mezdour S., Boukil A., Perreault V., Chamberland J., Pouliot Y. and Doyen A., 2020. High Hydrostatic Pressure-Assisted Enzymatic Hydrolysis Affect Mealworm Allergenic Proteins. *Molecules*, 25: 26-85.
- Mitsuhashi J., 2008. *The complete world of entomophagy*. Yasakashobo, Tokyo, Japan, 150p.
- Mlcek J., Rop O., Borkovcova M., and Bednářová M., 2014. A comprehensive look at the possibilities of edible insects as food in Europe – A review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 64(3): 147-157.
- Mohtadji-Lamballais C., 1989. *Les Aliments*. Ed. Maloine, France, 868 p .
- Montesinos J. and Ramos-Elorduy J., 2007. Insects as human food: Short essay on entomophagy, with special reference to Mexico. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, 102(1-4): 61-84.
- Montowska M., Kowalczewski P.L., Rybicka I. and Fornal E., 2019. Nutritional value protein and peptide composition of edible cricket powders. *Food Chemistry*, 289:130-138.
- Much S., 2012. *Insectes comestibles*. Ed. Plume de carotte, Toulouse. 137p.
- Murefu T. R., Macheke L., Musundir R., Manditsera F.A., 2019. Safety of wild harvested and reared edible insect: A review. *Food Control*, 101 : 209-224.

N

- Nakagaki B. J. and Defoliart G. R., 1991. Comparison of diets for mass-rearing *Acheta domesticus* (Orthoptera: Gryllidae) as a novelty food, and comparison of food conversion efficiency with values reported for livestock. *Journal of Economic Entomology*, 84(3): 891–896.
- Ngasse 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*.
- Nowak V., Persijn D., Rittenschober D. and Charrondière U. R., 2016. Review of food composition data for edible insects. *Food Chemistry*, 193: 39-46.
- NVWA., 2012. Advice over de risico's van consumptie van gekweekte insecten, The epidemiology of food allergy in Europe: a systematic review and meta-analysis. *Allergy*, 69: 62-75.

O

- Offenberg J., 2011. *Oecophylla smaragdina* food conversion efficiency: prospects for ant farming. *Journal of Applied Entomology*, 135 (8): 575-581.

Références bibliographiques

- Ogunlakin G. O., Oni V.T. and Olaniyan S.A., 2018. Quality evaluation of biscuit fortified with edible termite (*Macrotermes nigeriensis*). Asian Journal of Biotechnology and Bioresource Technology, 1-7.
 - Olaniyan S. A., Ogunlakin G. O. and Oni V.T., 2018. Quality Evaluation of Biscuit Fortified with Edible Termite (*Macrotermes nigeriensis*). Asian Journal of Biotechnology and Bioresource Technology, 4 (2): 1-7.
 - OMS, 2019. Hazards associated with animal feed. Report of the Joint FAO/ WHO Expert Meeting FAO headquarters, Rome, Italy. FAO Animal Production and Health Report, 286p.
 - ONU, 2011. World Population Prospects: The 2010 Revision. New York. Department of Economic and Social Affairs, Population Division.
 - Oonincx D. G. and De Boer I. J., 2012. Environmental impact of the production of mealworm as a protein source for humans—a life cycle assessment. Plos One, 7(12): 51-145.
 - Oonincx D. G., Van Itterbeeck J., Heetkamp M. J., Van Den Brande H., Van Loon J. and Van Huis A., 2010. An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect Species suitable for animal or human consumption. Plos One, 5 (12): 144-145.
 - Oonincx D.G., Van Huis A. and Van Loon J. J. A., 2015. Nutrient utilisation by black soldier flies fed with chicken, pig, or cow manure. Journal of Insects as Food and Feed, 1: 131-139.
 - OPIE., 2016. Une question sur les insectes ? section Foire aux questions– Papillons Orinoco of Venezuela. Ecology of Food and Nutrition, 42 (2) : 177–191
 - Osimani A., Garofalo C., Milanović V., Taccari M., Cardinali F., Aquilanti L., Pasquini M., Mozzon M., Raffaelli N., Ruschioni S., Rioli P., Isidoro N. and Clementi F., 2017. Insight into the proximate composition and microbial diversity of edible insects marketed in the European Union. European Food Research and Technology, 243:1157–1171.
 - Ouellet S., 2017. Développement d'un outil d'aide à la décision pour une utilisation durable des insectes comestibles. Thèse maître en Ecologie Internationale (M.E.I.), Université de Sherbrooke, Sherbrooke, 93p.
 - Outtar F., 2009. L'utilisation de quelques bio pesticides sur le criquet migrateur *Locusta migratoria* (Linné, 1758) (Oedopodinaen, Acrididae). Thèse Magister, Ins. Nati. Agro., El Harrach, 175 p.
- P**
- Pal P. and Roy S., 2014. Edible insects: Future of human food - A review. International Letters of Natural Sciences, 26: 1-11.

Références bibliographiques

- Paoletti M. G., 2005. Ecological Implications of Minilivestock: Potential of Insects, Rodents, Frogs and Snails for Sustainable Development. Ed. Science Publishers Inc., Enfield, 648 p.
- Paoletti M. G., Buscardo E., Vanderjagt D. J., Pastuszyn A., Pizzoferrato L., Huang Y.S., Chuang L.T., Glew R. H., Millson M. and Cerda H., 2003. Nutrient content of termites (*Syntermessoldiers*) consumed by Makiritare Amerindians of the Altoorinoco of Venezuela. *Ecology of Food and Nutrition*, 42 (2): 177-191.
- Paoletti M. G., Norberto L., Damini R. and Musumeci S., 2007. Human gastric juice contains chitinase that can degrade chitin. *Ann. Nutr. Metab*, 51: 244-251.
- Paoletti M.G. and DuFour D.L., 2005. Edible invertebrates among Amazonian Indians: a critical review of disappearing knowledge, ecological implications of minilivestock; role of rodents, frogs, snails, and insects for sustainable development. Ed. Science Publishers, New Hampshire, 342p.
- Parodi A., Leip A., De Boer I. J. M., Slegers P. M., Ziegler F., Temme E. H. M., Herrero M., Tuomisto H., Valin H., Van Middelaar C. E., Van Loon J. J. A. and van Zanten H. H. E., 2018. The potential of future foods for sustainable and healthy diets. *Nature Sustainability*, 1 :782-789.
- Pastre A., Smolikowski S. et Thews G., 1988. La lutte antiacridienne. Ed. Roussel, Paris, 127 p.
- Paul A., Frederich M., Megido R. C., Alabi T., Malik P., Uyttenbroeck R., Francis F., Blecker C., Haubruge E., Lognay G. and Danthine S., 2017. Insect fatty acids: a comparison of lipids from three orthopterans and *Tenebrio molitor* larvae. *Journal Asia Pacific Entomology*, 20 (2): 337-340.
- Payne C. L. R., Scarborough P., Rayner M. and 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 under nutrition. *European Journal of Clinical Nutrition*, 70: 285-291.
- Pimentel D., Pimentel M., 2003. Sustainability of meat-based and plant-based diets and the environment. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 78 (3): 660-663.
- Pino Moreno J. M., Ganguly A., 2016. Determination of fatty acid content in some edible insect of Mexico. *Journal of Insect as Food and Feed*, 2 (1): 37-42.
- Popov G. B., Launois-Luong M. H. et Vanderweel J. J., 1990. Les oothèques des criquets du Sahel. Ed. CIRAD, PRIFAS, Pays Bas, 153 p.

Références bibliographiques

- Premalatha M., Abbasi T., Abbasi T. and Abbasi S. A., 2011. Energy-efficient food production to reduce global warming and ecodegradation: The use of edible insects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (9): 4357-4360.

R

- Radia S., Whippey N. and Holmes S., 2016. *Eat grub-the ultimate insect cookbook*. Ed. Francis Lincoln, London, 192p.
- Ramos-Elorduy J., 2005. Insects: A hopeful food source. Ecological implications of minilivestock, role of rodents, frogs, snails, and insects for sustainable development. Ed. Science Publishers, New Hampshire, 291.
- Ramos-Elorduy J., 2008. Energy supplied by edible insects from Mexico and their nutritional and ecological importance. *Ecology of Food and Nutrition*, 47: 280-297.
- Ramos-Elorduy J., 2009. Anthro-entomophagy: Cultures, evolution and sustainability. *Entomological Research*, 39 (5): 271-288.
- Ramos-Elorduy J., 2010. The importance of edible insect in the nutrition and economy of people of the rural areas of Mexico, *Ecology of food and nutrition*, 36(5): 347-366.
- Ramos-Elorduy J., Moreno J. M., Prado E., Perez M., Otero J. L. and de Guevara O.L., 1997. Nutritional value of edible insects from the State of Oaxaca, Mexico. *Journal of Food Composition and Analysis*, 10:142-157.
- Ramos-Elorduy J., Pino M. J. M., Correa S. C., 1998. Edible insects of the state of Mexico and determination of their nutritive values. *Annals of the Institute of Biology, Zoology Series*, 69 (1): 65-104.
- Ramos-Elorduy J., Pino M. J.M., Vázquez A.I., Landero I., Oliva-Rivera H. et Martinez V. H. C., 2011. Edible Lepidoptera in Mexico: Geographic distribution, ethnicity, economic and nutritional importance for rural people. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 7(2): 1 -22.
- Rastogi N., 2011. Provisioning services from ants: food and pharmaceuticals. *Asian Myrmecology*, 3 (1): 103-120.
- Raubenheimer D., Rothman J. M., 2013. Nutritional ecology of entomophagy in humans and other primates. *Annual Review of Entomology*, 58 : 141-160.
- Redjem N. et Derghal W., 2016. Contribution à la formulation d'un biscuit à base de caroube et lactosérum. Thés de doctorat, université de Constantine, Constantine, 36p.
- Ribbons R. R. et Pelini S. L. et Del Toro I., 2012. The little things that run the world revisited: a review of ant-mediated ecosystem services and disservices (Hymenoptera: Formicidae). *Myrmecological News*, 17 :133-146.

Références bibliographiques

- Robert P.A., 1972. Les insectes Aptères, Archiptères, Orthoptères, Coléoptères, Névroptères, Les Beautés de la Nature Suisse, 170 p.
- Rozin P. and Fallon A., 1980. The psychological categorization of foods and non-foods: A preliminary taxonomy of food rejections. *Appetite*, 1 (3):193-201.
- Rozin P., Haidt J. and Mc Cauley C. R., 2008. Disgust. *Handbook of emotions*. Ed. The Guilford Press, New York, 776p.
- Rumpold B. A and Schlüter O. K., 2013a. Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 17: 1-11.
- Rumpold B. A and Schlüter O. K., 2013b. Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production. *Innovative Food Science Emerging Technologies*, 17: 1-11.
- Rumpold B.A., Fröhling A., Reineke K., Knorr D., Boguslawski S., Ehlbeck J. and Schlüter O., 2014. Comparison of volumetric and surface decontamination techniques for innovative processing of mealworm larvae (*Tenebrio molitor*). *Innov. Food Sci. Emerg. Technol*, 26: 232–241.

S

- Sanchez E. R., Donnell M. J. O., 2015. The insect excretory system as a target for novel pest control strategies. *Current Opinion in Insect science*, 11: 14-20.
- Sanchez-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, *Forest insects as food*, Ed, Humans Bite Back, Bangkok, 64 p.
- Schlüter O., Rumpold B., Holzhauser T., Roth A., Vogel RF., Quasigroch W., Vogel S., Heinz V., Jager H., Bandick N., Kulling A., Knorr D., Steinberg P. and Engel K. H., 2017. Safety aspects of the production of foods and food ingredients from insects. *Molecular Nutrition Food Research*, 61 (6): 16-20.
- Simon E., Baranyai E., Braun M., Fabian I. and Tothmeresz B., 2013. Elemental concentration in mealworm beetle (*Tenebrio molitor L.*) During metamorphosis. *Biological Trace Element Research*, 154 (1): 81-87.
- Singh J., Singh N., Sharmab T, R and Saxena S, K., 2003. Physicochemical, Rheological and cookie making properties of corn and potato flours. *Food chemistry*, 83 :387-393.

Références bibliographiques

- Siriamorpun S. and Thammapat P., 2008. Insects as delicacy and a nutritious food in Thailand. Using food science and technology to improve nutrition and promote national development. Ed. International union of food science and technology. Canada, 222 p.
- Sirimungkararat S., Saksirirat W., Nopparat T., Natongkham A., 2010. Edible products from eri and mulberry silkworms in Thailand, Proceedings of a workshop on Asia-Pacific Resources and Their Potential for Development. Ed. FAO Office for Asia and the Pacific, Bangkok, 200 p.
- Siulapwa N., Mwambungu A., Lungu, E., Sichilima W., 2012. Nutritional Value of Four Common Edible Insects in Zambia. *Int. J. Sci. Res*, 3: 876-884.
- Smarzy K., Sarbak P., Musiał S., Jezowski, P., Piatek M. and Kowalczewski P.T., 2019. Nutritional analysis and evaluation of the consumer acceptance of pork pâté enriched with cricket powder-preliminary study. *Open Agric*, 4: 159-163.
- Smetana S., Palanisamy M., Mathys A. and Heinz V., 2016. Sustainability of insect use for feed and food: Life Cycle Assessment perspective. *Journ. Clean. Prod.*, 137: 741-751.
- Smil V., 2002. Worldwide transformation of diets, burdens of meat production and opportunities for novel food proteins. *Enzyme and Microbial Technology*, 30 (3):305-311.
- Sofia E. S., 2016. Processus de fabrication des biscuits et gaufrettes. Thés de doctorat. Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Maroc, 79 p.
- Soulianc. L et Remy. S., 2010. Travaux sur les lipides et le goût. Thés de doctorat, Université de Bourgognes, France, 179 p.
- Srivastava S. K., Babu N. and Pandey N., 2009. Traditional insect bioprospecting as human food and medicine. *Indian Journal of Traditional Knowledge*, 8: 485-494.
- Steedman A., 1988. Manuel de lutte anti-acridienne. Ed. ODNRI, France, 71 p.
- Stoops J., Crauwels S., Waud M., Claes J., Lievens B. and Van Campenhout L., 2016. Microbial community assessment of mealworm larvae (*Tenebrio molitor*) and grasshoppers (*Locusta migratoria migratorioides*) sold for human consumption. *Food Microbiol*, 53: 122-127.
- Sudha M. L., Srivastava A. K. and Leelavathi K., 2007. Studies on pasting and structural characteristics of thermally treated wheat germ. *Eur Food Res Technol*, 225: 351-357.
- Sudha M. L., Vetrmani R. and Leelavathi K., 2007. Influence of fibre from different cereals on the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality. *Food Chemistry*, 100: 1365-1370.
- Sun M., Wang J. and Xiong Y., 2007. Dynamic flight stability of hovering insects. *Acta Mechanica Sinica*, 23 (3): 231-246.

Références bibliographiques

- Symmons P.M. and Cressman K., 2001. Directives sur le Criquet pèlerin, Biologie et comportement. Ed. FAO, Rome. 32 p.

T

- Tan H. S. G., Fischer A. R. H., Tinchan P., Stieger M., Steenbekkers L. P. A. and Van Trijp H. C. M., 2015. Insects as food: Exploring cultural exposure and individual experience as determinants of acceptance. *Food Quality and Preference*, 42: 78- 89.
- Tan H. S. G., Van Den Berg E. and Stieger M., 2016. The influence of product preparation, familiarity and individual traits on the consumer acceptance of insects as food. *Food Quality and Preference*, 52: 222-231.
- Tzompa-Sosa D. A., Yi L., Van Valenberg H. J., Van Boekel M. A., and Lakemond C. M., 2014. Insect lipid profile: aqueous versus organic solvent-based extraction methods. *Food Research International*, 62: 1087-1094.

U

- UNFPA, 2011. Etat de la population mondiale en 2011. New York Division de l'information et des relations extérieures, 127p.
- UNO, 2019. World Population Prospects 2019: high lights. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. New York, 46 p.
- Uvarov B. P., 1966. Grasshoppers and locusts, a handbook of generalacridolog. Anatomy, physiology, development, phasepolymorphism, introduction to taxonomy. 481 p.

V

- Van Broekhoven S., Bastiaan-Net S., De Jong N. W. and Wichers H. J., 2015. Influence of processing and in vitro digestion on the allergic cross-reactivity of three mealworm species. *Food Chemistry*, 196: 1075-1083.
- Van der Spiegel M., Noordam M. Y. and Van der F. K., 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.
- Van Huis A. and Oonincx D. G., 2017. The environmental sustainability of insects as food and feed. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(5): 43.
- Van Huis A., 2003. Insects as food in Sub-Saharan Africa. *Insect Science and Application*, 23 (3): 163-185.
- Van Huis A., 2005. Insects eaten in Africa (Coleoptera, Hymenoptera, Diptera, Heteroptera, Homoptera). Ed. Science Publishers, Etats-Unis, 244 p.

Références bibliographiques

- Van Huis A., 2013. Potentiel of insects as food and feed in assuring food security. Annual review of Entomology, 58(1), 563-583.
- Van Huis A., 2015. Edible insects contributing to food security? Agriculture & Food Security, 4 (20): 1-10.
- Van Huis A., 2016. Edible insects are the future? Proceedings of the Nutrition Society, 75 (3): 294-305.
- Van Huis A., 2017. New sources of animal proteins: Edible insects. New Aspects of Meat Quality. Ed. Elsevier, 461 p.
- Van Huis A., Van Gurp H. and Dicke M., 2012. The insect cookbook. Laboratory of Entomology, 191 p.
- Van Huis A., Van Gurp H. and Dicke M., 2014. The insect cook book: Food for a Sustainable planet. Ed. Reprint, Columbia University Press, Colombia. 39 p.
- Van Huis A., Van Itterbeeck J., Klunder H., Mertens E., Halloran A., Muir G. and Vantomme P., 2013. Edible Insects: Future Prospects for Food and Feed Security. Forestry Paper, 171: 181-187.
- Van Itterbeeck J. and Van Huis A., 2012. Environmental manipulation for edible insect procurement: historical perspective. Journal Ethnobiology and Ethnomedicine, 8 (3): 2-7.
- Verbeke W., 2015. Profiling consumers who are ready to adopt insects as a meat substitute in a Western society. Food Quality and Preference, 39: 147-55.
- Vijver M., Jager T., Posthuma L. and Peijnenburg W., 2003. Metal uptake from soils and soil-sediment mixtures by larvae of *Tenebrio molitor* (L.) (Coleoptera). Ecotoxicol Environ. Saf., 54 (3) : 277-89.
- Vodouche-Egueh S., Alidou C., Aboudaou K. et Soudano MM., 2017. Formulation de biscuits à base de farine de blé enrichie à la farine de patate douce à chair orange. Afrique science, 13(6) : 405-416.

W

- Walia K., Kapoor A. and Farber J. M., 2018. Qualitative risk assessment of cricket powder to be used to treat undernutrition in infant and children in Cambodia. Food control, 92: 169-182.
- Williams J. P., Williams J. R., Kirabo A., Chester D. and Peterson M., 2016. Nutrient content and health benefits of insects. Insects as sustainable food ingredients: production, processing and food applications. Ed. Academic, Cambridge, 90 p.

Références bibliographiques

- Womeni H. M., Linder M., Tiencheu B., Mbiapo F.T., Villeneuve P., Fanni J. and Parmentier M., 2009. Oils of insects and larvae consumed in Africa: Potential sources of polyunsaturated fatty acids. *Oleaginous Corps Gras Lipids*, 16(4-5-6): 230 -235.

X

- Xiaoming C., Ying F., Hong Z. and Zhiyong C., 2010. Review of the nutritive value of edible insects. *Forest Insects as Food: Humans Bite Back*, 85-92.

Y

- Yen A. L., 2010. Edible insects and other invertebrates in Australia: future prospects. *Forest insects as Food: Humans Bite Back*. Ed. FAO Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok, 84 p.
- Yhoun-Aree J. and Viwatpanich K. 2005. Edible insects in the Laos, Myanmar, Thailand, and Vietnam. *Ecological implications of minilivestock*. Ed. Science Publishers, New Hampshire, 440 p.
- Yhoun-Aree J., 2010. Edible insects in Thailand: nutritional values and health concerns. *Forest insects as food: humans bite back Bangkok*. Ed. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 216 p.
- Yi L., Lakemond C. M. M., Sagis L. M. C., Eisner-Schadler V., Van Huis A. and Van Boekel M. A., 2013. Extraction and characterisation of protein fraction from five insect Species. *Food Chemistry*, 141 (4): 3341-3348.
- Young V. R. and Pellett P. L., 1994. Plant proteins in relation to human protein and amino acid nutrition. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 59 (5): 1203-1212.

Z

- Zabentungwa T. H., Slotow R., Munyai T., 2020. Nutritional composition of edible insects consumed in Africa: A systematic review. *Nutrients*, 12 (27) : 1-28.
- Zaremski A., Fouquet D. et Louppe D., 2009. *Les termites dans le monde*. Québec. 93 p.
- Zegrobelyny M., Dreon A. L., Gomiero T., Marcazzan G. L., Glaring M. A. and Moller B. L., 2009. Toxic moths: source of a truly safe delicacy. *Journal of Ethnobiology*, 29 (1): 64-76.
- Zhang J., 2020. Research and industrialization of *Hermitia illucens* L in china. *Journal of Insects as Food and Feed*, 6 (1): 5-12.
- Zielinska E. and Pankiewicz U., 2020. Nutritional, Physiochemical and Antioxidative Characteristics of Shortcake Biscuits Enriched with *Tenebrio molitor* Flour. *Molecule*, 25: 56-29.

Références bibliographiques

- Zielińska E., Baraniak B., Karaś M., Rybczyńska K. et Jakubczyk A., 2015. Selected species of edible insects as a source of nutrient composition. *Food Research International*, 77: 460- 466.
- Zielińska E., Karaś M. and Baraniak B., 2018. Comparison of functional properties of edible insects and protein preparations thereof. *L. W. T*, 91: 168-174.
- Zielińska E., Karaś M. and Jakubczyk A., 2017. Antioxidant activity of predigested protein obtained from a range of farmed edible insects. *International Journal of Food Science and Technology*, 52 (2): 306-312.

Annexes

Annexe I

➤ Présentation de l'unité ISSER DELICE

L'Entreprise ISO 9 International a été créée en 2000 et mise en production en 2002 sous la forme juridique d'une SARL (Société Responsable Limitée). Elle est spécialisée dans la fabrication de génoise et de biscuits secs. Elle est située à ISSER à 15km de Boumerdes (Algérie) et s'étale sur une surface de 20 000m², dont deux laboratoires chapeautés par des spécialistes en la matière : le premier pour effectuer des contrôles sur la qualité de produits et le deuxième pour la recherche et le développement des nouveaux produits. Elle a un effectif de 200 employés. Sa capacité de production est en moyenne de 400kg / heures pour la génoise et de 350kg/heures pour les biscuits secs.

La SARL, ISO 9 Internationale est le leader national dans la fabrication de la génoise fourrée. Et afin d'élargir sa gamme de produits et de répondre aux exigences du marché, ISO 9 International a acquis une deuxième ligne ultra moderne pour fabriquer des biscuits secs (Biscuits sablés, petit Four, Cookies et autres).

En outre, afin d'assurer la qualité constante de ses produits, l'entreprise veille sur le choix de ses matières premières, le contrôle systématique du processus de production, l'hygiène et la sensibilisation de son personnel à respecter les normes d'ISO 22000 afin d'aboutir à la certification de conformité aux spécifications commerciales de ses clients et pour faciliter l'exportation de ses gammes vers d'autres pays.

L'entreprise, forte de ses atouts, jeune et dynamique, a su évoluer et sortir de l'ornière rapidement pour être reconnue sur le marché national et international sous la marque commerciale ISSER DELICE, compte d'élargir ses réseaux commerciaux et d'accroître sa gamme, et sa devise est l'indéfectible 4 S (santé, sécurité, saveur et service), la confiance de nos clients et la garantie de notre succès.



Annexes

Annexe II

➤ Matériels et milieux de culture utilisés pour les analyses microbiologiques

Matériels	Milieux de culture
<ul style="list-style-type: none">▪ Tubes à essais en verre .▪ Pipettes Pasteur stériles.▪ Micropipette▪ Boîtes Pétri, en matière plastique.▪ Becher.▪ Flacon en verre▪ Eprouvette de 25ml▪ Etuve .▪ Autoclave .▪ Agitateur .▪ Bain de marie .▪ Bec Bensen.▪ Balance▪ Portoire▪ Compteur des colonies	<ul style="list-style-type: none">▪ Eau physiologie▪ Gélose TGEA (Tryptone glucose et l'extrait d'Agar)▪ Gélose VRBL (Gélose lactosée biliée au vert brillant et au rouge de phénol)▪ Gélose OGA (Gélosé à l'Oxytétracycline)▪ Milieu Baird Parker▪ Bouillon Roth D/C▪ SFB (Bouillon Sélénite cystéine)▪ BLMT (Bouillon lactosée mannitol tamponné)

Annexes



Bec Bunsen



Micropipette



Balance



Bain de marie



Etuve



Autoclave



Agitateur

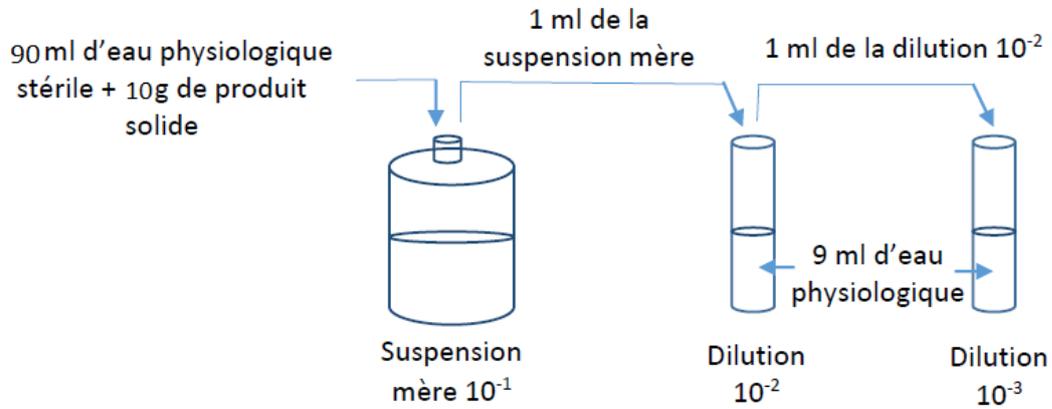


Compteur des colonies

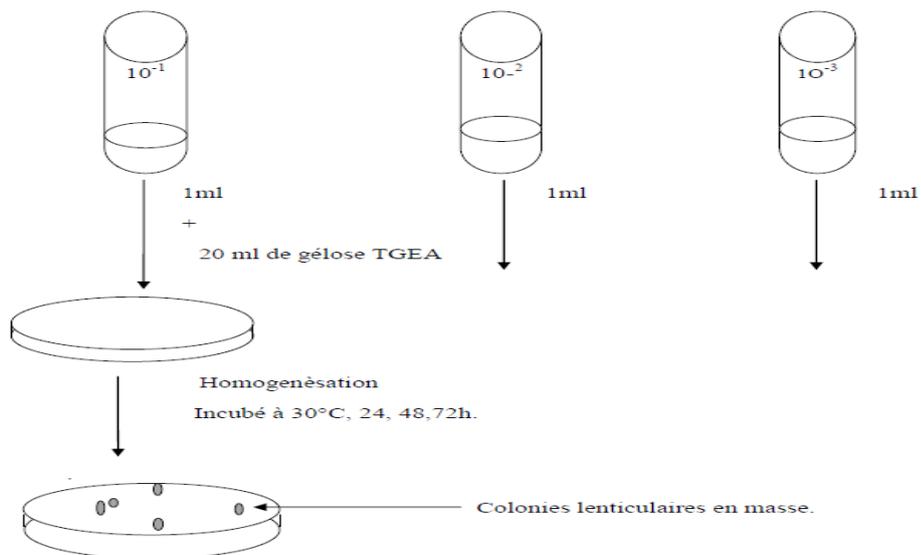
Annexe III

➤ Protocoles des analyses microbiologiques

• Préparation de solution mère

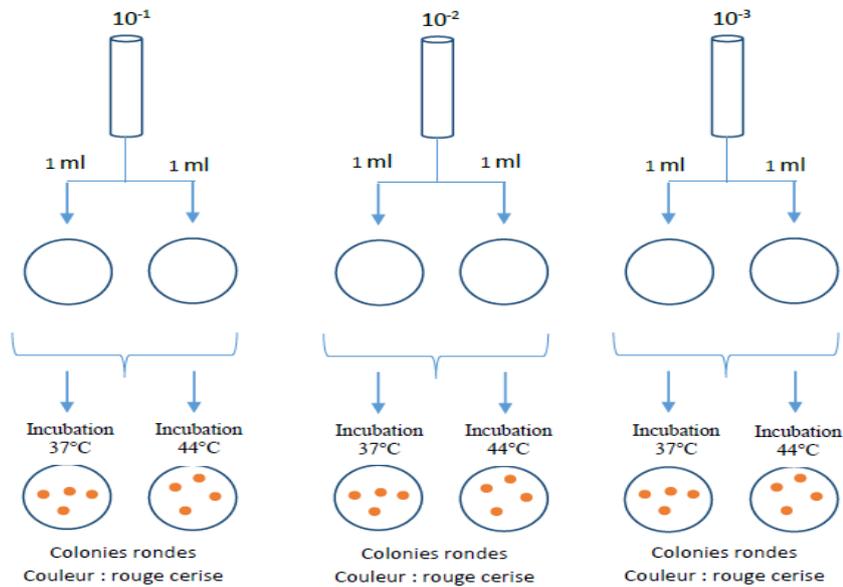


• Dénombrement de la flore mésophile totale à 30°C (germes totaux)

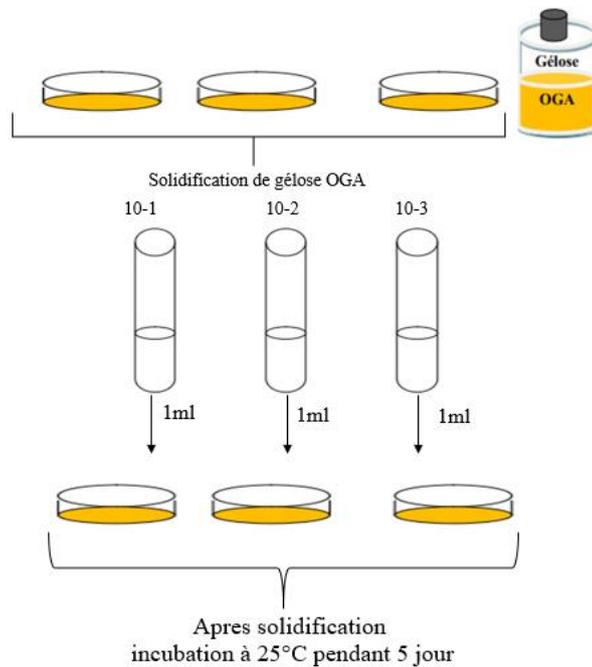


Annexes

- Recherche et dénombrement de coliformes totaux et fécaux

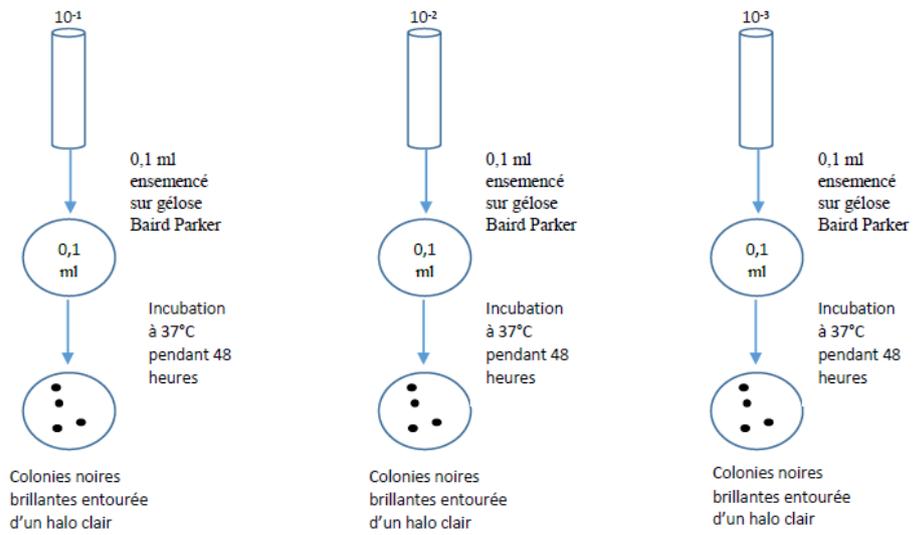


- Dénombrement les levure et moisissures

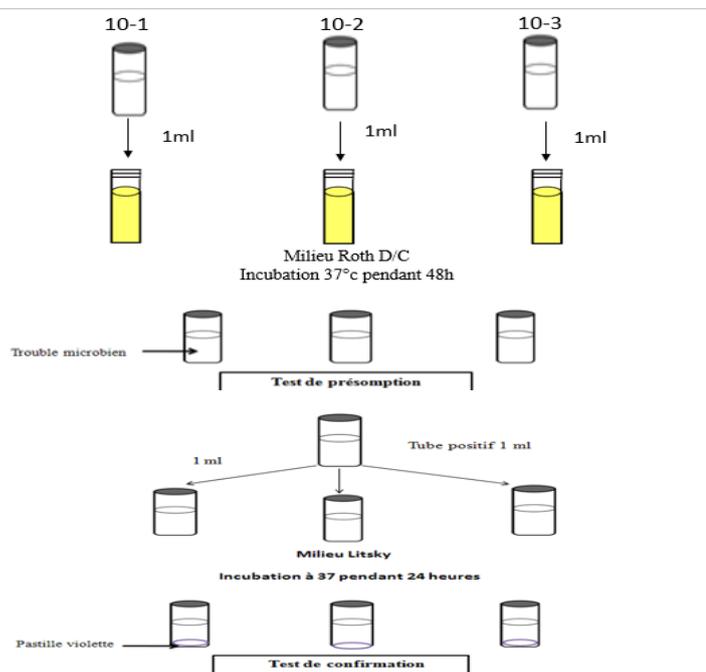


Annexes

- **Dénombrement des germes pathogène *Staphylococcus aureus***

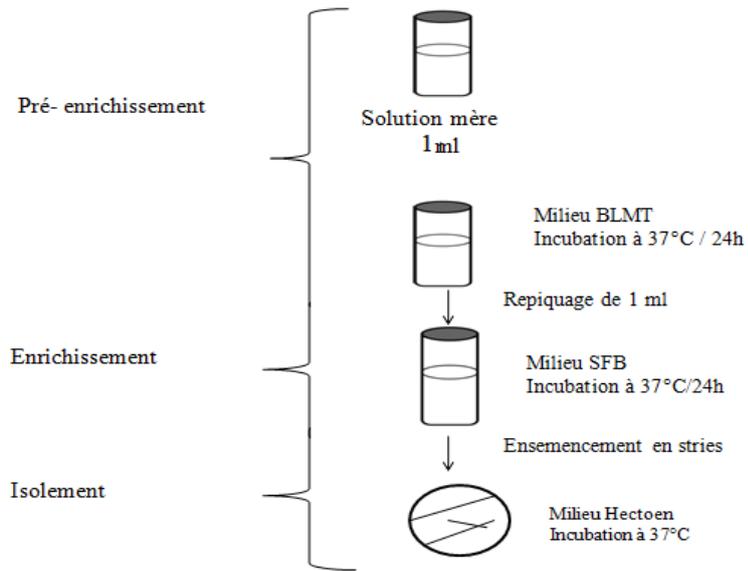


- **Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux**



Annexes

- **Recherche et dénombrement de salmonella**



Annexe IV

- Différentes étapes de fabrication de biscuit sec



1) Mélange les matières premières



2) Pâte de biscuit



3) Moulage de la pate



4) Cuisson des pâtons de biscuit



5) Biscuits après cuisson



6) Conservation de biscuit

Annexe V

Questionnaire d'évaluation sensorielle des différentes formulations de biscuits à base de farines d'insectes

Date :

Sexe :

Age :

Profession :

8 biscuits codés T, L1, L2, L3 pour les biscuits faites avec *Locusta migratoria* et T, S1, S2, S3 pour ceux faites avec *Schistocerca gregaria*. Pour chacun des critères, il vous est demandé d'attribuer une note de 1 à 7 selon un ordre croissant d'appréciation.

1. Très agréable 5. Assez désagréable

2. Agréable 6. Désagréable

3. Assez agréable 7. Très désagréable

4. ni agréable ni désagréable

1. Odeur :

Echantillon	L0	L1	L2	L3
note				

Echantillon	S0	S1	S2	S3
note				

2. Goût :

Echantillon	L0	L1	L2	L3
note				

Echantillon	S0	S1	S2	S3
note				

Annexes

3. Aspect (Texture) :

Echantillon	L0	L1	L2	L3
note				

Echantillon	S0	S1	S2	S3
note				

4. Couleur :

Echantillon	L0	L1	L2	L3
note				

Echantillon	S0	S1	S2	S3
note				

5. Croustillance :

Echantillon	L0	L1	L2	L3
note				

Echantillon	S0	S1	S2	S3
note				

Étude de la qualité microbiologique des farines issues de deux insectes comestibles *Locusta migratoria* et *Schistocerca gregaria* en vue de leur valorisation en industrie agroalimentaire par formulation d'un biscuit sec.

La présente étude a pour objectif d'évaluer l'effet de l'incorporation de la farine de criquet dans la production de biscuits sur les caractéristiques physiques et sensorielles de ces derniers. A cet effet, des biscuits avec différents taux d'incorporation de farine de criquet (S0 : 0 %, S1 : 10 %, S2: 15 %, S3 : 20 % pour *Schistocerca gregaria* et L0 : 0 %, L1 : 10 %, L2: 15 %, L3 : 20 % pour *Locusta migratoria*) ont été formulés. Les résultats obtenus pour la caractérisation microbiologique de la farine indiquent une bonne maîtrise des processus de production, de stockage et de transport et que cette farine ne présente aucun risque pour la santé humaine. L'analyse statistique des paramètres physiques a révélé une différence significative au seuil de 5 % entre les différents biscuits formulés par la poudre de *Locusta migratoria* pour tous les paramètres physiques déterminés. Pour les biscuits formulés par la poudre de *Schistocerca gregaria* l'analyse a révélé une différence significative au seuil de 5% pour l'humidité, l'épaisseur et une différence non significative pour le paramètre diamètre. Sur le plan sensoriel, l'analyse des résultats a révélé que les biscuits contenant 15 % de farine de *Locusta migratoria* sont de bonne qualité organoleptique.

Mot clé : *Locusta migratoria*, *Schistocerca gregaria*, insectes comestibles, biscuit sec, paramètres physiques, farine d'insectes.

الملخص

الهدف من هذه الدراسة هو تقييم تأثير دمج دقيق الجراد في إنتاج البسكويت على الخصائص الفيزيائية والحسية للأخير. لهذا الغرض، البسكويت بمعدلات دمج مختلفة لدقيق الجراد (S0: 0، S1: 10، S2: 15، S3: 20) for *Schistocerca gregaria* and L0: 0، L1: 10، L2: 15، L3: 20٪ من الجراد المهاجر). تشير النتائج التي تم الحصول عليها للتوصيف الميكروبيولوجي للدقيق الغياب إلى إتقان جيد لعمليات الإنتاج والتخزين والنقل وأن هذا الدقيق لا يمثل أي خطر على صحة الإنسان.. أظهر التحليل الإحصائي للمعاملات الفيزيائية فرقاً كبيراً عند مستوى 5 ٪ بين ملفات تعريف الارتباط المختلفة المصممة بمسحوق *Locusta migratoria* لجميع المعلمات الفيزيائية المحددة. بالنسبة للبسكويت المصنوع من مسحوق *Schistocerca gregaria* ، أظهر التحليل فرقاً معنوياً عند عتبة 5 ٪ للرطوبة والسمك واختلاف غير معنوي لمعامل القطر. من وجهة نظر حسية، أظهر تحليل النتائج أن ملفات تعريف الارتباط التي تحتوي على 15٪ دقيق الجراد المهاجر ذات جودة حسية جيدة.

الكلمة الرئيسية: *Locusta migratoria*، *Schistocerca gregaria*، الحشرات الصالحة للأكل، البسكويت الجاف، العوامل الفيزيائية، طحين الحشرات.

Abstract

The objective of this study is to assess the effect of the incorporation of locust flour in the production of cookies on the physical and sensory characteristics of the latter. For this purpose, biscuits with different incorporation rates of locust flour (S0: 0%, S1: 10%, S2: 15%, S3: 20% for *Schistocerca gregaria* and L0: 0%, L1: 10%, L2: 15%, L3: 20% for *Locusta migratoria*) were formulated. The results obtained for the microbiological characterization of the flour indicate a good mastery of the production, storage and transport processes and that this flour presents no risk to human health. Statistical analysis of the physical parameters revealed a significant difference at the 5% level between the different cookies formulated with *Locusta migratoria* powder for all the physical parameters determined. For the biscuits formulated with *Schistocerca gregaria* powder, the analysis revealed a significant difference at the 5% threshold for humidity, thickness and a non-significant difference for the diameter parameter. From a sensory point of view, analysis of the results revealed that the cookies containing 15% *Locusta migratoria* flour are of good organoleptic quality.

Key word: *Locusta migratoria*, *Schistocerca gregaria*, edible insects, dry biscuit, physical parameters, insect flour.