

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique Et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur Et De La Recherche
Scientifique
جامعة امحمد بوقرة بومرداس
Université M'HEMED BOUGARA BOUMERDES
Faculté des Sciences
Département de Biologie



Mémoire de Fin d'Étude
Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master
Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie
Filière Biotechnologie
Spécialité : Biotechnologie microbienne
Thème

**Criblage biochimique et microbiologie d'une farine d'un
insecte Orthoptère, *Locusta migratoria* (Orthoptera :
Oedipodinae) en vue de sa valorisation agroalimentaire**

Présenté par :
BELMOKHTAR SABRINA
TOUABI RANIA

Encadré par : Pr ACHEUK F

Membres du jury :

❖ Pr BELAID M.	Univ. UMBB	Président
❖ Pr HALOUANE F.	Univ. UMBB	Examineur
❖ Pr ACHEUK F.	Univ. UMBB	Promoteur
❖ Mr KHEMILA A.	Univ. UMBB	Doctorant-invité

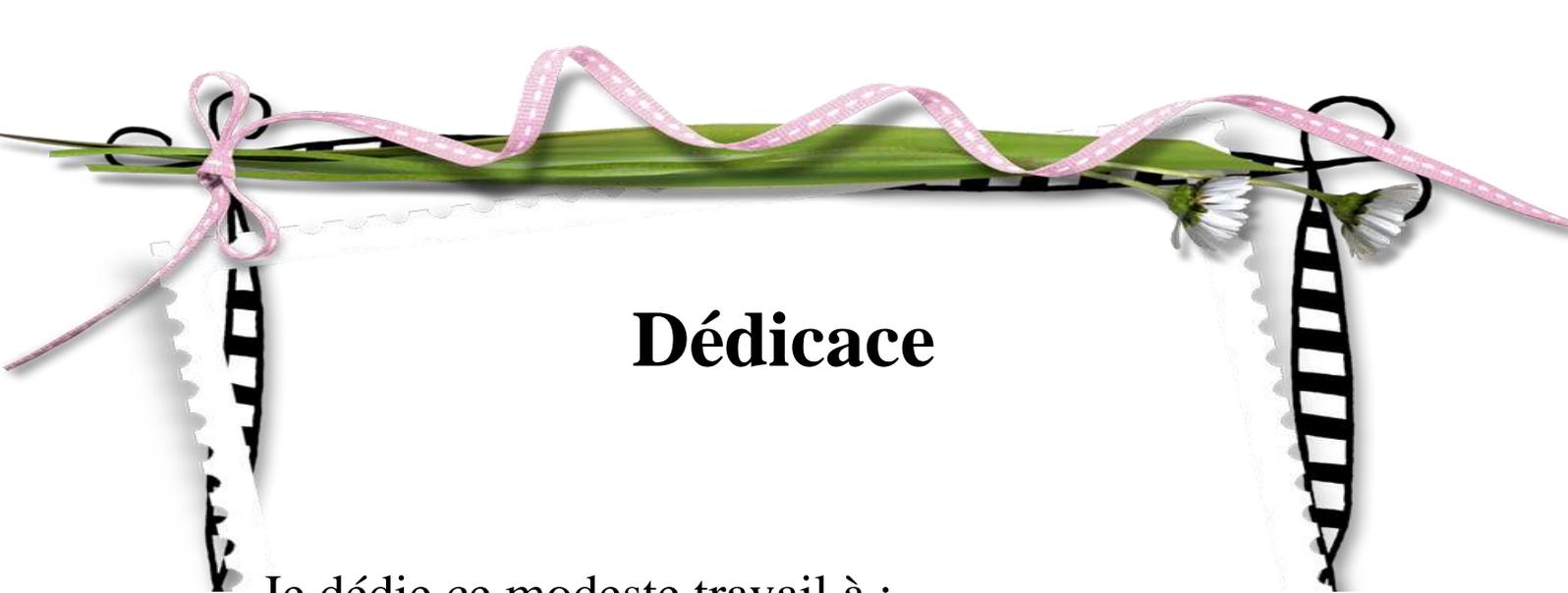
Année universitaire 2019/2020

Remerciements

« Louange à Allah qui nous a guidés à ceci. Nous n'aurions pas été guidés, si Allah ne nous avait pas guidés »

[Sourate 7. Al Araf verset 43]

Nous tenons à exprimer nos plus vifs remerciements à Pr BELAID pour avoir accepté de présider le jury. Notre reconnaissance, et nos sincères remerciements vont à notre encadreur Pr ACHEUK pour nous avoir dirigé tout au long de la réalisation de ce travail. Ses orientations, ses encouragements, sa compréhension, sa disponibilité constante nous ont été d'une précieuse aide. Nous tenons à remercier également Pr HALOUANE pour avoir accepté d'examiner notre travail. Nous tenons à remercier également tous nos enseignants pour leurs bonnes orientations et pour leur aide précieuse. Nous tenons à remercier également tous nos collègues de la promotion Biotechnologie Microbienne (BTM) du département de Biologie de l'Université M'Hamed Bougara de Boumerdes.



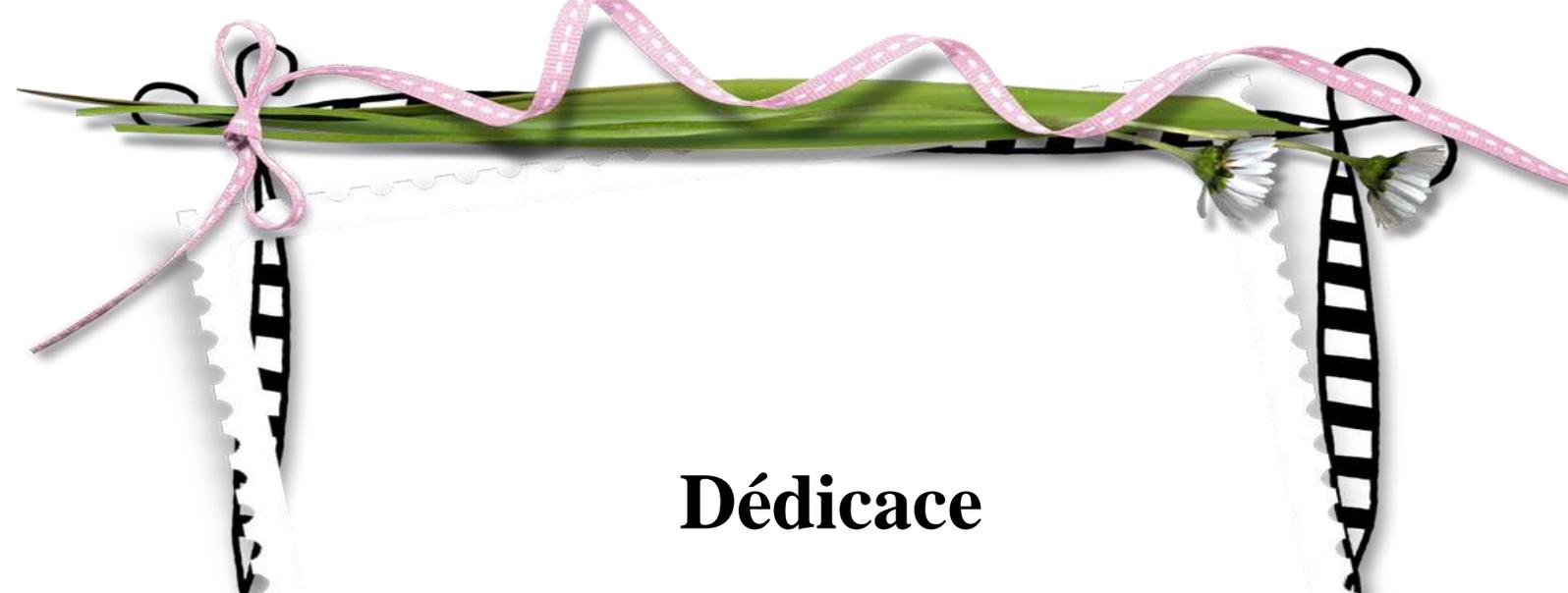
Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Ma mère Zohra et mon père Rabah,
mes frères Zinne-Eddine Mouloud
Samir Mouhmed, mes sœurs Lila
Souhila Djouhar Lynda Samira
Nadjia et toute ma famille Fifi Zino
Melissa Adem Nassim Walid Aya
Abd Rahim Ayoub Anfel, Mes
collègues et mes amis.

Sabrina





Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :
Ma mère Malika et mon père AHCEN,
mon frère Amine, mes sœurs Samia
Manel et mon maré Omar et toute ma
famille, Mes collègues et mes amis.

Rania



Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction	1
Chapitre I : Synthèse Bibliographique	
I-1-Entomophage.....	4
I-2-Généralités sur les insectes comestibles.....	4
I-3-Répartition géographique des insectes dans le monde.....	5
I-4-Quels ordres d'insectes sont les plus consommés, À quels stades	7
I-5-Valeur nutritionnelle des insectes pour l'alimentation humaine	7
I-5-1-Protéines	7
I-5-2-Acides aminés.....	8
I-5-3-Micronutriments.....	9
I-5-4-Apport énergétique.....	9
I-5-5-Glucides.....	10
I-5-6-Matières grasses.....	11
I-5-7-Teneur en fibre.....	12
I-6-Applications alimentaires.....	13
I-7- Dangers liés à la consommation des insectes comestibles	14
I-7-1- Dangers Chimique.....	14
I-7- 2-Danger allergène.....	14
I-7- 3-Dangers microbiologiques.....	15
I-7-4- Dangers physiques.....	15
I-7- 5-Dangers toxicologique.....	16
I-8-Généralités sur le criquet migrateur <i>Locustamigratoria</i> (L., 1758).....	16
I-8-1-Identité taxonomique du genre <i>Locusta</i>	16
I-8-2-Systématique et morphologie de <i>Lucosta migratoria</i>	16
I-8-2-1-Position systématique.....	16
I-8-2-2-Morphologie.....	17
I-8-2-2-1-Œuf.....	17
I-8-2-2-2- Larves.....	18
I-8- 2-2-3-Adulte.....	18
I-9-Conditions générales de l'élevage et le cycle de développement de <i>Lucosta migratoria</i> ..	18
I-9-1-Conditions générales de l'élevage du criquet migrateur	18
I-9-2-Cycle de développement.....	19
I-9-2-1-Ponte.....	19
I-9-2-2-Développement embryonnaire.....	19
I-9-2-3-Éclosion et développement larvaire.....	19
I-9-2-4-Développement imaginal et maturation sexuelle.....	20
I-9-2-5-Accouplement.....	20
I-10-Distribution géographique de <i>Locusta migratoria</i> en Algérie.....	20
I-11-Régime alimentaire de <i>Locustamigratoria</i>	21

I-12-Valeurs nutritionnelles de <i>Locusta migratoria</i>	21
I-13-Généralités sur le biscuit.....	22
1-Définition des biscuits.....	22
2-Classification des biscuits.....	23
3-Matières premières entrants dans la fabrication des biscuits.....	23
4-Technologie de fabrication des biscuits	24
4-1Malaxage.....	24
4-2Façonnage	24
4-3Dorage des biscuits.....	24
4-4-Cuisson.....	24
4-5-Refroidissement	25
4-6-Conditionnement.....	25

Chapitre II : Matériel et méthodes

II- Matériel et Méthodes.....	27
II-1-Matériel animal.....	27
II-2-Matériel non biologique.....	27
II-3-Méthodes.....	28
II-3-1-Séchage et broyage.....	28
II-3-1-1-Séchage.....	28
II-3-1-1-Broyage.....	28
II-3-2-Analyses microbiologiques de la farine de <i>Locustamigratoria</i>	29
II-3-2-1-Principes des manipulations microbiologiques	29
II-3-2-2-Recherche de Germe aérobie mésophiles.....	30
II-3-2-3-Recherche de Coliformes Totaux et coliformes fécaux (<i>Escherichia.coli</i>)	31
II-3-2-4-Recherche de Clostridium Sulfite Réducteur.....	32
II-3-2-5-Recherche de Staphylococcus aureus	32
II-3-2-6-Recherche de Salmonelle.....	33
II-3-2-7-Recherche de Pseudomonas aeruginosa.....	33
II-3-2-8-Recherche des moisissureset levures.....	34
II-3-2-9-Recherche de <i>Listeria monocytogenas</i>	34
II-3-3-Analyses physico-chimiques de la farine de <i>Locustamigratoria</i>	35
II-3-3-1-Détermination de la teneur en eau (Humidité).....	35
II-3-3-2-Détermination de la teneur en matière sèche.....	35
II-3-3-3-Détermination de la teneur en matière grasse.....	36
II-3-3-4-Détermination de la teneur en fibres brutes.....	37
II-3-3-5-Détermination de la teneur des cendres totales.....	37
II-3-3-6-Détermination de la teneur des protéines brutes.....	38
II-3-3-7-Détermination de la teneur des sucres totaux.....	39
II-3-3-8-Détermination de PH.....	39
II-3-3-9-Détermination de valeur énergétique.....	40
II-4-Formulation de biscuit Muffin.....	40
II-4-1-Ingrédients du biscuit Muffin.....	40

II-4-2 -Processus de formulation du muffin	40
II-5-Les analyses microbiologiques et physicochimiques de Muffin normal et Muffin enrichi à la farine de criquet.....	42
Chapitre III : Résultat et discussion	
III-1-Résultats des analyses microbiologiques.....	44
III-2-Résultats des analyses physico-chimiques de la farine de <i>Locusta migratoria</i>	46
III-3-Résultats des analyses microbiologiques et physicochimiques de Muffin témoin et Muffin enrichi par la farine de criquet.....	48
III-4-Résultats des analyses physicochimiques de Muffin témoin (1*) et Muffin enrichir par la farine de criquet (2*)	49
III-5-Valeurs nutritionnelles et énergétique pour 100g de Muffin (1*) et Muffin enrichir par la farine de criquet.....	50
III-6-Discussion.....	51
Conclusion	54
Référence bibliographiques	
Résumé	
Annexes	

Liste des Figures

Figure n°01 : En agriculture, sciences vétérinaires, nutrition et ressources naturelles.....	6
Figure n° 02 : Nombre et pourcentage d'espèces ; par ordre ;consommées dans le monde.....	7
Figure n° 03 : Comparution nutritionnelles d'un criquet et d'un bœuf.....	8
Figure n°04 : Teneur en acides amines par ordres d'insectes comparés aux besoins humains.	9
Figure n° 05 : Cycle de développement d'un criquet migrateur.....	18
Figure n°06 : Répartition de <i>Locusta migratoria</i> en Algérie.....	21
Figure n°07 : Composition du criquet (pour 100g).....	22
Figure n°08 : Premier jour de séchage.....	28
Figure n°9 : Quatrième jour de séchage.....	28
Figure n°10 : Criquet migrateur sans les trois paires de pattes.....	28
Figure n°11 : Broyage manuel de <i>Locusta migratoria</i>	29
Figure n°12 : Broyage électrique.....	29
Figure n°13 : Farine de <i>Locusta migratoria</i>	29
Figure n°14 : Poste de travail pour les diverses manipulations microbiologiques	30
Figure n°15 : Solution mère contenant farine d'insecte en solution avec TS.....	30
Figure n°16 : Préparation des biotes de Pétri et les tubes.....	30
Figure n°17 : Ensemencement sur gélose.....	31
Figure n°18 : Extracteur Soxhlet.....	36
Figure n°19 : Mesure des ingrédients.....	40
Figure n°20 : Mélange des ingrédients liquede et secs.....	41
Figure n°21 : Les étapes de préparation d'un mélange homogène avec la farine de criquet...41	
Figure n°22 : Muffins simples avec de la farine ordinaire (a) et muffins avec incorporation de la farine de criquets (b).....	42
Figure n°23 : Muffin.....	51
Figure n°24 : Muffin enrichir par la farine de criquet.....	51

Liste des Tableaux

Tableau n° 01 : Nombre d'insectes comestibles par continent et nombre de pays.....	5
Tableau n°02 : Teneurs en protéines brutes des insectes (classés par ordres).....	8
Tableau n°03 : Exemples des valeurs énergétiques d'espèces d'insectes préparées de différentes façons, par région.....	10
Tableau n°04 : Teneur moyennes en acides gras par ordres d'insectes.....	12
Tableau n° 05 : Composition nutritionnelle (%) et contenu énergétique (kcal /100g) d'insectes comestibles basé sur la matière sèche.....	12
Tableau n°06 : Les ingrédients du biscuit Muffin.....	40
Tableau n° 07 : Charge microbienne de la qualité hygiénique de la farine <i>Locusta migratoria</i>	44
Tableau n°08 : Les résultats des analyses physico-chimique de la farine.....	47
Tableau n°09 : Les résultats des analyses microbiologiques de Muffin.....	48
Tableau n°10 : Les résultats des analyses microbiologiques Muffin enrichir par la farine de criquet.....	49
Tableau n°11 : Les résultats des analyses physicochimiques de deux Muffin.....	49
Tableau n°12 : Les valeurs nutritionnelles et énergétique pour 100g de deux Muffin.....	50

Liste des abréviations

AFSCA : Agence Fédérale pour la Sécurité de la Chaîne Alimentaire.

Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail

AGMI : Acide Gras Monoinsaturés

AGPI : Acide Gras Polyinsaturés

AGS : Acide Gras Saturés

AJR : Apport Journalier Recommandé

ASR : Aérobie Sulfite Réducteur

CO₂ : Dioxyde de carbone

CVF : Civer Méat Agar

FAD : Food and Drug Administration

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

g : Gramme

HCCP : Analyse des dangers /points critiques, pour leur maîtrise Hazard analysis and critical control points

ISO : Organisation internationale de normalisation

Kcal : Kilocalories

KJ : Kilojoule

L : litre

mL : millilitre

N.A : Norme Algérien

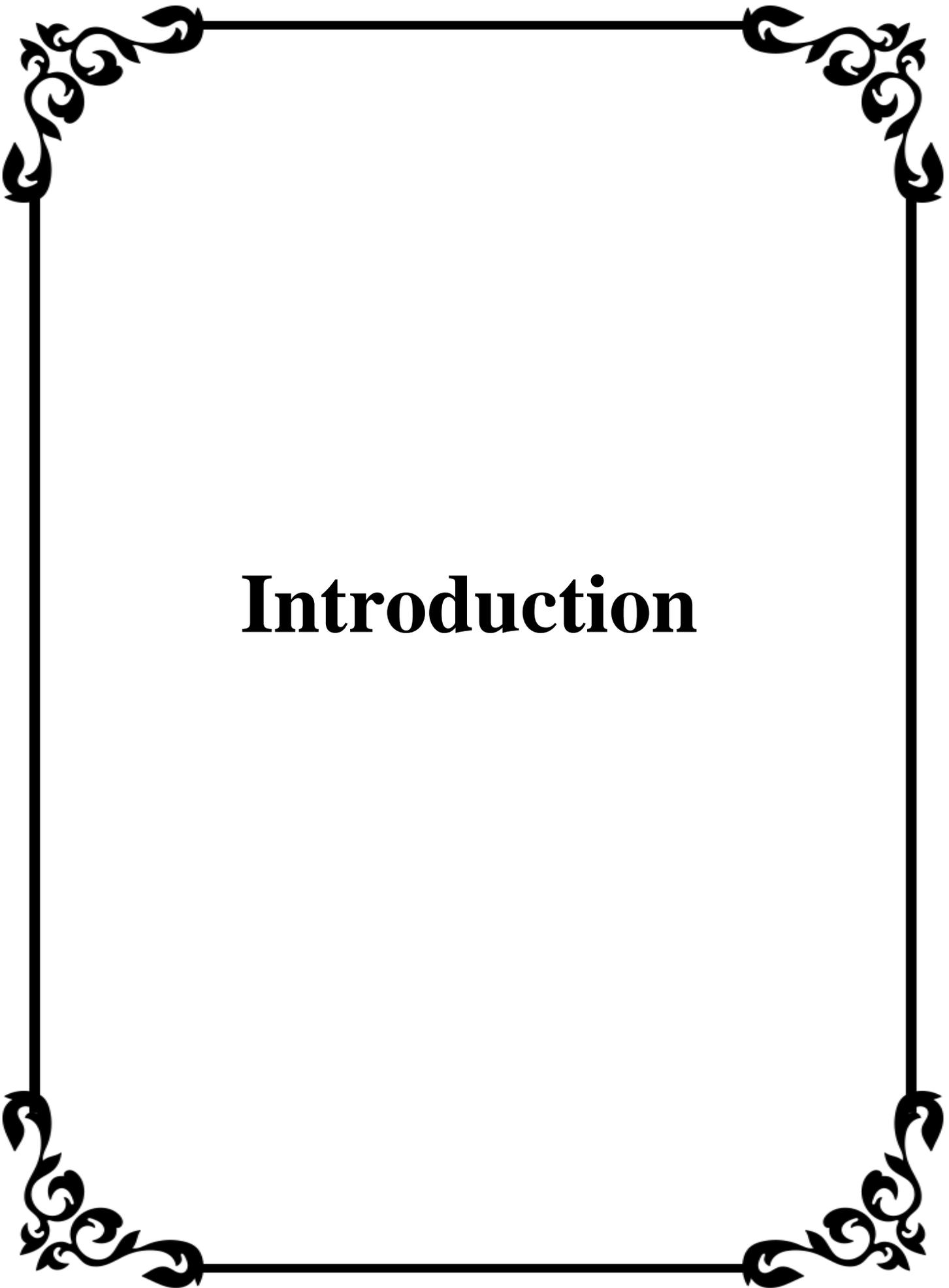
NAP : Niveau d'activité physique

PCA : Standard Méthodes Agar

Ppm : Partie Par Million

UFC : Unité Formant une Colonie

VRBL : Violet Red Bile Lactose Agar



Introduction

Introduction

Introduction

La famine et la malnutrition sont des problèmes de jour qui perdurent encore au 21^{ème} siècle. Les pays concernés par ces problèmes sont : quelques zones en Amérique du Sud (Bolivie, Paraguay, Pérou), en Asie (Mongolie, Pakistan), mais les pays les plus sensibles c'est en Afrique (Programme alimentaire mondial, 2011). C'est en Afrique centrale (Ethiopie, Mozambique, Tchad) que subsistent les plus forts taux de malnutrition et de dénutrition au monde (Lavalette, 2013).

Les prévisions démographiques pour les 100 ans à venir montrent que cette situation ne va pas s'améliorer (7milliards de personnes aujourd'hui peuplent la planète et 10 milliards d'habitants sont prévisibles d'ici 2100) (Nations Unies, 2011). En effet, si la plupart des pays atteindront de fait une certaine stabilité démographique, d'autres auront une population en fort accroissement (notamment le Nigeria et le Mali en Afrique (Tabutin et Schoumaker, 2004) et l'Inde en Asie (Nations Unies, 2011 ; (Lavalette, 2013).

Les insectes représentent une ressource encore mal connue qui est de plus en plus envisagée comme source de nourriture et de protéines. Certaines universités comme Université de Wageningen, NL ; l'Université de Liège Agro-Bio Tech, B ; Université du Wisconsin, USA ont des pôles de recherche entièrement tournés vers l'entomophage (l'étude de la consommation d'insectes en tant que nourriture destinée à l'être humain) (Lavalette, 2013). Actuellement en Europe, beaucoup d'éléments s'opposent au réel développement de l'entomophage bien que de petites entreprises spécialisées dans l'élevage d'insectes comestibles comme Micronutris ou Ynsect (en France) ou spécialisées dans la vente de produits à base d'insectes comme GreenKow (en Belgique) aient vu le jour (GreenKow, 2013 ; Micronutris,2013 ; Ynsect,2015). Le principal argument avancé par ces entreprises pour justifier l'utilisation d'insectes dans l'alimentation humaine est, pour l'instant, les qualités nutritionnelles potentielles des insectes et/ou le caractère biologique – durable de leur production (Caparros *et al*, 2015).

La malnutrition résulte généralement d'une combinaison de plusieurs facteurs et en particulier d'un manque de ressources disponibles associé à un organisme déjà affaibli ce qui provoque diverses carences, qu'elles soient énergétiques, protéiques ou vitaminiques (Lavalette, 2013).

Introduction

Cependant, d'un point de vue législatif, une évaluation nutritionnelle d'un produit est importante mais n'est pas une condition nécessaire et suffisante au classement de cet élément comme un aliment. Selon le règlement (CE) n° 258/97 du Parlement européen du 27 janvier 1997 relatif aux nouveaux aliments et aux nouveaux ingrédients alimentaires, les insectes comestibles destinés à la consommation humaine devraient rentrer dans la catégorie des nouveaux aliments (novel food en anglais) ou des nouveaux ingrédients alimentaires (novel food ingredients) et devraient donc, par conséquent, faire l'objet d'une analyse de risques et recevoir une autorisation de la Commission Européenne préalablement à leur mise sur le marché (Caparros *et al*,2015).

Actuellement, en Belgique, la mise sur le marché de 10 espèces d'insectes est autorisée à condition que les prescriptions relatives à la sécurité sanitaire des aliments soient respectées. Ces 10 espèces eux figure le criquet migrateur :*Locusta migratoria* (Caparros *et al*,2015).

Pour la mise sur le marché de ces espèces, les règles générales de la législation alimentaire sont en vigueur, en particulier, l'application de bonnes pratiques d'hygiène, la traçabilité, la notification obligatoire, l'étiquetage et la mise en place d'un système d'autocontrôle basé sur les principes du système d'analyse des dangers points critiques pour leur maîtrise, en abrégé système HACCP (Hazard Analysis Critical Control Point) (Caparros *et al*,2015).

Bien que les criquets puissent être produits de manière durable et riches en nutriments, l'idée de les manger peut être difficile à avaler pour de nombreux consommateurs. Dans le cadre de notre travail qui vise à valoriser une farine de criquet migrateur *Locusta migratoria* :Orthoptera :Oedipodinae), en alimentation humaine et animale, nous intéressons à étudier la composition nutritionnelle et faire le criblage biochimique et microbiologie de la farine de ce criquet, en vue de sa valorisation.

Le document comporte une introduction générale ou la problématique des insectes comestibles est posée puis une synthèse bibliographique sur les insectes comestibles et les aliments innovants, des données bibliographiques sur le criquet migrateur et sur la formulation de biscuit.

En deuxième chapitre, le matériel et méthodologie du travail sont résumés et en troisième chapitre les résultats et discussion sont représentés. Le document se termine par une conclusion générale.



Chapitre I

Synthèse Bibliographique

I-1-Entomophagie

L'entomophagie, du grec ancien « entomos »:insecte et de « Pharos »: manger, est désignée comme la consommation d'insectes par l'espèce humaine (Comby, 1990).

L'entomophagie est une pratique encore répandue en Afrique, Asie, Afrique du Sud, même si elle décline en raison d'une occidentalisation des régimes alimentaires (Van Huis *et al*, 2013). Dans les pays occidentalisés, elle a été progressivement abandonnée au profit de l'élevage de bétail pour des questions de rentabilité principalement (Much, 2012). Aujourd'hui, la question de sa réhabilitation est en marche. En effet, les enjeux nutritionnels, économiques et écologiques de cette consommation sont tels que la Food and Agricultural Organisation des Nations Unies (FAO) a publié en 2013 un rapport sur l'entomophage. Elle envisage les insectes comme une alternative durable aux protéines animales face à la raréfaction des ressources naturelles, les pressions environnementales, l'augmentation croissante de la population mondiale et de la demande en protéines (Van Huis, 2013). Cependant, le rapport souligne que, malgré tous ces avantages, l'acceptation par les consommateurs reste le frein principal à l'adoption d'insectes en tant que source d'alimentation humaine (Gallen et Gaëlle, 2015).

I-2- Généralités sur les insectes comestibles

Actuellement, 2086 espèces d'insectes sont consommées par environ 3071 groupes ethniques dans 130 pays du monde (Ramos-Elorduy2009 ; Rumpold et Schlüter 2013a). Dans les populations rurales des pays de régions tropicales, Afrique, Asie, Australie et Amérique du Sud, où se trouve les insectes récoltés dans la nature qui présentent une bonne source de protéines et très bon marché l'entomophage était traditionnellement développée. Ensuite, elle s'est déplacée vers les villes fréquemment surpeuplées de ces différents pays, souvent à destination des populations urbaines les plus pauvres. Si la collecte des insectes comestibles perdure encore dans les zones rurales, elle a fait place à une industrie de production en masse d'insectes comestibles, essentiellement localisée dans les zones périurbaines. D'abord développée dans des fermes de taille modeste, cette activité de production et d'élevage d'insectes comestibles s'effectue maintenant dans des entreprises spécialisées, notamment en Thaïlande et dans d'autres pays d'Asie (Caparros *et al*, 2015).

Tableau n°01 : Nombre d'insectes comestibles par continent et nombre de pays

Consommateurs (Ramos-Elorduy, 2005).

Continent	Nombre	d'espèces enregistré	Pourcentage	du total	Nombre de consommer des pays
Asie		349		20	29
Australie		152		9	14
Afrique		524		30	36
Amériques		679		39	23
L'Europe*		41		2	11
Total		1745*		100	113

* Le total mondial est en réalité de 1 681 ; certaines espèces sont présentes sur plus d'un continent, d'où le total plus élevé

I-3-Répartition géographique des insectes dans le monde

Une analyse descriptive a été réalisée sur le nombre d'espèces consommées sur chaque continent, région et pays. Il a été constaté qu'en Afrique, en Asie et en Amérique, 320, 291 et 264 espèces ont été décrites, respectivement. En Australie, il existe un registre d'environ 100 espèces (fig. N° 01). Afrique du Sud, Asie du Sud-est et Nord L'Amérique (Mexique) sont les régions avec les registres les plus élevés. Le pays avec le nombre le plus élevé est le Mexique avec 177 espèces, suivies de la Thaïlande (89), du Congo et Zaïre (87), Inde (61), Australie (62), Chine (59) et Zambie (51). La figure 01 montre qu'en Afrique et en Asie, le nombre de pays où au moins cinq espèces ont été décrites est plus élevé qu'en Amérique. Beaucoup d'espèces qui sont consommées en Afrique et en Asie sont partagées par divers pays, et il y a même peu d'espèces qui montrent une distribution régionale. Concernant l'analyse taxonomique, les ordres d'insecte qui contiennent plus d'espèces consommées sont les coléoptères, les orthoptères et les hyménoptères avec respectivement 237, 215, 169 et 142 (Cerritos, 2009).

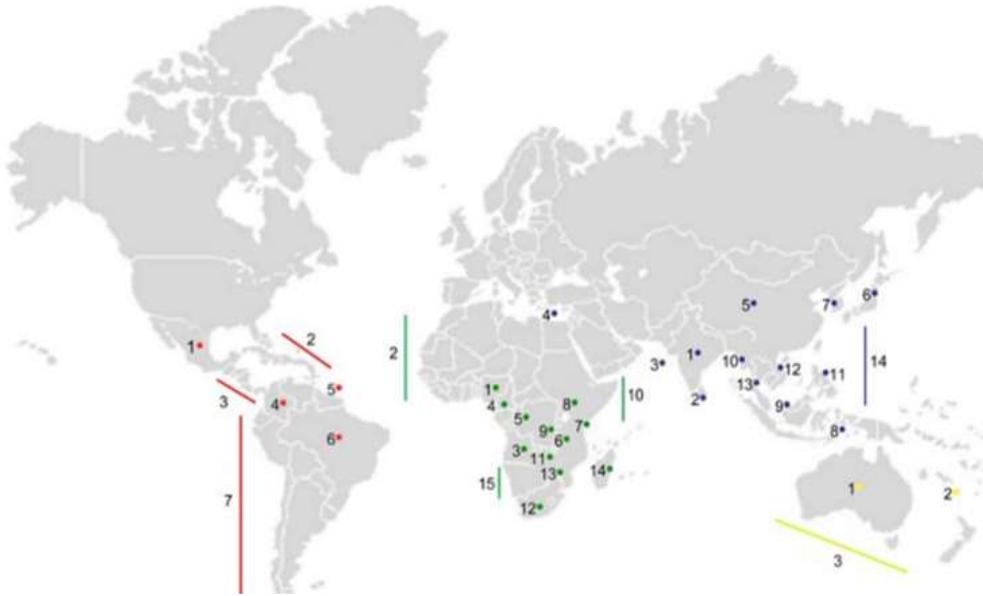


Figure n°01 : Perspectives en Agriculture, sciences vétérinaires, nutrition et ressources naturelles.

- AMÉRIQUE 264 spp.: 1, Mexique (177); 2, Caraïbes (8); 3, Colombie (42); 5, Guyane (6); 6, Brésil (197, reste d'Amérique du Sud (9)
- AFRIQUE 320 spp.: 1, Nigéria (11); 2, Nord et Ouest de l'Angola (11); 4, Cameroun (5), Congo et Zaïre (87), 6, Malawi (14); 7, Tanzanie (10) ; 8, Ouganda (5), 9, Zambie (51); 10, reste de l'Afrique centrale et orientale (5); 11, Botswana (5); 12, Afrique du Sud (32); 13, Zimbabwe (39); 14, Madagascar (26); 15, reste de l'Afrique du Sud (4)
- ASIE 291 spp., 1, Inde (61); 2, Sri Lanka (5); 3, reste de l'Asie du Sud et centrale (4), 4, Asie du Sud et de l'Ouest (7); 5, Chine (59); 6, Japon (30); 7, Corée (5); 8, Ondonesia (31); 9, Malaisie (10); 10, Birmanie (14); 11, Philippines (20); 12, Vietnam (19); 13, Thaïlande (814, reste de l'Asie du Sud-Est (5)
- AUSTRALIE 100spp, 1, Australie (62); 2, Papouasie-Nouvelle-Guinée (40); 3, AUSTRALIE REST (4)

I-4-Quels ordres d'insectes sont les plus consommés, À quels stades ?

Jongema (2015) établit que 89 % des 2 039 espèces consommées appartiennent à cinq ordres principaux d'insectes.

- ❖ L'ordre des coléoptères (scarabées) avec 31 % des espèces comestibles.
- ❖ L'ordre des lépidoptères (papillons) comptant 18 % des espèces comestibles.
- ❖ L'ordre des hyménoptères (fourmis, abeilles et guêpes) qui compte 15 % des espèces comestibles.
- ❖ L'ordre des orthoptères (criquets, sauterelles) avec 14 % des espèces comestibles.
- ❖ L'ordre des hémiptères (cigales, cicadelles, cochenilles et punaises) pour 11 % des espèces comestibles

Les autres ordres importants comptent les termites (isoptères) avec 3 %, les libellules (Odonates) avec aussi 3 %, les mouches (Diptères) avec 2 % et les cafards (Dictyoptères) avec également 2 %. Les araignées (Araneae) et les autres arthropodes représentent le dernier 3 %. Les pourcentages étant arrondis à l'unité (Dussault 2017).

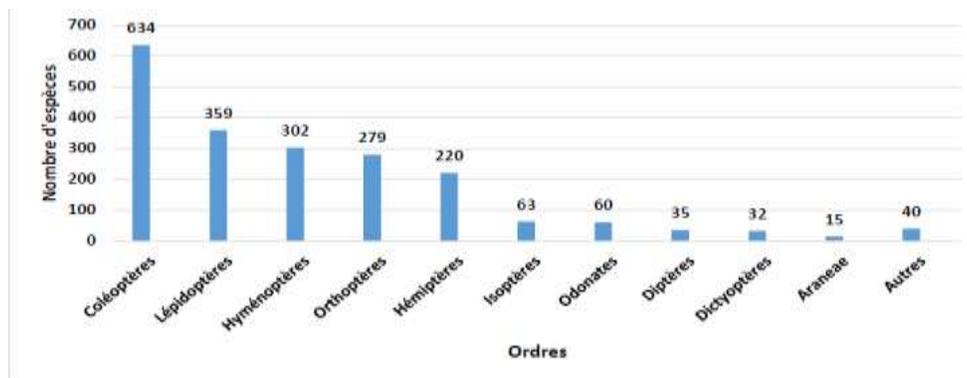


Figure n°02 : Nombre et pourcentage d'espèces ; par ordre ; consommées dans le monde (Jongema, 2015)

I-5-Valeur nutritionnelle des insectes pour l'alimentation humaine

La valeur nutritionnelle d'un aliment se définit par la quantification de plusieurs éléments. Pour les insectes, les valeurs peuvent varier au sein d'une même espèce en fonction du stade de développement de l'insecte, en fonction de leur habitat ou encore de leur alimentation. Les

protéines constituent un nutriment important à considérer, étant donné qu'en pays occidental, c'est comme aliment protéiné alternatif à la viande qu'on tente de le promouvoir. La valeur nutritive inclut également : les acides aminés, l'apport énergétique, les matières grasses, les vitamines, les minéraux et les fibres et les glucides. Les insectes sont toutefois souvent décrits comme étant pauvres en glucides (Dussault, 2017).

I-5-1-Protéines

La principale composante des insectes est les protéines qui peuvent varier de 45 à 75 g/100 g de poids sec, ce qui est généralement supérieur au contenu protéique de certaines viandes (Caparros *et al*, 2015).

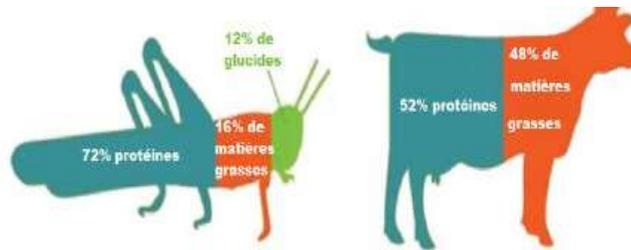


Figure n°03 : comparaison nutritionnelles d'un criquet et d'un bœuf. (Source : D'après les 7 raisons de consommer des insectes ! Majcher, 2016).

Tableau n°02 : Teneurs en protéines brutes des insectes (classés par ordres) (Xiaoming *et al*, 2010 ; Lavalette, 2013(2*) ; FAO, 2014(1*)).

Ordre des insectes	Stade	Variation de la teneur en protéines (%) (1*)	Variation de la teneur en protéines(%) (2*)
Coléoptères	Adulte et larves	23 – 66	26 – 42
Lépidoptères	Chrysalides et Chenilles	14 – 68	15 – 74
Hémiptères	Adultes et larve	42 – 74	29 – 72
Homoptères	Adultes, larves et œufs	45 -57	ND
Hyménoptère	Adultes, nymphes, larves et œufs	13 – 77	5 – 53
Odonates	Adultes et laves aquatiques	46 – 65	ND
Orthoptères	Adultes et juvéniles	23 – 65	ND
Isoptères	ND	ND	21 – 64
Diptères	ND	ND	37 - 49

I-5-2-Acides aminés

Le corps humain a un besoin indispensable des 8 acides aminés essentiels (phénylalanine, valine, thréonine, tryptophane, isoleucine, méthionine, leucine et lysine), car il ne peut pas les synthétiser lui-même et doit donc les trouver dans les aliments (FAO, 2014).

Les résultats de l'étude de (Ramos Élorduy et al, 1997) sur 78 espèces d'insectes comestibles montrent que la composition d'un insecte en acides aminés essentiels varie de 46 % à 96 % avec une digestibilité variable entre 77 % et 98 %. Comme pour les protéines, on observe de grands écarts entre les différentes espèces. Rumpold et Schlüter (2013) sont parvenus à cette conclusion dans leur analyse. La figure 04 démontre leurs résultats pour 11 acides aminés, dont les 8 essentiels, pour 75 espèces de 7 ordres différents (Caparros *et al*, 2015).

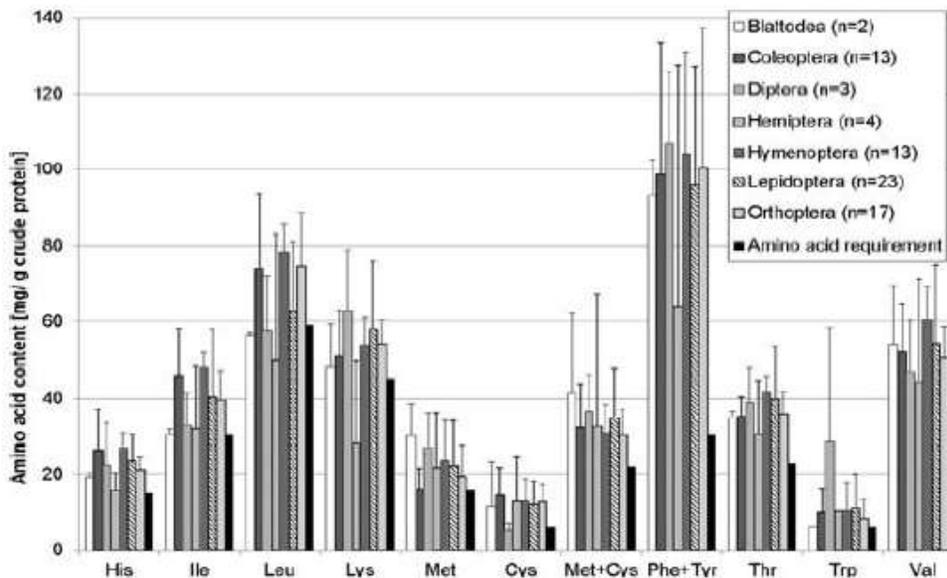


Figure n°04 : Teneur en acides aminés par ordres d'insectes comparés aux besoins humains (tiré de Rumpold et Schlüter, 2013).

I-5-3-Micronutriments

Les micronutriments, comme les vitamines et minéraux, jouent un rôle important dans la valeur nutritionnelle des aliments. La teneur en minéraux varie en fonction de l'espèce d'insectes, de son stade de développement et de son régime alimentaire.

Les insectes contiennent le fer, le zinc, le cuivre, le magnésium, le sélénium et le phosphore.

A côté des minéraux, les insectes peuvent également être des sources de vitamines.

A l'heure actuelle, très peu de données sont disponibles sur les vitamines présentes dans les insectes comestibles et les données disponibles sont sujettes à des variations entre les différentes publications. Bien que certains insectes soient riches en certaines vitamines comme la riboflavine ou la biotine.

De la même manière que pour la teneur en minéraux, la teneur en vitamines des insectes peut être augmentée si ces derniers sont élevés sur des substrats riches en vitamines (Caparros *et al* 2015).

I-5-4-Apport énergétique

Les besoins énergétiques moyens des individus adultes (25-65 ans) en bonne santé avec un facteur d'activité léger (NAP = 1.4) peuvent être estimés compris entre 1700 - 1900 kcal par jour pour les femmes et 2200 - 2400 kcal par jour pour les hommes. (Dach, 2015).

D'une manière globale, il semble que certaines espèces d'insectes soient une source importante d'énergie car ils sont riches en protéines et en lipides. (ANSES ; 2015).

Une analyse de 78 espèces d'insectes au Mexique révèle des densités énergétiques comprises entre 293 - 762 kilocalories pour 100 grammes d'insectes séchés (Ramos Elorduy *et al*, 1997).

Tableau n°03: Exemples des valeurs énergétiques d'espèces d'insectes préparées de différentes façons, par région (FAO, 2014).

Localisation	Nom commun et préparation	Nom scientifique	Valeur énergétique (kcal/100g poids frais)
Australie	Criquet australien, cru	<i>Chortoicetesterminifera</i>	499
Australie	Fourmi tisserande verte, cru	<i>Oecophyllasmaragdina</i>	1 272
Canada, Québec	Mélanople à patte rouge, entière, crue	<i>Melanoplusfemurrubrum</i>	160
Etats-Unis, Illinois	Ver jaune de farine, larve de ténébrion meunier, cru	<i>Tenebriomolitor</i>	206
Etats-Unis, Illinois	Ténébrionmeunier, adulte cru	<i>Tenebriomolitor</i>	138
Cote d'ivoire	Termite, adulte, désaillé, séché, farine	<i>Macrotermessubhyalinus</i>	535
Mexique, Etat de Veracruz	Fourmi Coupeuse de feuilles, adulte cru	<i>Attamexicana</i>	404

Mexique, État d'Hidalgo	Fourmi-pot-de-miel, adulte crue	<i>Myrmecocystus melliger</i>	116
Thaïlande	Grillon provençal, cru	<i>Gryllus bimaculatus</i>	120
Thaïlande	Nèpe géante (scorpion d'eau), crue	<i>Lethocerus indicus</i>	165
Thaïlande	Criquet d'Indonésie, cru	<i>Oxyajaponica</i>	149
Thaïlande	Criquet brun tacheté, cru	<i>Cyrtacanthacristatarica</i>	89
Thaïlande	Ver à soie domestique, chrysalide crue	<i>Bombyx mori</i>	94
Pays-Bas	Criquet migrateur, adulte cru	<i>Locust migratoria</i>	179

I-5-5-Glucides

Les insectes ne contiennent que peu de glucides. La répartition de la teneur glucidique des insectes peut varier de 1% de leur masse totale jusqu'à 10% chez certaines espèces (Chen, 2009) comme *L. migratoria* et *Shistocerca gregaria*.

Il n'y a pas de glucides dans les produits d'origine animale précédemment comparés (Keller *et al.*, 2012).

I-5-6-Matières grasses

La matière grasse est un macronutriment ayant une forte valeur énergétique et qui est composée de 3 types d'éléments : les acides gras saturés, les acides gras insaturés et les acides gras essentiels. L'homme ne pouvant synthétiser l'acide linoléique (oméga-6) et l'acide α -linoléiques (oméga-3), on les considère comme des acides gras essentiels à intégrer dans notre alimentation (FAO, 2008). La matière grasse représente la deuxième plus grande proportion de la composition nutritionnelle des insectes après les protéines (Rumpold et Schlüter, 2013).

Les insectes sont riches en lipides, notamment en (AGPI et en AGMI). Ils contiennent entre 10% et 60% de lipides. Certains insectes contiennent également les acides gras essentiels oméga-3 et oméga-6 (Xiaoming *et al.*, 2008).

La composition en lipides de l'insecte est la teneur la plus variable de ses macronutriments. Les formes larvaires ont généralement tendance à être plus riches en graisses que les formes adultes, sauf pour le criquet qui est plus gras en état d'adulte adulte qu'à l'état de nymphe. (Van Huis *et al.* 2013).

La teneur moyenne en matières grasses des différents ordres d'insectes varie entre 13,41 % (orthoptères) et 33,40 % (coléoptères). Parmi eux, on retrouve les isoptères (32,74 %), les hémiptères (30,26 %), les blattoptères (29,90 %) et les lépidoptères (27,66 %) (Rumpold et Schlüter, 2013).

La constitution en acide gras des insectes est également variable. Le tableau suivant expose les teneurs moyennes de chacun des acides gras par ordre d'insecte.

Tableau n°04 : Teneur moyennes de chacun des acides gras par ordres d'insectes (Rumpold et Schlüter, 2013)

Ordre d'insecte	Acide gras saturés (AGS)(%)	Acide gras monoinsaturés (AGMI)(%)	Acide gras polyinsaturés (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
Lépidoptère	37,04	22,36	39,76
Orthoptères	32,05	29,37	37,08
Dictyoptères	41,22	49,58	1,06

I-5-7-Teneur en fibre

Les insectes contiennent une quantité significative de fibres, majoritairement sous forme de chitine qui constitue l'essentiel de leur exosquelette. Il s'agit d'une fibre insoluble dérivée du glucose qui ressemble à la cellulose présente dans les plantes. De par sa ressemblance moléculaire avec la cellulose, la chitine porte la représentation de ne pas être digérable par l'organisme humain. (Van Huis *et al* 2013).

Ce tableau résume les valeurs nutritionnelles des insectes comestibles.

Tableau n°05 : Composition nutritionnelle (%) et contenu énergétique (kcal /100g) d'insectes comestibles basé sur la matière sèche (Rumpold and Schlüter, 2013)

Insectes comestibles	Protéines (%)	Lipides (%)	ENA(%)	Fibres (%)	Cendres (%)	Contenu énergétique(Kcal/100 g)
Orthoptères	61,32	13,41	12,98	9,55	3,83	426,25
<i>Acheta domesticus</i> (adultes)	66,56	22,08	2,26	22,08	3,57	455,19

<i>Acheta domesticus</i> (adultes)	70,75	18,55	/	16,35	5,03	/
<i>Acheta domesticus</i> (larves)	67,25	14,41	3,93	15,72	4,80	414,41
<i>Acheta domesticus</i> (larves)	70,56	17,74	/	14,92	4,84	/
<i>Schistocerca</i> sp. (larves)	61,00	17,00	7,00	10,00	4,60	427,00
<i>Schistocerca</i> sp. (larves)	66,10	17,00	7,00	10,00	4,60	
Lépidoptères	45,38	27,66	18,76	6,60	4,51	508,89
<i>Bombyx mori</i> (chenilles)	53,76	8,09	25,43	6,36	6,36	389 ,60
<i>Bombyx mori</i> (chenilles)	69,84	9,52	11,11	5,95	2,85	/
<i>Bombyx mori</i> (chrysalides)	48,70	30,10	/	/	8,60	/
<i>Cirina forda</i> (chenilles)	33,12	12,24	38,12	9,40	7,12	359,00
<i>Galleria mellonella</i> (chenilles)	41,25	51,40	/	12,10	3,30	/
<i>Galleria mellonella</i> (chenilles)	33,98	60,00	3,37	19,52	1,45	650,13
Coléoptères	40,69	33,40	13,20	10,74	5,07	490,30
<i>Rhyncophorus</i> <i>phoenicis</i> (larves)	28,42	30,40	48,60	2,82	2,70	/
<i>Rhyncophorus</i> <i>phoenicis</i> (larves)	41,69	37,12	/	/	3,27	478,60
<i>Tenebrio molitor</i> (larves)	47,18	43,08	0,26	7,44	3,08	577,44
<i>Tenebrio molitor</i> (larves)	49,08	35,17	7,09	14,96	2,36	539,63
<i>Tenebrio molitor</i> (larves)	53,10	36,70	1,90	5,10	3,20	550,00
<i>Tenebrio molitor</i> (larves)	43,13	40,80	/	13,00	3,50	/
<i>Tenebrio molitor</i> (larves)	46,79	42,04	2,61	9,26	2,38	575,53
<i>Zophobas atraturus</i> <i>morio</i> (larves)						
<i>Zophobas atraturus</i> <i>morio</i> (larves)						
Hyménoptères	46,47	25,09	20,25	5,71	3,51	484,45
<i>Apis mellifera</i> (larves)	42,00	19,00	35,00	1,00	3,00	475,00
<i>Apis mellifera</i> (larves)	41,68	18,82	34,82	1, 33	3,35	/
<i>Atta mzxicana</i> (adultes)	66,00	24,02	4,92	2,06	3,00	/
<i>Atta mzxicana</i> (adultes)	46,00	39,00	0,00	11,00	4,00	555,00
Isoptères	35,34	32,74	5,06	22,84	5,88	/
<i>Maroterme</i> <i>bellicosus</i> (adultes)	34,80	46,10	/	/	10,20	/
<i>Maroterme</i> <i>bellicosus</i> (adultes)	20,40	28,20	43, 30	2,70	2,90	/
Diptères	49,48	22,75	6,01	13,56	10,31	409,78
<i>Musca domestica</i> (larves)	63,99	24,31	1,25	/	5,16	552,40

I-6-Applications alimentaires

A l'heure actuelle, on trouve dans le commerce et principalement par le biais d'internet, différentes formes d'insectes comestibles :

- Sucettes
- Pâtes produites avec de la farine d'insecte en complément
- Farine d'insecte, pouvant substituer la farine de blé
- Barres protéinées, fabriquées en France par «Gryo»
- Cake citron au ver de farine caramélisée
- Chocolat surmonté d'un grillon
- Insectes nature pour l'apéritif

Ces insectes ou préparation d'insectes sont, soit importés d'Asie soit idéalement produits en France, avec un impact environnemental moindre.

Une entreprise à Toulouse appelée Microcuries produit des vers de farine et des grillons. On peut les trouver sous différentes formes (pâtes, chocolat, biscuit, nature ou aromatisés) comestibles (<http://www.micronutris.com/fr/accueil>)

Il y a même différentes recettes proposées par cette entreprise afin de sublimer les insectes.

I-7-Dangers liés à la consommation des insectes comestibles

Comme dans le cas de tout autre aliment, on fait l'attention la consommation d'insectes. En effet, les insectes ne sont pas tous comestibles (Caparros *et al* 2015).

L'ANSES (2015) fait état de quatre grandes catégories de dangers : chimiques, physiques, allergène et microbiologiques.

I-7-1-Dangers Chimique

Les dangers chimiques résultent de substances fabriquées par l'insecte lui-même ou de substances accumulées par l'insecte via l'environnement ou l'alimentation.

Certains insectes synthétisent des substances toxiques de défense ou répulsives, d'origine endocrine ou non glandulaire (Vandermeersch, 2018).

I-7-2-Danger allergène

Plusieurs cas d'allergie ont été rapportés chez les personnels de laboratoire affectés à l'entretien des élevages d'insectes. Plusieurs cas d'allergie alimentaire dus à l'ingestion d'insectes ont été rapportés dans la littérature.

Il s'agit essentiellement de troubles respiratoires mais également de manifestations cutanées. Ces réactions allergiques sont attribuées à des aéro-allergènes et à des allergènes de contact.

D'autres allergies professionnelles ont été identifiées chez des fermiers, des agriculteurs et des boulangers, dans ce dernier cas, à des insectes contaminant la farine (Vandermeersch, 2018).

I-7-3-Dangers microbiologiques

Comme toute denrée d'origine animale, les insectes peuvent présenter des risques microbiologiques. En cause, la consommation de l'insecte parfois dans son entier, avec ses intestins et son microbiote. La qualité du microbiote intestinal de l'insecte, et donc des risques liés à sa consommation par l'humain, est variable selon les espèces, leur stade de développement, leur environnement et en fonction de leur alimentation (ANSES, 2015).

Tous les insectes capturés dans la nature ainsi que les insectes d'élevage possèdent des microorganismes ou peuvent être contaminés par divers micro-organismes dans leur flore intestinale, des traces de différents micro-organismes peuvent être présentes aussi sur la cuticule ou l'exosquelette des insectes.

Dans une étude sur certaines espèces d'insectes, la flore microbiologique se composait essentiellement de bactéries Gram négatif, parmi lesquelles des coliformes fécaux et totaux. La population Gram positif se composait principalement de *Micrococcus spp.*, de *Lactobacillus spp.* (10^5 ufc/g) et de *Staphylococcus spp.* (Environ 10^3 ufc/g). Aucune *Salmonella* ni *Listeria monocytogenes* n'a été détectée (Belluco *et al.* 2013). Dans une autre étude, la présence de 10^4 - 10^6 ufc/g d'*Enterobacteriaceae* et 10^2 - 10^4 de bactéries sporulantes n'appartenant généralement pas à une espèce pathogène a été détectée dans des vers de farine (*Tenebrio molitor*) et dans des grillons domestiques (*Acheta domesticus*) d'élevage frais (Klunder *et al.* 2012). Des valeurs élevées similaires de 10^7 ufc/g ont été observées pour le nombre total de germes aérobies, mais aussi pour le nombre total de germes anaérobies (AFSCA 2014).

I-7-4-Dangers physiques

Comme les insectes sont couramment consommés entiers, il peut devenir dangereux de consommer certaines parties plus dures ou pointues. Cependant, les insectes comestibles ne sont pas considérés comme un vecteur de danger physique. Il demeure tout de même important de rester attentif à la façon de les manger. Plusieurs cas d'accidents liés aux poils urticants des araignées qui se sont coincés dans la gorge ont été rapportés (Sorkin, 2016).

I-7-5-Dangers toxicologique

Concernant les aspects liés à l'environnement, le premier risque concerne la présence de métaux lourds au sein de l'insecte. Certaines parties de son organisme, comme le tissu adipeux, l'exosquelette, le système digestif ou les organes génitaux sont qualifiés de bio-accumulateurs, c'est-à-dire qu'ils stockent facilement des contaminants comme les métaux lourds. Une étude décrit par exemple que les vers de farine peuvent accumuler une teneur importante de plomb et de cadmium dans leur organisme lorsqu'ils se nourrissent de matière organique qui provient de sols contaminés par ces métaux (Vijver, 2003).

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

I-8-Généralités sur le criquet migrateur *Locusta migratoria*(L., 1758)

I-8-1-Identité taxonomique du genre *Locusta*

Le genre *Locusta*(=*Pachytylus*,Fieber 1853) ne contient qu'une espèce polymorphe *L.migratoria* (Linnaeus, 1758). Cette espèce a été décrite par Linné sous le nom de *Gryllus(Locusta) migratorius* en 1758 dans *Systema Naturae*, ed. 10, 1 : 431. La parenthèse dencadrant*Locustaa* été ajoutée postérieurement à Linné pour distinguer le sous-genre *Locusta* à l'intérieur du genre *Gryllus*. Linné a considéré *G. (Locusta) migratorius* comme espèce type du sous-genre. Par la suite, cette subdivision a été élevée au rang de genre, *Locusta* donc, par Linné lui-même.

Dans cette même subdivision il a décrit plus tard, en1767, l'espèce *danicus* dont Uvarova a monté qu'il s'agissait de la forme solitaire, peut être de la sous-espèce *migratoria*.

I-8-2- Systématique et morphologie de *Lucosta migratoria*

I-8-2-1-Position systématique

Les criquets migrateurs sont des insectes ptérygotes, c'est-à-dire qu'ils sont ailés une foie adulte . Ils font aussi partie des hétérométabole de type paramétrable. Hétérométaboles car il manque un stade immobile entre larve et adulte. Paramétrable car l'adulte et larve ont le même milieu de vie. Le développement est ainsi progressif ; la larve ressemblant beaucoup à l'adulte

mais sans ailes. *Locusta migratoria* mérite l'appellation de criquet velu, à cause de la pilosité thoracique ventrale (Duranton et al. 1982). La crique migratrice fait partie de l'ordre des Orthoptères et du sous ordre de Caelifères. Cette espèce fait partie de la famille des Acrididae (Mac Leay ; 1819), de la sous-famille des Oedipodinae (Walker, 1870).

Selon, L'ouveauxet Ben Halima(1986), la position taxonomique du criquet migrateur *Locusta migratoria* est comme suit :

Règne : Animal

Embranchement : Arthropodes

Sous –embranchement : Antennates

Classe : Insectes

Sous-classe : Ptérygotes

Section : Néoprènes

Sous-section : Néoptéresexopterygogènes

Super-ordre : Orthopteroides

Ordre : Orthoptera

Sous-ordre : Caelifera

Super famille :Acridoidea

Famille :Acrididae

Sous-famille : Oedipodinae

Genre : Locusta

Espèce : Locusta migratoria(Linne,1758)

I-8-2-2-Morphologie

I-8-2-2-1-Œuf

L'œuf de *Locusta migratoria* présente une forme allongée et incurvée, à extrémité arrondie, d'une couleur brun clair et d'une taille variant de 5,5à7mm. Les œufs sont déposés dans le sol l'intérieur d'une oothèque suivant un arrangement particulier grâce à une pièce sclérifiée : le guide de l'œuf. La bilatérale. La masse viagère qui est constituée d'œuf et de l'oothèque est surmontée d'un bouchon de matière spumeuse (Popov *et al*, 1990).

I-8-2-2-2- Larves

Les larves de la phase solitaire se distinguent de celles de la phase grégaire par la carène dorsale du pronotum en forme de crête, non déprimée ou droite.

La plupart des larves *Locusta* en 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 (Durantion *et al*, 1982).

I-8-2-2-3-Adulte

Les ailés de la phase solitaire, présentent un pronotum saillant et non selliforme, une taille nettement plus grande chez les femelles que chez les mâles et un polychromisme vert/brun selon les saisons chez les grégaires. Mâles et femelles ont presque la même taille et sont très fortement mélanisés (Anonyme, 1993).

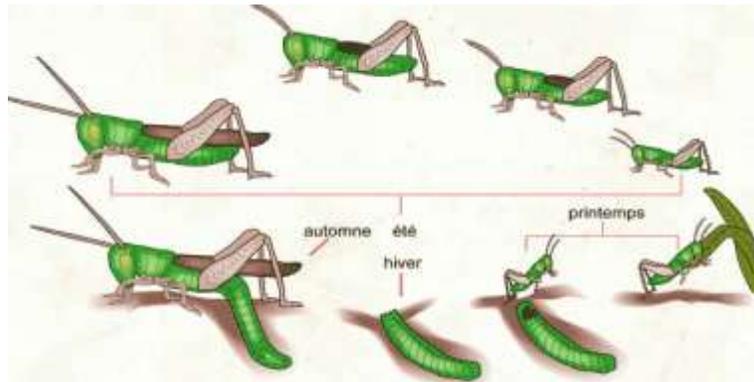


Figure n°05 : Cycle de développement du criquet migrateur *Locusta migratoria*.

Source : http://m.maleplate.free.fr/Action%20el%E8ves/elevages/acc_criquets.html

I-9-Conditions générales d'élevage et cycle de développement de *Locusta migratoria*

I-9-1-Conditions générales d'élevage du criquet migrateur

- Température optimale : 33°C, au moins 30°C.
- Eclairage en lumière continue
- Aération deux ouvertures
- L'humidité de l'air faible
- Hygiène assurer un nettoyage quotidien
- L'eau
- Nourriture essentiellement à base de graminées. La nourriture doit rester fraîche le plus longtemps possible.

- Enceinte d'élevage, cages en bois.

I-9-2-Cycle de développement

Le criquet migrateur est une espèce à reproduction continue durant toute l'année sans arrêt de développement à aucun stade (Lecoq, 1991). Le cycle biologique de ce criquet comprend trois états successifs : l'état embryonnaire, l'état larvaire et l'état imaginaire (Appert et Deuse, 1982). Pour Launois-Luong et Lecoq (1989), le criquet migrateur africain peut avoir 4 à 5 générations par an sous sa phase solitaire et 3 dans sa phase grégaire.

I-9-2-1- Ponte

Dans une grande majorité des cas, la ponte s'effectue dans le sol, il existe néanmoins un petit nombre de femelles qui déposent leurs œufs dans les végétaux (Uvarov, 1944).

Les œufs sont déposés sur la couche humide du sol entre cinq à quinze cm de profondeur (Popov *et al*, 1990). Une fois qu'elle a déposé ses œufs, la reproductrice redresse son abdomen puis remplit le trou en y grattant de la terre et tasse bien la surface (Steedman, 1988).

I-9-2-2- Développement embryonnaire

L'absorption de l'humidité du sol est nécessaire pour le développement embryonnaire qui dure une dizaine de jours en saison sèche et un mois en saison fraîche (Launois– Luong et Lecoq, 1989).

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

I-9-2-3-Éclosion et développement larvaire

Selon (Durantion et Lecoq, 1990), l'éclosion se produit en fin de développement embryonnaire pour donner une larve dite vermiforme. La durée de développement larvaire dépend essentiellement de la température de l'air.

Le développement larvaire chez *L. migratoria* passe normalement par 5 stades et dure environ 3 semaines) (Launois– Luong et Lecoq, 1989).et leur taille s'accroît à chaque fois. La période qui sépare deux mues successives s'appelle un stade. La dernière mue permettant le passage, du stade larvaire 5 (ou 6) à l'imago, ou ailé, s'appelle la mue imaginaire. Le nouvel ailé, appelé «jeune ailé», doit attendre le séchage et le durcissement de ses ailes avant de pouvoir

voler. Les ailés ne muent pas et leur taille ne s'accroît donc pas mais leur poids augmente progressivement.

Les ailés qui peuvent voler sont, au départ, sexuellement immatures. Quand ils deviennent sexuellement matures, ils peuvent s'accoupler et la ponte des œufs est effectuée par les femelles (Symmons et Cressman, 2001).

I-9-2-4-Développement imaginal et maturation sexuelle

La larve du 5^{ème} stade subit une mue imaginale qui donne naissance à l'adulte (De 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).

La vie imaginale de *locusta migratoria* peut s'étaler jusqu'à trois mois en l'élevage au laboratoire (Koucha, 1997).

I-9-2-5-Accouplement

Pour s'accoupler, la mâle grimpe sur la femelle, l'extrémité de son abdomen tordue sur le côté (Chopard, 1938), le spermatophore est introduit dans la spermathèque de la femelle, le sperme se trouve transféré dans les organes femelles (Grassé, 1949).

I-10-Distribution géographique de *Locusta migratoria* en Algérie

En Algérie l'espèce *Locusta migratoria* (Faricius, 1781) occupe actuellement tout le territoire algérien mais elle est très inégalement répartie

D'après (Chopard, 1943), on rencontre les criquets migrants dans plusieurs wilayas de l'Algérie ; Oran, à Saida, à Laghouat, Biskra, à Skikda, et Taref.

Au sud l'espèce vit à l'état endémique dans les zones anthropiques du Sahara centre septentrionale en particulier aux niveaux des périmètres irrigués cultivés en céréales (Benfekih et al, 1996). Elle est signalée dans la région d'Adrar par plusieurs auteurs citons : (Seddik, 1994); Khaldi, 1996 ; Kara, 1997). Une espèce *L.migratoria* considérée comme typique de l'Afrique de l'ouest a été capturée par (OULD- EL – HADJ, 1994) à Abalassaprés de Tamanrasset et à El – Goléa.

Selon (Benfekih, 2006), les densités enregistrées au nord sont généralement très faibles et les individus isolés passent facilement inaperçus. Il n'en est pas de même dans le sud algérien, où les pratiques agricoles favorisent le développement de populations de ce criquet. Il est utile de

signaler que certaines régions du nord algérien, notamment orientales et occidentales sont jusqu'alors sous prospectées d'où une connaissance très incomplète de la répartition de ce criquet. En revanche, la connaissance de la présence de cette espèce dans le sud algérien est relativement plus satisfaisante grâce aux prospections acridiennes des services de la protection des végétaux.

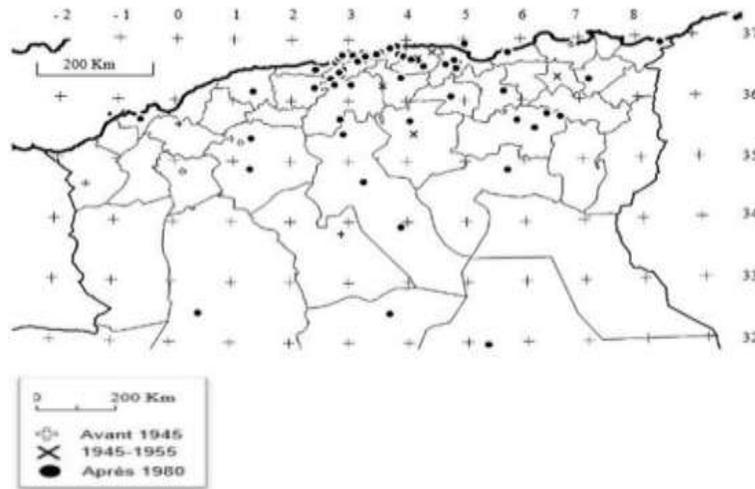


Figure n°06 : Répartition de *Locusta migratoria* en Algérie (Benfekih, 2006)

I-11-Régime alimentaire de *Locusta migratoria*

Les larves et les adultes du criquet migrateur se nourrissent essentiellement à base de graminées comme les pousses des herbes graminées de préférence dures et tranchantes, Molinie (*Molinia*), Canches (*Aira*), chiendent amélioré (*Cynodondactylon*), Orges des rats (*Hordeum murinum*), de seigle (*Secale cereale*); de millet (*Panicum miliaceum*), de l'avoine (*Avena sativa*), maïs (*Zea mays*), riz (*Oryza sativa*), blé (*Triticum*), canne à sucre (*Saccharum*) et feuilles de maïs et de luzerne au printemps (Bonnemaison, 1961).

Les criquets apprécient aussi les endives et la farine de son et le son de blé, quelques dégâts ont été observés sur le haricot, le carex, les joncs, la courgette et la pomme de terre (Bonnemaison, 1961).

I.12-Valeurs nutritionnelles de *Locusta migratoria*

D'après les informations trouvées; il s'avère que les criquets sont riches sur le plan nutritionnel (Elagba, 2015) a réalisé des analyses biochimiques des larves du criquet migrateur

comestible (*Locusta migratoria*), et il indiqua la présence de $96,19 \pm 0,2\%$ de matière sèche dans 100 g de produit sec. Les protéines brutes étaient de $50,42 \pm 2\%$, les graisses brutes $19,62 \pm 0,8\%$, les glucides $4,78 \pm 0,74\%$, les fibres brutes $15,65 \pm 1,7\%$, les cendres $6,24 \pm 0,5\%$ et la teneur en humidité était $3,81 \pm 0,2\%$. Le contenu énergétique était de $490,4 \pm 4$ calories dans 100 g de produit sec. La teneur en minéraux était très faible à l'exception du phosphore, ayant une valeur moyenne de $29,6 \pm 4,32$ ppm, tandis que d'autres minéraux étaient variables de 0,04 à 2,2 ppm. Les résultats trouvés par cet auteur indiquent une valeur nutritive élevée du criquet migrateur et pourraient être considérés comme une bonne source de nourriture pour les humains et les animaux, en particulier pour les protéines, les graisses, le phosphore et l'énergie. Il est recommandé d'appliquer des pratiques d'hygiène lors de la collecte et de la cuisson de ces insectes et d'éviter leur contamination par des insecticides.

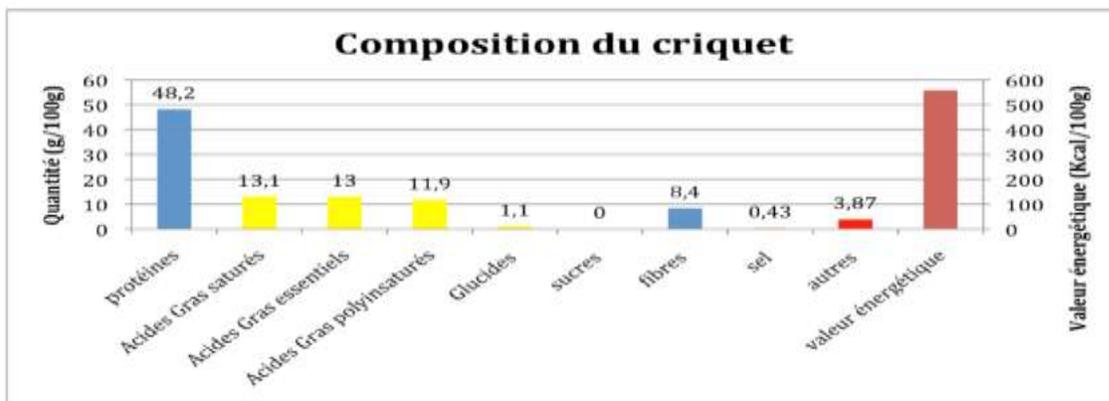


Figure n° 07 : Composition du criquet (pour 100g) (Vandermeersch, 2018).

À l'heure actuelle, il n'y a que quelques produits commerciaux à base d'insectes vendus sur le marché occidental, notamment de la farine d'insecte moulu (souvent du criquet), vendue seule ou incorporée dans des barres, des croustilles, des poudres de protéines, des biscuits et même des pâtes.

Les criquets sont moins populaires et très peu de produits ont utilisé la protéine d'insecte extraite comme ingrédient. Même avec le potentiel prometteur des criquets comme source alternative de nourriture ou de protéines (Clarkson, 2018).

I-13-Généralités sur le biscuit

1-Définition des biscuits

L'origine du mot est claire : « BIS-CUIT, qui a subi une double cuisson. »

C'est un aliment à base de farines alimentaires de matière sucrantes, de matières grasses, d'œufs et de tout autre produit alimentaire, parfums et condiments autorisés, susceptible, après cuisson, de conserver ses qualités organoleptiques et commerciales pendant une durée pouvant dépasser une année (biscuiterie sèche) ou un temps limité (pâtisserie industrielle).

2-Classification des biscuits

D'après la fiche technique du laboratoire de contrôle de qualité de la Biscuiterie MAXON, Kharouba Boudouaou.

Il n'existe pas de classification officielle des biscuits en raison de leur très grande variété des composants qui peuvent entrer dans leurs fabrications. Cependant, selon la consistance des pâtes, il est possible de distinguer :

- Des pâtes dures, type biscuit sec
- Des pâtes molles, type pâtisserie industrielle
- Des pâtes liquides, type gaufrette

D'autres produits qui ne rentrent pas dans cette classification c'est le cas des pains dépiqués, des crackers et autres.

3-Matières premières des biscuits

- La farine de blé tendre
- La matière sucrante
- La matière grasse
- Les levains chimiques
- Le lait
- Le sel (chlorure de sodium)
- Les arômes
- Les œufs
- l'eau
- Méta bisulfite de sodium (MBS)
- L'extrait de malt
- La lécithine
- Les déchets de biscuits

4-Technologie de fabrication des biscuits

Les opérations essentielles dans processus de fabrication du biscuit sont

4-1-Malaxage

Le but premier du malaxage est d'obtenir une pâte homogène et de minimiser le développement de gluten de la farine pour obtenir une pâte à consistance permettant la production de biscuits à dimension et de symétrie uniforme.

4-2-Façonnage

Les machines varient selon les types de pâte préparée on distingue 4 types

- 1- La pâte à la rotative
- 2- La pâte à la découpeuse
- 3- La pâte coupeuse à fil
- 4- La pâte à l'extrusion

4-3-Dorage des biscuits

On procède avant cuisson à un dorage léger des formes découpées à l'aide de divers mélanges à dorure, généralement à base d'œuf. Ce dorage est fait soit à la main soit à l'aide d'un système automatique de brosses.

4-4-Cuisson

La cuisson des biscuits est ponctuée par les événements physico-chimiques suivants :

- Fusion très rapide du gras (perte de l'état cristallisé), dès 15°C jusqu'à 50 °C ;
- Dégagement de gaz (CO₂ et NH₃) décomposition des poudres levants (ou levures chimiques) entre 55 et 70 °C.
- Gélatinisation partielle de l'amidon, commence à 52 °C et se poursuit jusqu'à 93 °C, cette gélatinisation joue un rôle très important dans la texture interne du biscuit.
- Au fur et à mesure de la cuisson, il y a l'évaporation d'arômes et la migration de l'eau non seulement de la pâte vers l'atmosphère ambiante du four, mais aussi du gluten vers l'amidon.

- Dénaturation irréversible des protéines de la farine, des œufs du lait et d'autres ingrédients commencent à 63 °C jusqu'à 74 °C, il assure l'ossature ou la rigidité du biscuit ce qui marque la dernière étape de l'expansion du pâton et donne l'aspect final du biscuit.
- Brunissement de la surface est causé par la caramélisation des sucres, la réaction de Maillard (interaction d'un sucre réducteur avec une protéine), la dextrinisation de l'amidon et Le rôtiage de la partie farineuse. C'est aux alentours de 149 °C que débute la caramélisation des sucres, puis entre 188 °C et 205 °C, l'amidon se convertit progressivement en dextrines. Les produits des réactions de caramélisation et de Maillard donnent panoplie de couleurs et saveurs très agréables.

4-5-Refroidissement

A la sortie du four, les biscuits ont une température de 320° 350° C, et sont plus ou moins mous, donc ils doivent subir un refroidissement avant emballage .Le refroidissement des biscuits se fait selon deux méthodes : le refroidissement à l'air libre, et le refroidissement accéléré, progressivement à l'abri de tout choc thermique provoquant les fissurations et la cassure des biscuits.

4-6-Conditionnement

Après la vérification du poids, la couleur et les dimensions les produits sont conditionnés dans des machines d'enveloppages sous forme de paquet ou dans des machines à former ,emplir, et fermer les sachets.

L'emballage du biscuit contribue à :

- Protéger les biscuits fragiles tout en évitant les risques de casse
- Eviter la prise humidité
- Assurer la fraîcheur du bon biscuit
- Garder le produit en tout état hygiénique



Chapitre II

Matériel et Méthodes

II- Matériel et Méthodes

Notre travail a été réalisé au niveau de :

- Laboratoire de Contrôle de Qualité et de Conformité Si Mustapha - Boumerdes
- Biscuiterie Maxon Kharouba (Boudouaou)
- Ecole Nationale Vétérinaire d'Alger ENVA-Alger
- Laboratoire de Contrôle de Qualité et de Conformité ESAFAA Azzouza, Chabet El Aneur-Boumerdes.

Notre but consiste à :

- ✓ Un contrôle microbiologique de la farine du criquet *Locusta migratoria* qui permet d'obtenir un aliment (biscuit Muffin) sains.
- ✓ Un contrôle physicochimique de la farine du criquet *L. migratoria* qui a pour but de voir la qualité alimentaire et la valeur nutritionnelle de nouvelle farine.
- ✓ Incorporation de la farine de criquet (*L.migratoria*) dans la formulation de biscuit Muffin.
- ✓ Contrôle de qualité de biscuit Muffin.

II-1-Matériel animal

Le criquet migrateur (*Locusta migratoria*) a été fourni par le laboratoire Valorisation et Conservation des Ressources Biologiques VALCORE de la Faculté des Sciences de l'Université M'Hamed Bougara de Boumerdes (UMBB). L'élevage a été fait au niveau des salles d'élevage du laboratoire.

II-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 et sont renseignés dans l'Annexe 2.

II-3-Méthodes

II-3-1-Séchage et broyage

II-3-1-1 Séchage

Les criquets adultes tués par le froid sont séchés naturellement par exposition au soleil pendant 4 jours puis éliminer les tibias épineux des criquets (Fig. n°08,09 ,10).



Figure n°08:Premier jour de séchage



Figure n°09 :Quatrième jour de séchage



Figure n°10:Criquet migrateur sans les trois paires de pattes.

II-3-1-2 Broyage

Au départ, le broyage est fait manuellement (Fig n°11).



Figure n°11: Broyage manuel de *Locusta migratoria*

En suite, pour bien broyer nous avons utilisé un broyeur électrique à différentes vitesses de broyage (Fig n°12).



Figure n°12: Broyage électrique



Figure n°13 : Farine de *Locusta migratoria*

II-3-2-Analyses microbiologiques de la farine de *Locusta migratoria*

II-3-2-1-Principes des manipulations microbiologiques

La solution mère a été préparée en diluant 10g de la farine d'insecte dans 90 mL de Triptone sel (TS) (10^{-1}), d'autres dilutions décimales ont été préparées (Fig n°15).



Figure n° 14 : Poste de travail pour les diverses manipulations microbiologiques



Figure n°15 : Solution mère contenant farine d'insecte en solution avec TS



Figure n°16: Préparation des biotes de Pétri et les tubes

II-3-2-2-Recherche des Germes aérobies mésophiles

Principe

Le dénombrement des germes aérobies mésophiles(GAM) a été réalisé selon les normes (N.A 1207) APHA et ISO 4833 sur le milieu PCA (Standard Méthodes 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

On verse 15 mL de la gélose PCA en surfusion dans trois boites Pétri, on le laisse solidifier, Un volume de (1 mL) est prélevé aseptiquement des dilutions décimales puis ensemençer en forme 8 sur la le gélose de la boite Pétri. L'incubation est faite à 30°C pendant 72h.



Figure n°17 : Ensemencement sur gélose

Lecture

Les boîtes positives présentent un halo clair autour de chaque colonie, lenticulaire blanchâtre en masse.

II-3-2-3-Recherche de Coliformes Totaux et coliformes fécaux (*Escherichia coli*)

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

Principe

Ce groupe bactérien se distingue des autres entérobactéries par leur aptitude à fermenter le lactose en produisant des acides et du gaz CO₂ en présence de sel biliaire, leur détection consiste à incuber l'échantillon à 37°C pendant 24 à 48 h.

Pour cela on utilise des milieux de culture contenant de lactose comme source de carbone.

On utilise le milieu VRBL (Violet Red Bile Lactose Agar). Le dénombrement des coliformes totaux a été fait selon les normes ISO 4832 et FAD-BAM.

Mode opératoire

On verse 15 mL du milieu VRBL dans trois boîtes Pétri, après solidification, un ensemencement de (1 mL de chaque dilution) est sur la gélose. L'incubation se fait à 30°C pendant 24 h-48h.

Incubation

Les boîtes de Pétri sont incubées couvercle en bas pendant 24 à 48 h à :

- 37°C pour la recherche des coliformes totaux.
- 44°C pour la recherche des coliformes fécaux thermo tolérants (*E.coli*).

Lecture

Les colonies des coliformes totaux et fécaux apparaissent en masse sous forme de petites colonies de couleur rouge foncé et de 0,5 mm de diamètre.

II-3-2-4-Recherche de *Clostridium Sulfito Réducteur*

Les Clostridiiums sont des espèces de la famille des Clostridiaceae, ce sont des bacilles Gram positif anaérobie stricte sporulés. Les spores sont ovales ou sphériques déformantes à flagelles péritriches.

Principe

Le dénombrement des *Clostridiiums sulfito-réducteurs* s'est fait selon les normes N.A1614 et ISO 9001.2015 sur milieu CVF (Civer Meat Agar).

Les *Clostriduum sulfito-reducteur* et *Clostridium perfringens* réduisent les sulfites en sulfures.

Mode d'opérateur

Un repiquage de 1mL de chaque dilution se fait dans trois tubes de gélose CVF (Civer Meat Agar), en plus d'un additif (alun de fer et sulfite de sodium, on ajoute quelques gouttes d'huile de paraffine pour créer l'anaérobiose puis incubé à 46°C pendant 48h.

Lecture

La lecture des résultats se fait après 24h et après 48h, selon le degré de coloration noire et le taux de croissance des micro-organismes. Les colonies noires, éventuellement entourées d'une zone noire, sont dénombrées comme des bactéries sulfito-réducteurs.

II-3-2-5-Recherche de *Staphylococcus aureus*

Staphylococcus aureus c'est cocci, Gram positif, immobile sporulé, catalase positive, anaérobie facultatif.

Principe

Le dénombrement des Staphylocoques s'est fait selon les normes N.A 15164 et ISO 6888et FDA-BAM sur gélose Baird Parker Agar (base).

Mode opératoire

Le milieu Baird Parker Agar est voulué dans 3 boites Pétri, après solidification, quelques (1mL de chaque dilution est aseptiquement ensemençer sur la gélose des boites. L'incubation se fait à 37°C pendant 24 h-48h.

Lecture

Les boites ayant virées au noir sont considérées comme positives. Pour s'assurer qu'il s'agit bien d'un développement de *Staphylococcus aureus*, ces boites feront l'objet d'un isolement sur gélose Chapman et d'une recherche des enzymes catalase et coagulase. Les

colonies suspectes à savoir les colonies de taille moyenne, lisse brillantes, pigmentés en jaune et pourvues d'une coagulase et d'une catalase.

II-3-2-6-Recherche de Salmonelle

Salmonella est un bacille de Gram négatif, mobile, non sporulé et anaérobie facultatif.

Principe

Le dénombrement de Salmonelle s'est fait selon les normes N.A 1203.

Mode opératoire

1. Pré-enrichissement

On prélève 1mL de la farine puis on introduit dans un flacon contenant 10 mL de tryptone sel ou BLMT, on incube à 37°C pendant 24 heures.

2. Enrichissement primaire

L'enrichissement doit s'effectuer après transfert de 1mL de la suspension de pré-enrichissement (BLMT) dans 10mL milieu sélectif SFB. On incube à 37°C pendant 24h.

3. Enrichissement secondaire et Isolement

Isolement sur gélose Hektoen qui est un milieu sélectif pour l'isolement et la différenciation des bacilles Gram négatif en téropathogènes, en particulier les Salmonelles sp.

Des tubes SFB positifs (trouble), on ensemence 1mL dans la gélose Hektoen, les boîtes sont ensuite incubées à 37°C pendant 24 h.

Lecture

Les colonies de salmonelles apparaissent en bleu vert avec un centre noir.

II-3-2-7-Recherche de *Pseudomonas aeruginosa*

Pseudomonas aeruginosa fait partie de la famille des Pseudomonadaceae qui regroupe des bactéries mobiles aérobies Gram négatif en forme bâtonnets renflés, avec un flagelle polaire.

Principe

Le dénombrement de *Pseudomonas aeruginos* est fait selon les normes ISO22717 sur le milieu Cétrimide.

Mode opératoire

On verse le milieu Cétrimide dans trois boîtes de Pétrie, après solidification, quelques gouttes des dilutions décimales (1 mL de chaque dilution) sont aseptiquement prélevées par une pipette pasteur et ensemencer sur la gélose des boîtes. L'incubation se fait à 37 °C pendant 24 h-48 h.

Lecture

L'obtention de colonies présentant une pigmentation caractéristique jaunes-vertes et leur fluorescence peut être évidence en lumière ultra-violette.

II-3-2-8-Recherche des moisissures et levures

Les moisissures sont des champignons filamenteux aérobies, acidophiles et mésophiles (pH =3 à 7).

Principe

Le dénombrement des levures et des moisissures s'est effectué sur le milieu Sabouraud (avec 4 de xtrorse agar) selon les normes N.A 15176.

Mode opératoire

Fondre préalablement un flacon de gélose Sabouraud puis le refroidir à 45°C et couler 3 boîtes de Pétri et laisser solidifier sur la paille.

Ensemencement et étalement quelques gouttes de dilutions décimales (1 mL de chaque dilution) aseptiquement prélevées sur les 3 boîtes.

Incubation des boîtes à 20-25°C pendant 5 jours.

Lecture

Les colonies des levures sont brillantes, rondes et bombées, de couleurs différentes, de formes convexes ou plates et souvent opaques.

Les colonies de moisissures sont épaisses, filamenteuses, pigmentées ou non, à aspect velouté et sont plus grandes.

II-3-2-9-Recherche de *Listeria monocytogene*

Listeria monocytogene est un bacille à Gram positif, appartient au genre *Listeria*, mobile, pathogène.

Principe

Le nombre de *Listeria* étant générale faible dans le produit, il est nécessaire de procéder à un double enrichissement puis un isolement dans un milieu sélectif.

Mode opératoire**1-Enrichissement primaire**

-Un volume de 1mL de suspension mère est placé dans 10 mL de bouillon Fraser ½

-Incuber à 30 °C pendant 24 h.

2-Enrichissement secondaire

Transférer 0,1mL de culture issue de enrichissement primaire dans tube de 10mL de Fraser complet. Incuber à 37°C pendant 48 h.

3-Isolement

A partir de l'enrichissement primaire, on ensemence avec une anse sur la surface d'une gélose Palcam à 37°C pendant 48h.

Lecture

Les colonies de *Listeria* apparaissent de verdâtre luisantes entourées d'un halo brun noir. Après 48h les colonies incrustées dans gélose et présentent une dépression centrale. *Listeria* provoque un noircissement du milieu par hydrolyse de l'esculine.

II-3-3-Analyses physico-chimiques de la farine de *Locusta migratoria*

Afin de déterminer les valeurs nutritionnelles, la farine de *L.migratoria*, a fait l'objet d'analyses physicochimiques.

II-3-3-1-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. La perte en poids correspond à la teneur en eau.

Calcul et expression des résultats

Le calcul de l'humidité se calcule comme suit :

$$\text{Humidité (\%)} = ((P_1 - P_2) / P_0) \times 100$$

Où P_1 : poids du bocal métallique vide.

P_2 : poids du bocal métallique contenant l'échantillon.

P_0 : poids après séchage et dessiccation.

II-3-3-2-Détermination de la teneur en matière sèche

La matière sèche est le résidu sec obtenu par l'application de la méthode décrite ci-après. Elle est exprimée en pourcentage en masse.

La teneur en matière sèche est déduite de la teneur en eau par la formule :

$$\text{Matière sèche (\%)} = 100 - \% \text{ Eau}$$

II-3-3-3-Détermination de la teneur en matière grasse

Principe

L'extraction par solvant organique spécifique pour la détermination du taux de la matière grasse est réalisée avec un appareil Soxhlet. A la fin de l'extraction, on peut admettre que toute la matière grasse est transférée dans le solvant.

Mode opératoire

L'opération consiste à placer 10 g d'échantillon dans la cartouche de Soxhlet, cette dernière est placée dans un extrait soxhlet, lui-même monté par une colonne réfrigération. Le ballon de 200 mL du Soxhlet servant à la récupération des matières grasses extraites.

Le solvant de l'extraction est ensuite chauffé à 40-60°C pendant 6 heures. Ce solvant condensé s'accumule dans un réservoir à siphon, ce qui augmente la durée de contact entre le solvant et le produit à extraire.

A la fin de l'extraction, la poudre dilapidée a été récupérée et séchée à l'étuve à 40°C pour l'élimination du solvant résiduel. La matière grasse est récupérée et évaluée par la différence du poids du ballon, après concentration à l'aide d'un rotavapor puis stocké à 4°C.



Figure n°18: Extracteur Soxhlet

Expression des résultats

Le teneur en matière grasse est obtenu par la formule suivante :

$$\text{MG(\%)} = ((P_1 - P_0) / P_2) \times 100$$

Soit

P₀ : Poids du ballon vide (g)

P₁ : Poids du ballon avec l'huile extraite (g)

P_2 : Poids de la pris d'essai(g)

II-3-3-4-Détermination de la teneur en fibres brutes

Principe

La teneur en fibres alimentaires des farines a été déterminée par la méthode Interne.

Mode opératoire

On pèse 3 à 5 g de la farine, on lui ajoute 300 mL de Hcl (1/4). Le mélange est chauffé pendant 30 min jusqu'à l'ébullition pour éliminer les traces de Hcl, après On rajoute au filtrat 300 mL de NaOH (2N), la fiole est placée encore une fois sur la plaque chauffante jusqu'à l'ébullition laissée 30 min exactement après l'ébullition. On filtre en récupérant le précipité qui placé sur le papier filtre dans un creuset vide et sec. Ce creuset est séché jusqu' au poids constant à 105°C, puis incinérer pendant 30 min à une température de 550°C.

Expression des résultats

La teneur en fibres est déterminée par la formule suivante:

$$F (\%) = \frac{C_s - C_c}{P_e} \times 100$$

C_s = Creuset sec

C_c = Creuset calciné

P_e = Prise d'essai

II-3-3-5-Détermination de la teneur des cendres totales

La teneur en cendre des farines a été déterminée par la méthode d'incinération par voie sèche.

Principe

Une prise d'essai de l'échantillon (la farine) est calcinée dans un four à moufle à 800°C pendant 2h jusqu'à complète minéralisation.

Mode opératoire

On place dans un creuset en porcelaine préalablement taré 2g de l'échantillon, après on calcine dans un four à moufle à 800°C pendant 2 h jusqu'à l'obtention des cendres blanches, puis on refroidi à l'air ambiant, puis on pèse.

-Le pourcentage en cendres est donné par la formule ci-après :

$$\text{Cendres (\%)} = \frac{P_3 - P_1}{P_2 - P_1} \times 100$$

Où

P₁ : poids du creuset vide.

P₂: poids du creuset contenant l'échantillon.

P₃ : poids après séchage et refroidissement

II-3-3-6-Détermination de la teneur des protéines brutes

La teneur en protéines de la farine de *L.migratoria* a été déterminée par la méthode Kjeldhal.

Principe

Toute matière organique contenue dans la prise d'essai de l'échantillon est détruite par oxydation sous l'effet combiné de l'acide chlorhydrique et du catalyseur. Dans ces conditions, l'azote qui se trouve dans l'échantillon est transformé en sel d'ammonium. L'ammoniac libéré de ce sel est entraîné par distillation à la vapeur d'eau puis recueilli dans une solution acide de titre connu en présence d'un indicateur mixte. L'excès de l'acide est enfin dosé en retour à l'aide d'une solution de soude ou de potasse. Ainsi la teneur en azote total obtenu, multiplié par le facteur de conversion, qui est fonction de la nature des protéines, donne la teneur en protéines brutes.

Mode opératoire

On pèse exactement environ 2 à 2,5g d'échantillon dans un tube ou ballon Kjeldahl. On ajoute 3g du catalyseur et 20mL d'acide chlorhydrique concentré ou une quantité suffisante pour mouiller complètement la prise d'essai. On ajoute 1 à 2mg d'huile de silicone pour empêcher la formation de mousse. On chauffe jusqu'à clarification de la solution. On laisse refroidir pendant quelques heures au besoin une nuit. On transvase le tout dans un ballon jaugé de 100 mL et on porte au trait avec de l'eau. On pipette 20 mL de 100 ml et on les introduit dans le tube à distiller du distillateur. On ajoute 40 mL de l'hydroxyde à 33% et un peu d'eau. Le distillat est recueilli dans 20 mL d'acide chlorhydrique 0.1N en présence de 2 à 4 gouttes d'indicateur mixte qui vire du rouge violet au vert.

La teneur en azote totale est obtenue par la formule suivante :

$$N\%=(1,4.N.V)/P_e$$

Avec :

- N% : teneur en azote totale
- V : volume en mL de Hcl titrant le distillat
- P_e : masse de la prise d'essai (g)

- N : normalité de la Hcl

La teneur en protéines totales (P%) des échantillons de la poudre de *L.migratoria* est obtenue par la formule ci-après :

$$P\%=6,25.N\%$$

II-3-3-7-Détermination de la teneur des sucres totaux (Reynes *et al.* 1994)

Le dosage des glucides totaux a été réalisé selon la méthode de (Reynes *et al.* 1996) modifiée par Duchateau et Flokin. Elle se fait en deux étapes : Extraction et dosage des sucres.

Extraction

Il consiste à faire une extraction des sucres par macération de 1 g de poudre dans 16 mL d'eau distillée dans un tuage de centrifugation.

Le tube est pore à ébullition douce pendant 30 mn avec agitation suivi d'un refroidissement, on obtient un contenu, ce dernier est centrifugé pendant 10 mn à 5000tr/mn..Après on récupère le surnageant es dans une fiole de 100 mL et le résidu est lavé deux fois température ambiante. À la fin le contenu de la fiole est complété à 100 mL avec de l'eau distillée puis conservée à 4°C.

Dosage

Il consiste à additionner 0.5 mL de l'échantillon (dilué au 1/1000) et 4.5 mL du réactif d'Anthrone et de chauffer le mélange à 80°C pendant 10 min. Une coloration verte se développe dont l'intensité est proportionnelle à la quantité des sucres présents dans l'échantillon. L'absorbance est lue à 620 nm contre un blanc de gamme. La préparation du réactif d'Anthrone se fait comme suit : peser 150 mg d'Anthrone, ajouter 75ml d'acide sulfurique concentré et 25mL d'eau distillée et on obtient une solution limpide de couleur verte qui est stockée à l'obscurité. La gamme d'étalonnage est effectuée à partir d'une solution mère de glucose (0.1mg/mL).

II-3-3-8 Détermination de pH :(NF V 05-108 ,1970)

Principe

La détermination de pH se basé sur la détermination en unité pH de la différence de potentiel existant entre deux électrodes en verre prolongée dans une solution aqueuse de la farine d'insecte. Broyée.

Mode opératoire

Placer une quantité de 2 g de poudre dans un bécher et y ajouter 3 fois son volume d'eau distillée, puis on chauffe au bain Marie pendant 30 min en remuant de temps en temps avec une baguette en verre. Ensuite mixer le mélange obtenu et procéder à la détermination de pH en prenant soins que l'électrode soit complètement émergée dans la solution.

II.3.3.9 Détermination de valeur énergétique

Obtention de valeur énergétique est fait par les calculs suivants :

$$V_E = (\text{Glucides} \times 4) + (\text{Protéines} \times 4) + (\text{Lipides} \times 9)$$

Avec : 1g de farine = 4 Kcal

II-4-Formulation de biscuit Muffin

II-4-1-Ingrédients du biscuit Muffin

Les ingrédients utilisés pour la formulation du biscuit sont consignés dans le tableau ci-dessous :

Tableau n°06 : Les ingrédients du biscuit Muffin

Recette de biscuit Muffin	
Les ingrédients	430 g de farine, 450 g de sucre ,20 g de poudre lait 0% ,8 g de sel, 2 g de sorbet,45 g de sorbitol ,50 g de glycérine,40 g de sirop de glucose, 200 g d'eau , 400 g des œufs frais, 300 g d' huile végétal, 19 g de poudre levante

II-4-2 -Processus de formulation du muffin

Le processus se base sur quatre étapes essentiel

Première étape

Mesure de tous les ingrédients.



Figure n°19: Mesure des ingrédients

Ajout de tous les ingrédients secs, puis mélanger tous les ingrédients à l'aide d'un batteur électrique jusqu'à obtention d'une mélange homogène (Fig n°20).



Figure n°20: Mélange des ingrédients liquides et secs

Deuxième étape

L'incorporation de la farine de crickets a été faite à 4,8% (Fig n°21).



Figure n°21: Les étapes de préparation d'un mélange homogène avec la farine de crickets

Troisième étape

Préparation de deux lots de boîtes : les premières remplies du mélange régulier (boîtes témoins) et les secondes remplies du mélange auquel de la farine de crickets a été incorporée (Fig n°22).



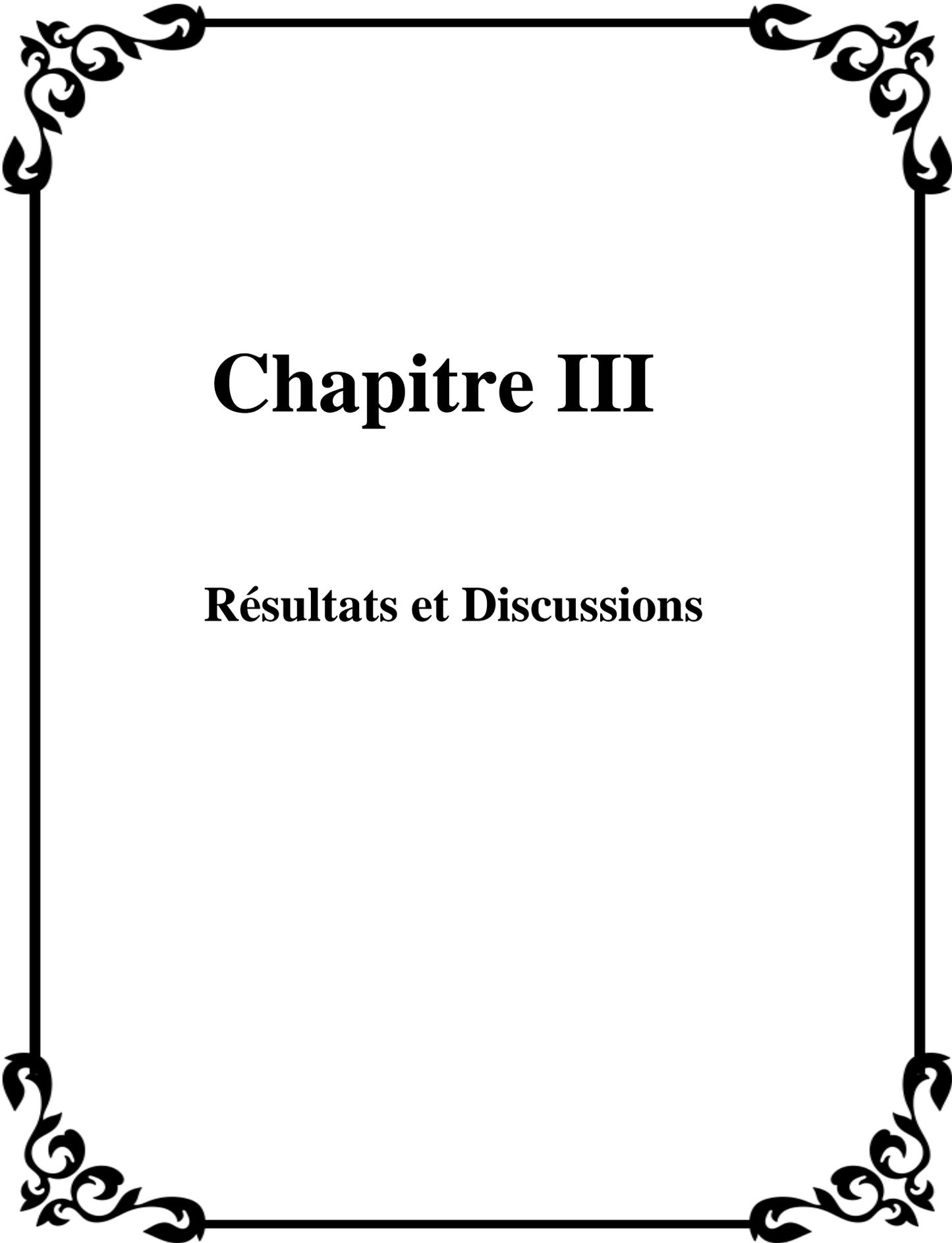
Figure n°22 : Muffins simples avec de la farine ordinaire (a) et muffins après incorporation de la farine de criquets (b)

Quatrième étape

La cuisson se fait au four à 180 °C pendant un quart d’heure à 20 minutes.

II-5-Analyses microbiologiques et physicochimiques de Muffin témoin et Muffin enrichi à la farine de criquet

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



Chapitre III

Résultats et Discussions

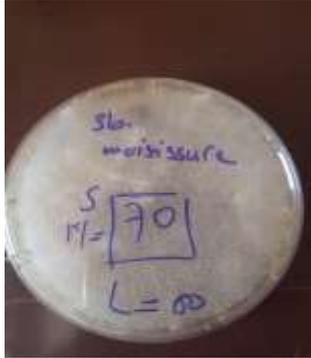
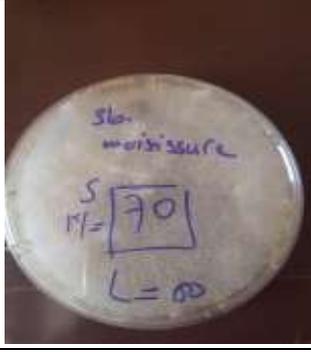
III-1-Résultats des analyses microbiologiques

Les résultats des analyses microbiologiques de la farine de *L. migratoria* sont consignés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 07: Charge microbienne de la farine *Locusta migratoria*

Germe recherché	Résultats	Résultats dans la dilution 10 ⁻²	Résultats dans la dilution 10 ⁻³	Normes Journal officiel par germe	Normes	Aspect de la culture de la dilution 10 ⁻¹
Germe aérobies mésophile	Un halo clair autour de chaque colonie, lenticulaire blanchâtre en masse.	90	30	N.A1207	5.10 ⁶	
Coliformes totaux	Présence de petites colonies de couleur rouge foncée de 0,5 mm de diamètre.	20	00	N.A6803	10 ³	
Coliformes fécaux (<i>E. coli</i>)	Absence des colonies	00	00	ISO4832	10 ³	

<p><i>Clostridium sulfito-réducteurs</i></p>	<p>les Clostridiu ms sulfito-réducteurs apparaissent sous forme une colonies, entourés d'un halo noir</p>	<p>00</p>	<p>00</p>	<p>N.A1614</p>		
<p><i>Staphylococcus aureus</i></p>	<p>Formation des colonies de couleur noir</p>	<p>00</p>	<p>00</p>	<p>N.A1516410³</p>		
<p><i>Salmonella</i></p>	<p>Absence des colonies</p>	<p>00</p>	<p>00</p>	<p>N.A1203</p>		
<p><i>Pseudomonas aeruginosa</i></p>	<p>Absence des colonies. 00 unités</p>	<p>00</p>	<p>00</p>	<p>ISO22717</p>		

Moisissures	Présence des moisissures	50	10	N.A151 76	10 ³	
Levures	Absence	00	00	N.A151 76		
<i>Listeria monocytogene</i>	Absence	00	00	N.A151 59		Absence

Les résultats des analyses microbiologiques permettent d'apprécier les qualités hygiénique et sanitaire de la farine de *Locusta migratoria*. Les résultats obtenus montrent une faible présence de germe aérobies mésophiles, de coliforme totaux, de Staphylocoques, de Clostridium sulfito-réducteurs et de Moisissures. On note une absence totale des levures et de germes pathogènes Salmonelles, Pseudomonas et *Listeria monocytogene*.

Les résultats obtenus ne dépassent pas les normes du journal officiel et il s'avère que la farine analysée n'est pas contaminée au cours du processus du séchage et de broyage. Les criquets issus de cette farine sont issu d'un bon élevage de masse fait dans de bonnes conditions. De ce fait la farine issue de ces criquets migrants ne représente pas un risque pour le consommateur.

III-2-Résultats des analyses physico-chimiques de la farine de *Locusta migratoria*

Les résultats des analyses physico-chimiques de la farine de *L.migratoria* sont représentés dans le tableau n° 7.

Tableau n°07 : Résultats des analyses physico-chimiques de la farine de *Locusta migratoria*

Paramètre analysé	Unité	Méthodes	Résultat
Humidité	%	Etuvage	04 ,70
Matière grasse	%	Soxhlet	26 ,22
Fibres	%	Interne	26 ,33
Cendres	%	Incinération	02 ,42
Matière sèche	%	Etuvage	95,30
Protéines	%	Kjeldhal	46
Glucides	%	Dosage	1,0
Energie	KJ	Calcul	424,18
pH	/	pH mètre	6,94

Les résultats de ce tableau révèlent que la farine de *L. migratoria* est riche en protéines (46 %), en fibres (26,33 %) et en matière grasse (26,22 %). La teneur en cendres est de 2,42 %. La teneur en eau est faible (4,7 %). Le pH de la farine est neutre. Comparativement aux résultats des autres auteurs, il apparaît que la teneur en eau (4,70%) est un peu supérieure par rapport aux résultats d'Elagba (2015) sur *Locusta migratoria* qui était de $3,41 \pm 0,2$ %. Le faible taux d'humidité permet de minimiser le risque d'altération de la farine lors du conditionnement et la conservation.

La valeur du potentiel d'hydrogène (pH) en général représente l'état de fraîcheur des matières premières, le pH obtenu de 6,94 indique que cette farine pourra être une bonne matière première pour le biscuit Muffin. Le biscuit qui sera formulé présentera une bonne stabilité.

La teneur en matière sèche (95,30 %) est proche de celle d'Elagba (2015) qui est de $96,19 \pm 0,2\%$. Cette valeur obtenue par calcul de la déduction de la teneur en eau, donne des valeurs inverses de celles de l'humidité.

La teneur en fibres de la farine de *Locusta migratoria* est de 26,33%, elle est relativement plus élevée que celle d'Elagba (2015) pour la même espèce ($15,65 \pm 1,7$ %). La présence des fibres brutes dans cet Orthoptère est probablement due à l'importance de la chitine, principal constituant de l'exosquelette.

La teneur de notre farine en matières grasses (26,22%) est plus élevée que celle d'Elagba (2015) et qui est de $19,62 \pm 0,08$ %.

La teneur en protéines de la farine de *L.migratoria*(46%) est nettement supérieure à celle de l'ordre des coléoptères (40 %) et elle est inférieure à celle trouvée par Elagba (2015) (50.42 ± 0.2 %). Ceci est due probablement au régime alimentaire de l'insecte ou au stade de prélèvement des insectes au moment du sacrifice

La valeur énergétique de la farine de *L.migratoria* calculée dans notre étude (424.18 KJ) est proche de celle trouvée par Elagba (2015);(490.4 ± 4 KJ).*L.migratoria* constitue donc une meilleure source d'énergie.

Les résultats trouvés ont indiqué que les criquets migrateurs pouvaient être considérés comme une bonne source d'éléments nutritifs, en particulier pour les protéines et les graisses, ainsi que comme une source potentielle d'énergie.

III-3-Résultats des analyses microbiologiques et physicochimiques de Muffin témoin et Muffin enrichi par la farine de criquet

Les analyses microbiologiques du biscuit témoin et enrichi par la farine d'insectes sont représentés dans le tableau n° 8 et 9. L'analyse est faite pour 5 unités de biscuits.

Tableau n°08 : Les résultats des analyses microbiologiques de Muffin

Germe recherchés	Unité1	Unité2	Unité3	Unité4	Unité5	Tolérance		Normes
						m	M	
Germes aérobies 30°C	<10	<10	<10	<10	<10	10^5	10^6	N.A 1207
<i>Escherichia coli</i> 44°C	<10	<10	<10	<10	<10	10	10^2	ISO 16649-2
Clostridium sulfite réducteurs 46°C	<10	<10	<10	<10	<10	10	10^2	JON°51 2013
Staphylocoques à coagulase ⁺ 37°C	<10	<10	<10	<10	<10	10^2	10^3	JON°68 2014
<i>Salmonella</i> 20-25°C	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence/25g		JON°44 2017
<i>Listeria monocytogenes</i>	00	00	00	00	00	100		N.A 15159

Tableau n°09 : Les résultats des analyses microbiologiques de Muffin enrichi par la farine d'insectes

Germe recherchés	Unité1	Unité2	Unité3	Unité4	Unité 5	Tolérance		Normes
						m	M	
Germes aérobies 30°C	10 ²	40	80	50	70	10 ⁵	10 ⁶	N.A 1207
<i>Escherichia coli</i> 44°C	<10	<10	<10	<10	<10	10	10 ²	ISO 16649-2
Coustridium sulfito réducteurs 46°C	<10	<10	<10	<10	<10	10	10 ²	JON°51 2013
Staphylocoques à coagulase ⁺ 37°C	<10	<10	<10	<10	<10	10 ²	10 ³	JON°68 2014
<i>Salmonella</i> 20-25°C	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence/25g		JON°44 2017
<i>Listeria monocytogenes</i>	00	00	00	00	00	100		N.A 15159

Les résultats des analyses microbiologiques obtenus pour les deux produits montrent une faible présence de Germe aérobies, Coliforme totaux, Staphylocoques, Clostridium sulfito-réducteurs. Les valeurs obtenues ne dépassent pas les normes. On note aussi une absence totale des germes pathogène (*Salmonelles* et *Listeria monocytogène*).

III-4-Résultats des analyses physicochimiques de Muffin témoin (1*) et Muffin enrichi par la farine de criquet (2*)

Les analyses des analyses physicochimiques du biscuit témoin et enrichi par la farine d'insectes sont représentés dans le tableau n° 10. L'analyse est faite pour une seule unité de biscuits.

Tableau n°11 : Les résultats des analyses physicochimiques de deux Muffin témoin et enrichi de la farine d'insectes.

Paramètre recherché	Unité	Résultat (1*)	Résultat (2*)	Normes et Méthodes
pH à I%	-	07,58	06,33	pH-mètre
Humidité	%	23,46	22,48	JON°08-2013
Matière sèche	%	76,54	77,52	Calculs
Glucides	%	46,30	43,13	NA 2277
Matière grasse totale	%	19,10	20,47	ISO 11085
Protéines	%	07,57	09,80	NF EN ISO 5983/I
Sodium	mg / kg	2520,00	2440,00	Spectrophotomètre
Matière minérale	%	01,59	01,80	JON° 35-2006
Fibres	g / 100g	02, 35	02,72	Enzymatique

Muffin témoin (1*) et Muffin enrichi par la farine de criquet (2*)

Les résultats trouvés montrent que la teneur en protéines pour le Muffin enrichi par la farine de criquet (9,80 %) est supérieure à celle de muffin témoin (7.57 %). Ceci est dû à la richesse de la farine de *L. migratoria* en protéines. La teneur en matière grasse totale dans les

deux produits est presque identique. La teneur en matière minérale et en sodium dans les muffins enrichis de la farine de criquet est plus élevée que celle du muffin témoin. La farine de criquet est riche en cendres selon les analyses faites pour la farine. Pour les fibres, il est à noter que la teneur en fibres pour le Muffin enrichi par la farine de criquet est légèrement supérieure (2,72%) que celle du produit normal (2,35%), Cet ajout est due principalement à présence de la chitine qui compose l'exosquelette de criquet.

III-5-Valeurs nutritionnelles et énergétiques pour 100g de Muffin témoin et Muffin enrichi par la farine de criquet

Les résultats de la valeur nutritionnelle et énergétique de 100 g de muffin témoin et muffin enrichi par la farine de criquet sont consignés dans le tableau n° 11

Tableau n°12 : Les valeurs nutritionnelles et énergétique pour 100g de deux Muffin

Critère	Valeur moyenne pour 100g (1*)	%AJR (1*)	Valeur moyenne pour 100g (2*)	%AJR (2*)
Energie KJ	1641,29 kj	19,60%	1678,96 kj	20,06%
Energie en Kcal	392,08 kcal		401,39 kcal	
Protéines	07,57g	15,14%	09,80g	19,60%
Glucides	46,30g	17,80%	43,13g	17,12%
-Dont sucres	25,42g	28,24%	25,38g	28,20%
-Dont amidon	20,88g	-	19,22g	-
Lipides	19,10g	27,28%	20,47g	29,24%
-Dont acide gras saturés	06,28g	31,40%	06,74g	33,70%
Fibre	02,35g	-	02,74g	-
Sodium	00,25g	12,50%	00,24g	12,00%
Soit l'équivalent en sel	00,63g	10,50%	00,61g	10,16%

Muffin témoin (1*) et Muffin enrichi par la farine de criquet (2*)

La valeur énergétique calculée en kJ et en Kcal pour 100 g de biscuits enrichi est supérieure à celle du biscuit témoin, on a enregistré des valeurs de 1641,29 kJ et de 1678,96 kJ respectivement pour le biscuit témoin et le biscuit enrichi.

A la fin du processus de production, et au début du processus d'emballage, l'AJR (Apport Journalier Recommandé) est calculé pour chaque nutriment. Ces Apports Journaliers Recommandés sont des valeurs journalières déterminées par des nutritionnistes qui informent

sur les recommandations en vitamines, minéraux et autres nutriments. Les informations nutritionnelles trouvées sur les étiquettes des aliments sont les AJR. Il est conseillé de les respecter afin d'éviter les carences ou les excès. On constate que les résultats obtenus sont presque égaux pour l'ensemble des nutriments.

Sur le plan forme, le biscuit muffin témoin (Fig n°23) et muffin enrichi se ressemblent (Fig 24 et 15), une légère différence de couleur est observée. En effet, le muffin enrichi présente une couleur tendance chocolat, ce qui va attirer le consommateur et augmentera l'acceptabilité du biscuit.



Figure n°23 : Muffin



Figure n°24 : Muffin enrichi par la farine de criquet

III-6-Discussion

Les insectes sont une ressource alimentaire saine et nourrissante, riche en matières grasses, protéines, vitamines, fibres et minéraux. La valeur nutritive des insectes comestibles est très variable en raison du grand nombre d'espèces (Xiaoming, 2010).

La consommation d'insectes peut également contribuer à réduire les impacts environnementaux négatifs de la production animale, car l'élevage d'insectes nécessite beaucoup moins d'espace et génère moins de pollution, leur valeur nutritionnelle est environ deux fois plus efficace que les poulets, et plus de cinq fois plus efficace que bovins de boucherie. Cependant, dans de nombreux pays d'Afrique, du Moyen-Orient et d'Asie, les criquets sont considérés comme un aliment consommés en abondance (Patrick, 2010).

Les résultats de criblage microbiologique de la farine de *L.migratoria* révèlent qu'elle est de qualité satisfaisante et répond aux normes du journal officiel pour les denrées alimentaires. Par conséquent, la farine n'implique aucun risque pour la consommation humaine.

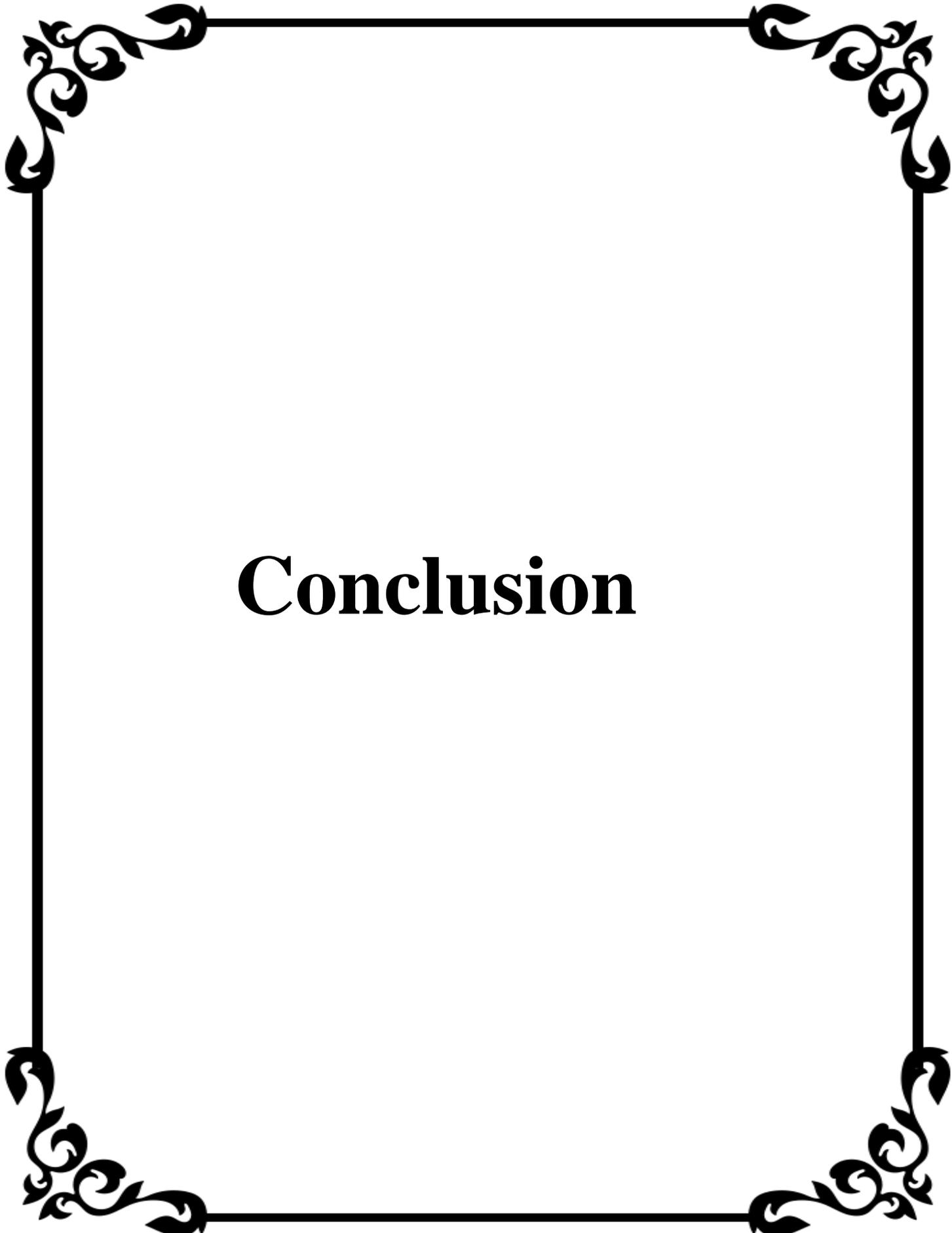
Les résultats du criblage physico-chimique de cette farine sont comparables aux résultats d'Elagba (2015), les petites différences constatées sont dues au type de nourriture fournie à l'insecte et les conditions de l'élevage.

L'incorporation de la farine de *L. migratoria* dans la fabrication des muffins a amélioré les qualités nutritionnelles de ce biscuit. Tchibozo *et al.*,(2016), ayant étudié l'incorporation de la farine des criquets à 38,8%de protéine et à 31,8% de protéines dans le biscuit. Les résultats obtenus montrent que la valeur énergétique des biscuits varient entre 390 et 446(kcal/100 g),les valeurs en sodium varie entre 192 et174mg/100 g, les glucides assimilables varient entre 50,9 et53,8 pour 100 g. La teneur en protéines varie entre 8,88 et 10,6 pour 100 g.s. Dans notre étude, les muffins enrichis par la farine de *L.migratoria* étaient plus riches en protéines et de valeur énergétique plus élevée que les muffins témoins.

La fabrication de biscuits fortifiés contenant des protéines et des éléments énergétiques contribuerait à réduire certaines déficiences, et permettrait particulièrement aux enfants malnutris de les combler. Une bonne nutrition est la pierre angulaire de la survie, de la santé et du développement de l'enfant. (Tchibozo *et al.*, 2016).

Les biscuits fortifiés pour les enfants malnutris vont améliorer les éléments nutritifs protéiniques et contribueraient à réduire ces déficiences chez les enfants malnutris.

La commercialisation de produits alimentaires à base d'insectes augmentera l'offre de produits alimentaires en zone rurale tout en proposant une diversification de l'offre existante. Cette action permettra d'apporter des protéines d'origine animale avec des acides aminés essentiels et des micronutriments dans l'alimentation de populations marginalisées (Lignet, 2012).



Conclusion

Conclusion

Conclusion générale et perspectives

Notre travail est divisé en deux parties :

Dans la première partie porte sur des généralités sur les insectes comestibles, les ordres les plus consommés, la distribution géographique de ces insectes dans le monde, et la valeur nutritionnelle de ces insectes comestibles. Tous ces éléments ont été abordés en détail.

En deuxième partie, nous avons fait le point sur le criblage microbiologique et biochimique d'une farine de criquet (*Locusta migratoria*, Orthoptera : Oedipodinae) en vue de sa valorisation par la production d'un biscuit enrichi par la farine de ce criquet

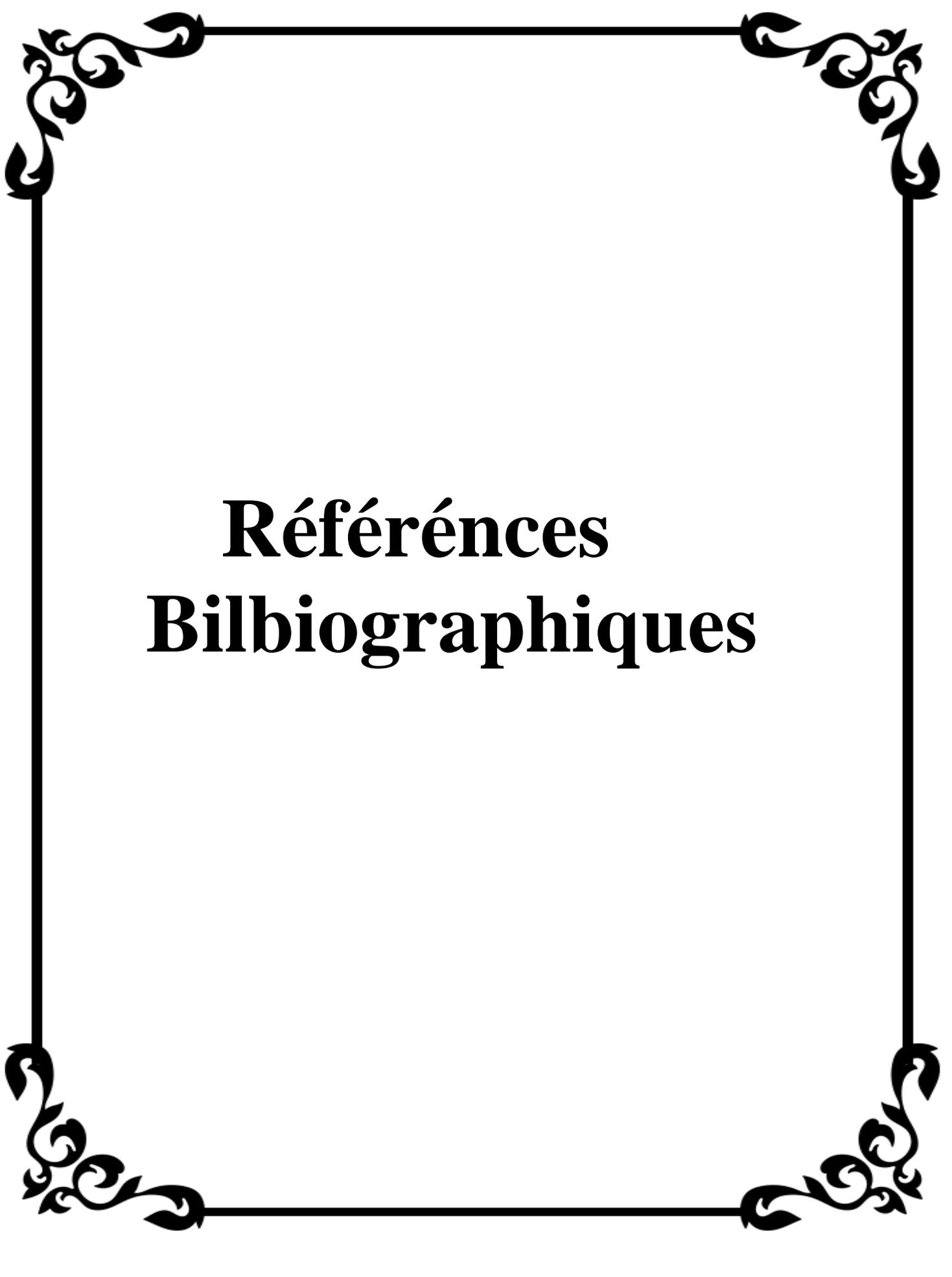
Les analyses biochimiques effectuées sur la farine de criquet migrateur montrent que cette espèce présente un intérêt nutritionnel eu égard à sa composition biochimique. Ce criquet constitue donc une source importante de substances organiques (protéines, lipides), minérales et en fibres.

Le contrôle microbiologique de la farine du criquet migrateur a montré qu'elle est de bonne qualité microbiologique vu l'absence de *Salmonelle*, *Pseudomonas*, *Listéria* ainsi que le faible nombre des autres germes (les valeurs ne dépassent pas les normes). Donc une farine de bonne qualité microbiologique ce qui permettra d'obtenir des aliments sains.

Le muffin enrichi par la farine de criquet présente une bonne valeur nutritionnelle et énergétique par rapport au muffin normal.

Ce travail reste préliminaire et le premier de ce genre, il serait très intéressant dans le cadre des autres travaux d'étudier en détail la granulométrie ainsi que la composition biochimique de cette farine et de voir de près sa richesse en acides aminées, en acides gras et minéraux.

Il serait aussi intéressant de faire une étude sensorielle du biscuit formulé et de voir son acceptabilité chez des catégories différents catégories de consommateurs.



Références Bibliographiques

Liste des références bibliographiques

Allal-Benfekih L, 2006. Recherches quantitatives sur le criquet migrateur *Locustamigratoria* (Orth. Oedipodinae) dans le Sahara algérien. Perspectives de lutte biologique à l'aide de microorganismes pathogènes et de peptides synthétiques thèse doct. Ecol., univ. Limoges. Fr., 140p.

ANSES 2015. 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 d'insectes. Maison-Alfort : ANSES ; 2015.

Appert J. et deuse J., 1982- Les ravageurs des cultures vivrières et maraichères sous les tropiques. Ed. Maison Neuve et Larose, Paris, 419 p.

Aubineau M., bermond A., bouglérj., ney b. et estrade J.R., 2002- Larousse Agricole. Le monde agricole au 21^{ème} siècle. Ed. Larousse, Canada, 767p. **BADARA D., 2005 -** Le neem : l'antipaludéen et l'insecticide naturel -A la découverte

Belluco, S., Losasso, C., Maggioletti, M., Alonzi, C. C., Paoletti, M. G., & Ricci, A. 2013. Edible insects in a food safety and nutritional perspective: A critical review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 12, 296-313.

Bonnemaison L., 1961 – les ennemis animaux des plantes cultivées et forêts. ED. Sep, paris, vol.1, P.P 337-341.

Caparros Megido R., Alabi T., Larreché S., Alexandra L., Haubruge E. and Francis F., 2015. Risques et valorisation des insectes dans l'alimentation humaine et animale, Annales de la Société entomologique de France (N.S.), 51:3, 215-258

Cerritos. R., 2009. *Insects as food: an ecological, social and economical approach, Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources* 2009 4, No. 027, 1749-8848

Chen, 2009. Common edible insects and their utilization in China. *Entomological Research*.

CHopard L. 1943- Orthoptères de l'Afrique de Nord. Ed. Librairie Larose, Paris coll. Faune de l'Empire Français, T.1, 450p.

CHopard L., 1938- la biologie des orthoptères. Ed. Paul-lechevalier, Paris, pp.4-192.

Comby B. 1990. Délicieux insectes. Les protéines du futur. Paris: Jouvence.

Comité scientifique de l'AFSCA : Agence Fédérale pour la Sécurité de la Chaîne Alimentaire 2014. Sécurité alimentaire des insectes destinés à la consommation humaine (dossier Sci Com 2014/04 ; dossier CSS n° 9160).

DACH, Valeurs de référence Société Suisse de Nutrition (En ligne). (consulté le 26 juillet 2018). Disponible : <http://www.sge-ssn.ch/fr/science-et-recherche/denrees-alimentaires-et-nutriments/recommandations-nutritionnelles/valeurs-de-reference-dach/>

DE GREGORIO R., 1996 – Le criquet pèlerin *Schistocerca gregaria*, biologie et élevage : Durée de développement et rythme de ponte dans les conditions de laboratoire. C.A.U.P.P.A., Serv. Film Rech. Scien, Pau, Paris.

Disponible sur: <http://www.micronutris.com/fr/accueil>

Docteur Bonne Bouffe.com. *7 raisons de consommer des insectes*, **Nathalie Majcher**, 2016

Durant J.F et Lecoq M., 1990 Le criquet pèlerin au Sahel., n°6. Ed. CIRAD-PARIFAS Collection acridologie opérationnelle. Montpellier, 45p.

Durant J.F., Launois-Loung M.H. et Lecoq M., 1982 – Manuel de prospection acridienne en zone tropicale sèche. Cirad-Prifas, Départ. G.E.R.D.A.T, Paris, 695 p

Durant J-F., Launois-luong M.H. et Lecoq M., 1982- manuel de prospection acridienne en zone tropicale sèche. Vol. 2. Ed. G.E.R.D.A.T, Paris, 695P.

Dussault M., 2017. Etude de faisabilité du déploiement de l'industrie des insectes destinés à la consommation humaine au Québec Thèse de l'obtention du grade de maître en environnement Université de Sherbrooke 4p.

Economic and Social Affairs, Population Division

Elagba H.A., 2015. Determination of Nutritive Value of the Edible migratory locust *Locusta migratoria* ; Linnaeus ; 1758 (Orthoptera : Acrididae) INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCES IN PHARMACY, BIOLOGY AND CHEMISTRY Vol. 4(1), ISSN: 2277 - 4688

FAO. 2014. State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*, 197, 1-33. Repéré à <http://www.fao.org/3/a-au189e.pdf>

Fiche technique de laboratoire de contrôle de qualité de Biscuiterie MAXON Kharouba Boudouaou.

Gallen C., Gaëlle P.S., 2015, La comestibilité des insectes : étude exploratoire chez les jeunes consommateurs français Thèse de doctorat , Université de Nantes, 1 p.

Grassé P.P., 1949-traité de zoologie. Anatomie, systématique, biologie ED Masson, Paris, T. IX, 1117 P.

GreenKow [Internet]. 2013. Available from: <http://www.greenkow.be>

<http://documents.wfp.org/stellent/groups/public/documents/communications/wfp229438.pdf>.

Jongema Y, 2015. Liste of edible insects in the world (June 1, 2015). *Wageningen University & Research, section Expertise and services – Chair group – Plant sciences*. Repéré à <http://www.wur.nl/en/Expertise-Services/Chair-groups/Plant-Sciences/Laboratory-of-Entomology/Edible-insects/Worldwide-species-list.htm>

Keller U, Battaglia R, Beer M, Darioli R, Meyer K, et al, 2012. Sixième rapport sur la nutrition en Suisse. Berne : Office fédéral de la santé publique.

Klunder, H.C., Wolkers-Rooijackers, J., Korpela, J.M. & Nout, M.J.R. 2012. Microbiological aspects of processing and storage of edible insects. *Food Control* 26, 628–631.

Koucha S., 1997. Contribution à l'étude de quelque espace de la biologie, la morphologie et l'alimentation du criquet migrateur *Locusta migratoria* (Linné ;1775) (Orthop- Acrididae) au laboratoire. Thèse Ing.Univ. Sci. et Tech. Saad Dahleb. Blida, 92 p.

Koudandé O.D., Glèlè kakair. L. et Mensah G.A., 2016. Synthèse bibliographique sur les insectes et autres invertébrés comestibles utilisés dans l'alimentation des animaux monogastriques d'élevage. Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB). 80, 43-53.

Lähteenmäki-Uutela L.A., Grmelová N., Hénault-Ethier L., Deschamps, M.-H., Vandenberg G.W., Zhao A. Neman V. 2017.Insects as Food and Feed: Laws of the European Union, United States, Canada, Mexico, Australia, and China. *European Food and Feed Law*. (1): 1-15.

Launois-Luong M.H. et Lecoq M., 1989.Vade Mecum des criquets du sahel.Ed.CIRAD /PRIFAS, Collection Acridologie Opérationnelle n°5, Montpellier, 125 p.

Lavalette M., 2013. Les insectes: Une nouvelle ressource en protéines pour l'alimentation humaine.Thèse de Doctorat, Université De Lorraine, Metz France,2p.

Lignet, CH. 2012. Comment développer une filière d'insectes comestibles au Bénin pour lutter durablement contre la malnutrition infantile? Mémoire de fin d'études. Istom, Ecole d'ingénieur en agro-développement international; 64 p

Louveux A et Ben HalimaT., 1986- Catalogue des orthoptèresAcridoidea Afrique du Nord-Ouest. Bull. Soc. Ent., France, n°91,P.p 73-87.

Micronutris [Internet]. 2013. Available from: <http://www.micronutris.com/index.html>

Much S.,2012, Insectes comestibles, Toulouse, Plume de carotte, collection Terra curiosa.

Nations unies, 2011. World Population Prospects: *The 2010 revision*. Department of

- Pomalégni S.C.B. , Gbemavo D.S.J.C. , Babatoundé S., Chrysostome C.A.A.M., Popov G.B et Launois-luong M.H et Van der wellJ., 1990-** les oothèques des criquets du sahel. Ed.cirad-prifas, coll .Acrid .n°7. Pays-Bas, 92 P.
- Principales variétés de dattes cultivées dans la région du Djérid en Tunisia. *Fruit*, 49, 4, 289-298.
- Programme alimentaire mondial.** 2011. Carte de la faim dans le monde 2011.
- Ramos-Elorduy J. 2009.** Anthro-entomophagy: cultures, evolution and sustainability. *Entomological Research*. 39:271-288.
- Ramos-Elorduy, J. 2005.** Insectes: une source de nourriture pleine d'espoir. Dans MG Paoletti, éd. *Écologie implications du mini-élevage*, 263-291. Science Pub., Enfield NH, États-Unis
- Raubenheimer D., Rothman J.M.2013.** Nutritional ecology of entomophagy in humans and other primates. *Annual Review of Entomology*. 58:141-160.
- Reviews in Entomology*, 58, 563–583.
- Reynes, M., Bouabidi, H, Piombo, G, Risterucci, A.M., (1994).** Caractérisation des
- Rumpold, B.A. and Schlüter, O.K. 2013.** Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition and Food Research*. 57:3, 802-823.
- SeddikA., 1994-** développement ovarien et charge alaire du criquet pèlerin *schistocerca gregaria* (forsk.1775) et du criquet migrateur *lacustamigratori acinerascens*(bonnet et finot ,1889) (orthoptera, acrididae) dans la région d'Adrar. thèse Ing, inst. Nat.Agro., el harrach, 15p.
- Sorkin, L.N.,2016.** Insect allergy No, not from bites and stings this time. *XXV International Congress of Entomology*, Orlando, FL.
- SteedmanA., 1988-**Manuel de lutte anti-acrididienne. Ed. Odnri., France, 71 PP.
- Symmons et Cressman,2001.** Directives sur le criquet pèlerin : Le criquet pèlerin biologie et comportement. Ed. Food Alimentation Organisation (FAO),Rome,43p.
- Tabutin, D., Schoumaker, B. 2004.** La démographie de l'Afrique au sud du Sahara des années 1950 aux années 2000. *Populations* 59. 521 R 622.
- Tchibozo.S, Meura. J et Mergen. P,2016.** Protéines d'insectes et biscuits fortifiés pour les enfants souffrant de malnutrition en Af rique, Développement et santé
- Van Huis A. , van Itterbeeck J. , Klunder H. , Mertens E., Halloran A., Muir G. et Vantomme P. 2013,** *Edible Insects, future prospects fo food and feed security*, FAO and Wageningen UR, Food And Agriculture Organization of the United Nations.

Van Huis, A,2013, Potential of insects as food and feed in assuring food security, *Annual*

Vandermeersch Charles 2018 , Caractéristiques des produits issus de l'élevage d'insectes, débouchés et usages de ces produits, précautions et mise en garde , Thèse pour l'obtention du DIPLOME d'ETAT de DOCTEUR EN PHARMACIE , Université de Bordeaux ,63,82 p

Vijver M, Jager T, Posthuma L, Peijnenburg W,2003 ;. Metaluptakefromsoils and soil-sedimentmixtures by larvae of *Tenebriomolitor* (L.) (Coleoptera). *Ecotoxicology and EnvironmentalSafety*. 54(3) : 277-289.

XiaoMing C., Ying F. Hong Z. and ZhiYong C.,2008. Review of the nutritive value of edibleinsects. Edibleinsects and otherinvertebrates in Australia : future prospects. Proceeding of a workshop on Asia-Pacific resources and their potential for development. [Chiang Mai, Thailand, 19-21 February, 2008.](#)

Xiaoming, C., Ying, F., Hong, Z. &Zhiyong, C. 2010. Review of the nuritive value of edibleinsects. InP.B. Durst, D.V. Johnson, R.L. Leslie. & K. Shono, eds. *Forest insects as food: humans bite back*, proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and theirpotential for development. Bangkok, FAO Regional Office for Asia and the Pacific.

Xiaoming, C., Ying, F., Hong, Z. et Zhiyong, C.,2010). Review of the nuritive value of edible insects. Dans Durst, P.B., Johnson, D.V., Leslie, R.N. et Shono, K. (dir.), *Edible forest insects, Humans bite back* (p.85-92). Bangkok, Thaïlande, Bureau régional de la FAO pour l'Asie et le Pacifique. Repéré à <http://www.fao.org/docrep/012/i1380e/i1380e00.pdf>

Ynsect [Internet]. 2015. Available from: <http://www.ynsect.com>

Annexes

Annexe 1

Présentation des lieux de stage

1-Présentation de Biscuitrie Maxon

En 2007, la **Sarl Sobco** a été créée dans la zone industrielle de kharouba Boudouaou dans la wilaya de Boumerdes, le dynamisme de ses managers lui a permis le développement rapide de ses activités

Depuis sa création il y'a presque **10 ANS**, un travail de longue haleine a été réalisé, Aujourd'hui leur objectif est la pérennité de l'entreprise à travers une amélioration continue de ses performances.

C'est dans ce sens que **Palmery** s'est engagé dans un programme de modernisation des équipements et de développement de ses activités, soutenues par une démarche innovante, pour demeurer l'un des leaders dans son domaine d'activité.

L'innovation n'étant pas en reste, car la création de nouveaux produits lui permet de faire concurrence aux produits venus d'ailleurs

Laboratoire de contrôle de qualité Younes – lab

Catégorie : industrie et fabrication

Entreprise : laboratoire de contrôle de qualité Younes – lab.

Service / produit : laboratoire d'analyse microbiologie

- ❖ Laboratoire de contrôle de qualité et de conformité Younes – lab. sis à si Mustapha wilaya de boumerdes assure toutes types d'analyses microbiologique et physico – chimique des produits : agroalimentaires, cosmétique, détergents, parapharmaceutique ; aliments de bétail ; eaux et sol.
- ❖ Les dossiers technique (demande d'autorisation préalable de fabrication ; conditionnement ou d'importation)
- ❖ Mis en place de : système Haccp ; BPH ; BPF.

Laboratoire du contrôle de la qualité et de conformité Esafaa

- ❖ Cette laboratoire sis à Azouza chabet El Aneur wilaya Boumerdes assure toutes types d'analyse physico- chimique et microbiologique des produits.



Ecole nationale supérieure vétérinaire d'Alger

Présentation

Ecole nationale supérieure vétérinaire d'Alger (ENSV) est un établissement public d'enseignement supérieur placé sous la tutelle du ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique. Créée par le décret présidentiel N°65- 69 du 11mars 1965 et fondée en 1970 l'ENSV a été promue au rang de grande école en 2008

Localisation

Le nouveau site de l'ENSV, inauguré en septembre 2014, se situe à El Alia, à une quinzaine de kilomètres à l'Est de la capitale. L'école est localisée à proximité de l'université des sciences et de la technologie de bab Ezzouar (USTHB), de la résidence universitaire d'El Alia et du parc de loisirs de beau lieu.

Annexe 2

I-Appareillage

- Etuve
- Broyeur
- Balance pour peser la farine
- Matériel de stérilisation : Autoclaves et four Pasteur

II-Verrerie et accessoires

- Béchers
- Bec Bunsen
- Boîtes de pétri
- La burette
- Flacons
- Eprouvette graduée
- Pipette pasteur

- Portoirs des tubes
- Spatule

III-Produits et réactifs

- Huile de paraffine

Annexe 3

Milieux de culture

Standard Méthodes Agar : PCA

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

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

Digestat enzymatique de tissus animaux.....	7,0g
Extrait de levure.....	3,0g
Sels biliaires.....	1,5g
Lactose	10,0g
Chlorure de sodum	5 ,0
Rouge neutre.....	0,03g
Cristal violet.....	0,002g
Agar-agar bactériologique.....	12gà18g
Eau.....	1000ml

Gélose Baird Parker

Peptone.....	10g
--------------	-----

Extraction de viande de bœuf.....	5,0g
Extrait de levure.....	1,0g
Pyruvate de sodium.....	10,0g
Glycocolle.....	12,0g
Chlorure de lithium.....	5,0g
Agar-agar.....	15,0g
Emulsion de jaune d'œuf (stérile).....	47,0ml
Tellurite de potassium (stérile).....	3ml
PH de milieu.....	7,2

Gélose Sabouraud

Peptone de caséine.....	5,0
Peptone de viande.....	5,0
Glucose monohydraté.....	40,0
Chloramphénicol.....	0,50
Agar.....	15,0
pH.....	5,6+ 0,2

Gélose au cétrimide

Peptone de gélatine.....	16,0g
Peptone de caséine.....	10,0g
Cétrimide.....	0,2g
Acide nalidixique.....	15mg
Sulfate de potassium.....	10,0g
Agar.....	10,0g
Eau distillée.....	1000ml
pH.....	7,1

Gélose Palcam

Peptone.....	23 g
Amidon.....	1.0 g
Agar – agar.....	20.0 g
Chlorure de sodium.....	5.0 g

D (-) mannitol	10.0 g
Ammonium de fer III citrate	0.5 g
Esculine	0.8 g
Glucose	0.5 g
Chlorure de lithium	15.0 g
Rouge de phénol	0.08 g
Eau	1000 ml

Milieu SFB

Tryptone	5 g
Lactose	4 g
Sélénite	4 g
Hydrogénosélénite de sodium	4.0 g
Eau distillé (quantité suffisante pour 1 L)	

Milieu FRASER

Polypeptone	10.0 g
Extrait de levure	5.0 g
Extrait de viande	5.0 g
Esculine	1.0 g
Citrate de fer III ammoniacal	0.5 g
Chlorure de lithium	3.0 g
Acide nalidixique	0.02 g
Chlorhydrate d'acriflavine	0.025 g
Chlorure de sodium	20.0 g
Hydrogénophosphate de sodium	9.6 g
Dihydrogénophosphate de potassium	1.3 g

PH = 7.2 +- 0.2

Gélose Hektoen

Peptone pepsique de viande	12 g / L
Extrait de levure	3 g / L
Chlorure de sodium	5 g / L
Thiosulfate de sodium	5 g / L

Sels biliaire	9 g/ L
Citrate de fer ammoniacal	1.5 g / L
Salicine	2 g/ L
Lactose	12g/ L
Saccharose	12g/ L
Fus chine acide	0.1g/L
Bleu de bromothymol	0.065 g /L
Agar	14 g/L
PH =7.5 (environ)	

Milieu VF (Civer Meat Agar)

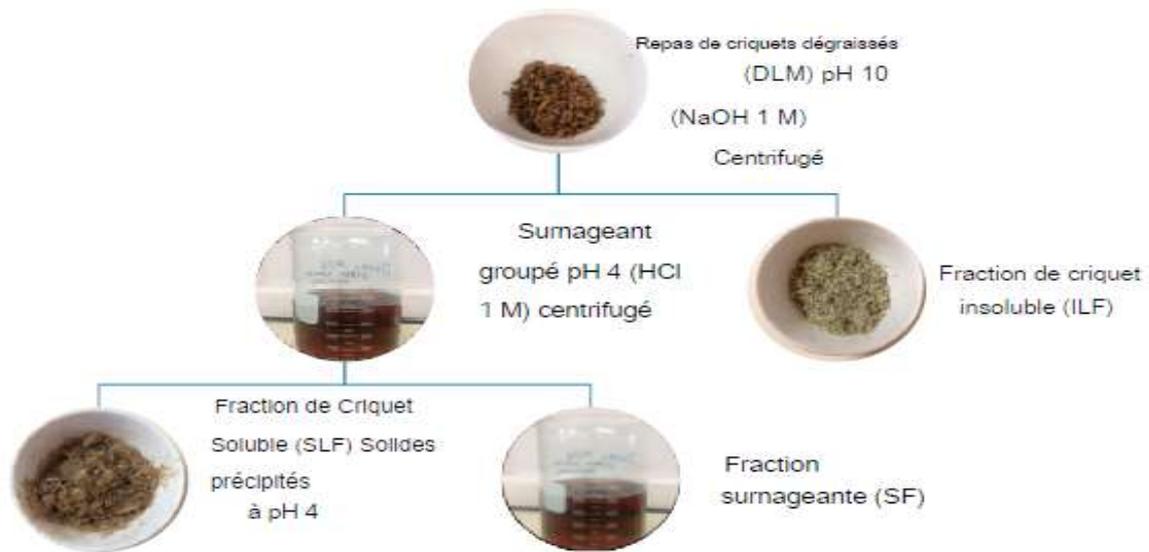
Peptone viande –foie	30.00 g /L
Glucose	2.00 g/L
Amidon soluble	2.00 g/L
Sulfite de sodium	2.50 g/L
Citrate ferrique ammoniacal	0.50 g/L
Agar	11.00 g/L
PH final à 25 c° : 7.6 +-0.2	

Annexe 4

Préparation de farine de criquets

Les criquets ont été élevés dans de grands conteneurs en plastique à température ambiante et source de lumière constante. L'aliment était composé de graminées d'avoine et d'avoine moulue.

Les criquets vivants ont été récoltés à la main dans de petits conteneurs et placés dans un Congélateur 18à -°C pendant la nuit. Des échantillon sentiers ont été lyophilisés et broyés pour produire de la farine de criquets (LM). La farine de criquets dégraissée (DLM) a été préparée en dispersant du LM dans l'hexane (1: 5, w / v) et agité pendant trois heures en utilisant un agitateur magnétique (, avec renouvellement d'hexane toutes les heures. Le mélange a été filtré trois fois et séché dans une hotte pour éliminer tout solvant organique restant. LM et DLM ont été stockés dans un dessiccateur à température ambiante.



Une représentation schématique de la méthodologie utilisée pour extraire les fractions protéiques de *L. migratoria*

Annexe 5



Etuvage



Résultats des dilutions de test recherche Salmonelle Résultats des dilutions de test GAM recherche de Salmonelle

Résumé

Le travail réalisé porte sur le criblage biochimique et microbiologique d'une farine d'origine animale, obtenue d'un insecte Orthoptère, *Locusta migratoria* et l'incorporation de cette farine dans la formulation de biscuits type muffin. Pour cela, une caractéristique physico-chimique et microbiologique de cette farine a été faite dans un premier temps. Par la suite un biscuit à été formulé par ajout de la farine de *L.migratoria*. Et en fin une caractérisation microbiologique, biochimique et nutritionnelle du biscuit formulé a été faite. Les résultats obtenus pour la caractérisation microbiologique de la farine a montré l'absence des germes pathogènes et pour le reste de la flore, les dénombrements ne dépassent pas les normes. Sur le plan biochimique, la farine de criquet était riche en protéines, en matières grasses et en fibres. Pour la partie formulation, Il s'est avéré que le muffin enrichi par la farine de criquet était plus riche sur le plan nutritionnel que le biscuit témoin. En conclusion, la farine de criquet est riche en nutriments et présente de bonnes valeurs nutritionnelles et ne présente aucun risque sur la santé humaine, sur le plan microbiologique. Ces résultats préliminaires peuvent ouvrir les portes sur d'autres recherches en lien direct avec les problèmes de la famine et la malnutrition.

Mot clé : *Locusta migratoria* , Insectes comestibles, incorporation, analyse microbiologique et physicochimique, biscuits muffin, Entomophagie.

Abstract

The work carried out relates to the biochemical and microbiological screening of a flour of animal origin obtained from an Orthoptera insect *Locusta migratoria* and the incorporation of this flour in the formulation of muffin cookies. For this, a physicochemical and microbiological characteristic of this flour was first made, subsequently a biscuit was formulated by adding the flour of *L. migratoria*. Finally, a microbiological, biochemical and nutritional characterization of the formulated biscuit was made. The results obtained for the microbiological characterization of the flour showed the absence of pathogenic germs and for the rest of the flora, the counts did not exceed the standards. Biochemically, locust flour was rich in protein, fat and fiber. For the formulation part, the muffin enriched with locust flour was found to be nutritionally richer than the control cookie. In conclusion, locust flour is rich in nutrients and has good nutritional values and presents no risk to human health from a microbiological point of view. These preliminary results may open the doors to further research directly related to the problems of famine and malnutrition.

Keyword: *Locusta migratoria*, Edible insects, incorporation, microbiological and physicochemical analysis, muffin cookies, Entomophagy

الملخص

يتعلق العمل الذي تم إجراؤه بالفحص الكيميائي الحيوي والميكروبيولوجي لدقيق من أصل حيواني تم الحصول عليه من حشرة Orthoptera *Locusta migratoria* ودمج هذا الدقيق في صياغة كعك الكعك. لهذا الغرض ، تم صنع الخاصية الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية لهذا الدقيق أولاً ، ثم تمت صياغة البسكويت بإضافة دقيق *L.migratoria*. وأخيراً ، تم عمل توصيف ميكروبيولوجي وكيميائي حيوي وغذائي للبسكويت المصنوع. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها للتوصيف الميكروبيولوجي للدقيق عدم وجود الجراثيم المسببة للأمراض وبالنسبة لبقية النباتات ، لم تتجاوز الأعداد المعايير. من الناحية الكيميائية الحيوية ، كان دقيق الجراد غنياً بالبروتين والدهون والألياف. بالنسبة لجزء التركيبة ، وجد أن الكعك المخصب بدقيق الجراد أغنى من الناحية التغذوية من ملف تعريف الارتباط. في الختام ، دقيق الجراد غني بالمواد المغذية وله قيم غذائية جيدة ولا يمثل أي خطر على صحة الإنسان من وجهة نظر ميكروبيولوجية. قد تفتح هذه النتائج الأولية الأبواب لمزيد من البحث المتعلق مباشرة بمشاكل المجاعة وسوء التغذية.

الكلمة الرئيسية: الجراد المهاجر ، الحشرات الصالحة للأكل،التأسيس ، التحليل الميكروبيولوجي والفيزيائي ، كعك المافن