

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE  
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université M'Hamed Bougera - Boumerdes  
Faculté des sciences-Département de Biologie



**Mémoire de projet de fin d'études**

En vue de l'obtention du Diplôme de Master Académique en Biologie.

Domaine: Science de la Nature et de la Vie.

Filière: Biotechnologie.

Spécialité: Biotechnologie microbienne.

**Thème**

**Analyse physico-chimique et microbiologique d'une farine de *Schistocerca gregaria* (Orthoptera: Acrididae). Etude de son incorporation dans le fromage fondu et son impact sur ses caractéristiques physico-chimiques**

**Réalisé par :**

M<sup>elle</sup> Chaouchi Thinhinane

M<sup>elle</sup> Hamadou Lilya

**Devant le jury :**

**Présidente : Pr Belaid M.**

**UMBB**

**Promotrice : Pr Acheuk F.**

**UMBB**

**Copromotrice : Pr Maghniche F.**

**ENVA**

**Examinatrice : Dr Allouane R.**

**UMBB**

**Invité: Mr Khemila A. Doctorant**

**UMBB**

Année universitaire 2019-2020

## **REMERCIEMENTS**

*AU terme de la rédaction de ce mémoire, nous remercions :*

*ALLAH qui nous a toujours donné la force de passer à travers les épreuves et les découragements, qui nous a aidé à mener à terme cette recherche.*

*Nous tenons à remercier sincèrement notre promotrice de mémoire madame «ACHËUK Fatma», qui s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire. Ainsi pour l'inspiration, la gentillesse, l'aide et le temps qu'elle a bien voulu nous consacrer et sans, ce mémoire n'aurait jamais vu le jour. Que ces quelques mots ne suffissent pas à exprimer nos profondes gratitude pour la confiance qu'elle nous a accordé en acceptant de superviser ce travail.*

*Notre sincère reconnaissance à tout le personnel de la fromagerie SARL pâturage, en particulier Mme Makhloufi et Mme bouaraba, sans oublier le personnel du laboratoire Bedrane Younes qui sans eux ce travail n'aurait été accompli.*

*Les membres de jury Mme Pr Belaïd M. et Mme Dr Allouane R. et Mr Khemila A. de l'UMBB d'avoir accepté d'évaluer et d'examiner ce travail.*

*A toute personne ayant participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail, nous disons merci.*

## **DEDICACE**

*Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert  
et une immense joie que je dédie ce modeste travail :*

*A mes chers parents*

*Aucune dédicace et aucun mot ne pourraient exprimer à leur juste  
valeur la gratitude et l'amour que je vous porte.*

*Vous êtes la lumière de mes jours, la source de mes efforts et la  
flamme de mon cœur.*

*Que Dieu vous garde pour moi « inshallah ».*

*A mes chères frères: SLIMANE, MASSINISSA, YOUBA et mes  
chères sœurs : KAHINA, ZINA et TAOUS, en témoignant de  
l'attachement, de l'amour et  
de l'affection que je vous porte, sans oublié mon neveu Khalil et mes  
nièces MARIA et Meriem.*

*A ma grande famille : CHAOUCHI et YAYA.*

*A mes chéries : LILYA, WIDAD, RANIA, SABRINA, ZOHRA et  
Nadjet*

*Je vous souhaite une vie pleine de succès, de joies et de bonheur.*

*Merci pour tous les meilleurs moments que nous avons passés  
ensemble.*

*A tous mes amis (es) : merci pour votre amour et encouragement  
avec tous mes vœux de bonheur,*

*Santé et réussite.*

*Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet  
soit possible*

*Je vous dis merci.*



*THINHINANE*



## **DEDICACE**

*Nullé œuvre n'est exaltante que celle réalisée avec le soutien moral et financier des personnes qui nous sont proches.*

*Je tiens à exprimer ma plus profonde reconnaissance à :*

*Mes chers parents, aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les encouragements, prières et les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être. Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux qui m'ont toujours entouré et motivé à sans cesse devenir meilleur ; Que dieu tout puissant vous garde et vous procure santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive Inshallah.*

*A mon cher frère HACHMI qui a toujours su me comprendre, pour son Soutien et son orientation accordée merci pour ton assistance dans les moments les plus pénible.*

*A ma sœur FAZIA et ma charmante petite princesse HADJER.*

*A ma grande famille : HAMADOU, TOUABI.*

*A mes très chères copines, THINHINANE, RANIA, SABRINA, FAIZA , ZOHRA et Nadjet mes fidèles. En souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables que nous avons passés ensemble.*

*A tous mes amis (es) : merci pour votre amour et encouragement avec tous mes vœux de bonheur, santé et réussite.*

*Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible.*

*Je vous dis merci.*

  
LILYA

## Table des matières

### Liste des tableaux

### Liste des figures

### Liste des abréviations

## Sommaire

### INTRODUCTION.....1

### CHAPITRE I SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1	Entomophagie .....	3
I.1.1	Insectes comestibles dans le monde .....	3
I.1.2	Principaux groupes d'insectes comestibles .....	4
I.1.2.1	Coléoptères.....	5
I.1.2.2	Hyménoptères.....	5
I.1.2.3	Orthoptères .....	5
I.1.2.4	Lépidoptères .....	5
I.1.2.5	Isoptères .....	6
I.1.3	Valeurs nutritionnelles des insectes comestibles.....	6
I.1.3.1	Apport énergétique alimentaire .....	7
I.1.3.2	Protéines.....	7
I.1.3.3	Minéraux .....	8
I.1.3.4	Glucides .....	8
I.1.3.5	Lipides.....	8
I.1.3.6	Vitamines .....	9
I.1.4	Avantages de l'élevage des insectes comparativement à l'élevage conventionnel.....	9
I.1.5	Risques liés à la consommation des insectes .....	10
I.1.5.1	Risque allergène .....	10
I.1.5.2	Risque microbiologique .....	10
I.1.5.3	Risque parasitaire .....	11
I.1.5.4	Risque chimique .....	11
I.1.5.5	Risque physique.....	11

I.1.6	Produits destinés à l'alimentation humaine.....	11
I.1.7	Exemple des aliments à base d'insectes.....	12
I.1.8	Présentation de l'espèce acridienne <i>Schistocerca gregaria</i> .....	13
I.1.8.1	Position systématique et appellation.....	13
I.1.8.2	Répartition mondiale de criquet pèlerin.....	14
I.1.8.3	Cycle biologique.....	14
I.2	Le fromage .....	15
I.2.1	Produits innovants en fromagerie .....	16
I.2.2	Fromage fondu.....	17
I.2.3	Différents types de fromages fondus .....	17
I.2.4	Composition et valeur énergétique du fromage fondu.....	18
I.2.5	Procédé de la fabrication du fromage fondu .....	18
I.2.5.1	Préparation des matières premières .....	18
I.2.5.2	Mélange, cuisson et fonte.....	19
I.2.5.3	Stabilisation thermique de la pâte.....	19
I.2.5.4	Crémage pour ajustement de la consistance.....	19
I.2.5.5	Conditionnement .....	19
I.2.5.6	Refroidissement et stockage.....	20

## CHAPITRE II      MATERIEL ET METHODES

II.1	Matériel biologique .....	21
II.1.1	Préparation du matériel biologique (la farine de <i>Schistocerca gregaria</i> ).....	21
II.2	Matériel non biologique.....	22
II.3	Caractérisation physico chimique et analyse microbiologique de la farine de <i>Schistocerca gregaria</i> .....	22
II.3.1	Analyses physico-chimiques .....	22
II.3.1.1	Détermination de pH.....	22
II.3.1.2	Détermination de l'humidité .....	25
II.3.1.3	Détermination de la teneur en cendres.....	22
II.3.1.4	Détermination de la teneur en fibres.....	23
II.3.1.5	Détermination de la teneur en matière grasse .....	24
II.3.1.6	Détermination de la teneur en protéines .....	27
II.3.1.7	Détermination de la teneur en glucides.....	22

II.3.2	Analyses microbiologiques .....	28
II.3.2.1	Préparation de la solution mère .....	28
II.3.2.2	Recherche et dénombrement de la flore aérobie mésophile.....	28
II.3.2.3	Recherche et dénombrement des coliformes Totaux .....	29
II.3.2.4	Recherche et dénombrement des coliformes fécaux ( <i>Escherichia coli</i> ).....	30
II.3.2.5	Recherche et dénombrement de <i>Staphylococcus aureus</i> .....	31
II.3.2.6	Recherche et dénombrement des salmonelles .....	32
II.3.2.7	Recherche et dénombrement des <i>Pseudomonas aeruginosa</i> .....	33
II.3.2.8	Recherches et dénombrement des <i>Clostridium sulfito-réducteur</i> .....	33
II.3.2.9	Recherche et dénombrement de <i>Listeria monocytogene</i> .....	34
II.3.2.10	Recherche et dénombrement des moisissures et des levures .....	35
II.4	Incorporation de la farine de <i>Schistocerca gregaria</i> dans le fromage fondu.....	35
II.4.1	Détermination de l'effet de l'incorporation de la farine de <i>Schistocerca gregaria</i> sur la qualité du fromage .....	36
II.4.1.1	Analyses physico-chimiques du fromage préparé par incorporation de la farine de <i>Schistocerca gregaria</i> .....	36
II.4.1.1.1	Mesure de pH.....	36
II.4.1.1.2	Détermination de la teneur en matière grasse.....	36
II.4.1.1.3	Détermination de la matière sèche totale .....	37
II.4.1.1.4	Détermination de la teneur en protéines.....	37
II.4.1.2	Analyses microbiologiques du fromage fondu préparé par incorporation de la farine de <i>Schistocerca gregaria</i> .....	37
II.4.1.3	Test sensoriels .....	38

## CHAPITRE III RESULTATS ET DISCUSSION

III.1	Résultats de l'analyse physico chimique et microbiologique de la farine de <i>S. gregaria</i> .....	39
III.1.1	Résultats d'analyses physico-chimiques de la farine.....	39
III.1.2	Résultats de l'analyse microbiologique de la farine de <i>Schictocerca gregaria</i> .....	41
III.2	Résultats des analyses physicochimiques et microbiologiques du fromage formulé par incorporation de la farine de <i>S. gregaria</i> à différents dosages .....	44
III.2.1	Résultats des analyses physico-chimiques de fromage fabriqué par incorporation de la farine de <i>S. gregaria</i> à différents dosages. ....	45
III.2.2	Résultats des analyses microbiologiques de fromage fabriqué par incorporation de la farine de <i>S. gregaria</i> à différents dosages. ....	46

III.2.3 Résultats de l'analyse sensorielle des fromages formulés par incorporation de la farine de *S. gregaria* à différents dosages comparativement au fromage témoin de référence 47

III.2.3.1 Saveur .....47

III.2.3.2 Texture.....48

III.2.3.3 Couleur .....48

**Conclusion.....47**

**Références bibliographiques.**

**Annexes.**

## Liste des tableaux

<b>Tableau n°1:</b> comparaison des valeurs nutritionnelles des insectes à celles d'une viande, de bœuf (g/100g).....	7
<b>Tableau n°2 :</b> Composition moyenne du fromage fondu pour 100 g de produit frais .....	18
<b>Tableau n°3:</b> Résultats des analyses physiques-chimiques de la farine de <i>Schistocerca gregaria</i> .....	39
<b>Tableau n° 4:</b> Lecture des analyses microbiologiques de la poudre de <i>Schistocerca gregaria</i> .....	41
<b>Tableau n°5:</b> Résultats des analyses microbiologiques de la farine de <i>Schistocerca gregaria</i> .....	43
<b>Tableau n°6:</b> Résultats des analyses physiques-chimiques de fromage fabriqué.....	45
<b>Tableau n°7:</b> Résultats d'analyses microbiologiques de fromage fabriqué. ....	46

## Liste des figures

<b>Fig. n°1:</b> Nombre d'espèce d'insectes comestibles dans le monde .....	4
<b>Fig. n°2:</b> Prévalence des ordres d'insectes en alimentation humaine à l'échelle mondiale .....	6
<b>Fig. n°3:</b> Production de gaz à effet de serre (potentiel de réchauffement planétaire), consommation énergétique et surfaces consacrées à la production d'un kg de protéines de ver de farine, de lait, de porc, de poulet et de bœuf .....	9
<b>Fig. n°4:</b> Photo d'un adulte grégaire mature du criquet pèlerin <i>Schistocerca gregaria</i> .....	13
<b>Fig.n°5:</b> L'aire de distribution du criquet pèlerin dans le monde selon la FAO, 2020.....	14
<b>Fig.n°6:</b> Cycle biologique de criquet pèlerin.....	16
<b>Fig. n°7:</b> Diagramme de fabrication du fromage fondu .....	20
<b>Fig. n°8 :</b> Criquets otés de la partie tibia (a) ; La farine obtenue après broyage des criquets (b) .....	22
<b>Fig. n°9 :</b> Extraction de la matière grasse avec soxhlet (a) ; Matière grasse récupérée +hexane (b) .....	26
<b>Fig. n°10:</b> Mesure de pH par pH-mètre.....	36
<b>Fig. n°11:</b> Les analyses microbiologiques du fromage fabriqué. ....	38
<b>Fig. n°12 :</b> Les échantillons de fromage fabriqué.....	44
<b>Fig. n°13:</b> Les résultats de l'appréciation des produits sur la saveur. ....	47
<b>Fig. n°14 :</b> Les résultats de l'appréciation des produits sur la texture.....	48
<b>Fig. n°15 :</b> Les résultats de l'appréciation des produits sur la couleur.....	49

## Liste des abréviations

**AFNOR** : Association Française de Normalisation.

**ANSES** : Agence Nationale de Sécurité Sanitaire.

**C°** : degré Celsius

**EFSA** : Autorité Européenne de Sécurité des Aliments.

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

**Hcl** : Acide chlorhydrique.

**Ined**: Institut National D'Etudes Démographiques.

**ISO** : Organisation Internationale de Normalisation

**JORA** : Journal Officiel Algérie.

**mL** : millilitre

**min** : minute

**NaOH** : Hydroxyde de sodium.

**OGA**: Oxytétracycline Glucose Agar.

**PCA**: Plate Count Agar.

**PH** : potentiel d'hydrogène.

**SFB** : Bouillon au sélénite de sodium.

**SOR-Mite** : Bouillie de sorgho enrichie en protéines.

**UFC** : Unité Formant Colonie.

**VRBL** : Milieu lactosée biliée au cristal violet et au rouge neutre.

**VF** : Viande- Foie.

**MG** : Matière grasse

**MS** : Matière sèche

**EST** : Extrait sec total

# *Introduction générale*

## Introduction générale

Plusieurs projections suggèrent que la population mondiale atteindra plus de 9 milliards d'ici 2050 (Grafton et *al.*, 2015 ;Montowskaet *al.*,2019). Les plus fortes augmentations de la population entre 2019 et 2050 auront lieu dans certains pays : Inde, Nigéria, Pakistan, Congo, Éthiopie, Tanzanie, Indonésie, Égypte et États-Unis. L'Inde devrait dépasser la Chine en tant que pays le plus peuplé du monde aux alentours de 2027. La population de l'Afrique subsaharienne devrait doubler d'ici 2050 alors que celle de l'Europe et de l'Amérique du Nord n'augmenter que de 2% (ined, 2019).

Par conséquent, l'un des problèmes mondiaux peut être de nourrir la population avec des quantités appropriées de nourriture et en particulier avec apport adéquat en protéines (FAO, 2012). Bien que le corps humain n'ait pas exclusivement besoin de protéines, leur apport en quantité et en qualité de manière journalière est vital pour l'espèce humaine. Cette nourriture apporte des composants, notamment des acides aminés dits essentiels car non synthétisables par l'organisme. Or ces protéines sont majoritairement introduites dans notre alimentation par la consommation de viande animale (Vandermeersch, 2018).

Donc cette explosion démographique mondiale en 2050, force une augmentation de la production de denrées alimentaires/aliments pour homme et animaux, entraînant une pression encore plus grande sur l'environnement, des pénuries de terres agricoles, d'eau, de forêts, de ressources halieutiques et de biodiversité, ainsi que de nutriments et d'énergie non renouvelable sont prévues (FAO, 2013).

Les techniques modernes d'élevage bien qu'ayant considérablement évolués aux cours des années, restent polluantes et envahissantes. C'est pour cette raison, la production d'insectes peut donc être envisagée comme alternative pour l'homme et même pour l'alimentation animale. Cependant dans certains pays d'Asie, d'Afrique et d'Amérique Centrale, la consommation d'insectes est culturellement normale et même parfois considérée comme un met délicat. On observe même une production d'insectes par élevage et non plus par récolte comme elle l'était historiquement (Vandermeersch, 2018).

Le rapport de la FAO produit en 2013 est à l'origine d'une dynamique pour les recherches sur l'entomophagie : l'organisation considère en effet, la production d'insectes comme une possibilité de répondre à la problématique alimentaire actuelle, aussi bien dans les pays développés qu'émergents. Les insectes présentent des qualités nutritionnelles importantes et

## Introduction générale

leur production peut être à la fois efficace et durable, ce qui correspond aux besoins d'évolution actuels des productions animales (Van Huis et *al.*, 2013).

Ce travail est une première contribution à la formulation d'un aliment innovant par incorporation de la farine d'un orthoptère: *Schistocerca gregaria* (Orthoptera : Acrididae). Le travail porte essentiellement sur l'analyse microbiologique et physicochimique de cette farine qui pourra être destinée à la consommation humaine après son incorporation dans le fromage fondu.

Le document comporte plusieurs chapitres, le manuscrit a été décrit par la présentation de la problématique de cette thématique de recherche en introduction générale. Par la suite une synthèse bibliographique sur les insectes comestibles et l'entomophagie ainsi qu'une présentation du criquet pèlerin et du fromage fondu est présentée dans un premier chapitre. La méthodologie de travail est présentée dans un deuxième chapitre et à la fin, les résultats obtenus et leur interprétation est faite dans un troisième chapitre. Une conclusion générale a été présentée à la fin du document.

عن عبد الله بن عمر رضي الله عنهما ان رسول الله صلى الله عليه وسلم قال: "احلت لنا ميتتان و دمان فأما الميتتان فالجراد و الحوت و أما الدمان فالكبد و الطحال".

# *Chapitre I : Synthèse bibliographique*

## I.1 Entomophagie

Le terme d'entomophagie est étymologiquement issue des termes grecs « entoma », qui signifie « insectes », et « -phage » qui veut dire « mangeur », (Sogariet *al.*, 2019).

D'après Mignon (2002), l'entomophagie consiste à consommer des insectes. Loin d'être une curiosité limitée à quelques peuplades, l'entomophagie constitue une source majeure de nutrition et ces aliments sont consommés dans 130 pays. Les continents africain et américain étant jusqu'à présent les plus entomophages (Ramos-Elorduy, 2009).

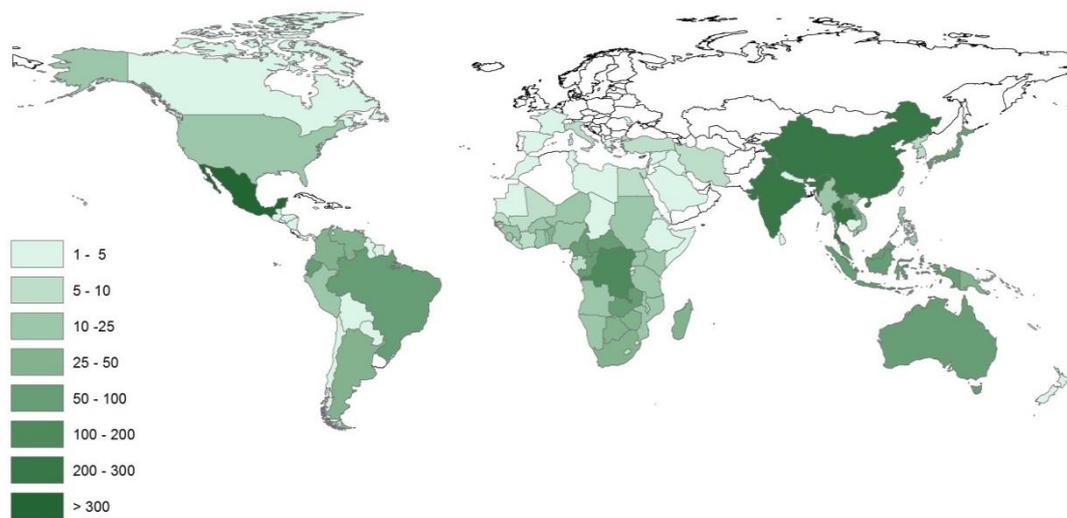
Pour beaucoup d'Européens, la consommation d'insectes est vécue comme un comportement primitif et répugnant. En effet, l'entomophagie n'est pas une curiosité, elle fait partie de toutes les cultures. Certaines l'ont conservée, d'autres l'ont oubliée (Mignon, 2002).

### I.1.1 Insectes comestibles dans le monde

Selon Van Huis et *al.* (2013), les chiffres définitifs sur le nombre d'espèces d'insectes comestibles pour le monde entier est difficile pour plusieurs raisons. Initialement, une personne non initiée ne peut pas décrire un insecte selon la classification de Linné, ce qui rend difficile les évaluations officielles (fig n°1).

Il existe à travers le monde, plus de 2000 espèces d'insectes consommées par l'homme dans 113 pays (Rumpold et Schlüter, 2012). Des estimations plus basses existent. DeFoliart (1997), a compté moins de 1000 espèces, alors que Ramos-Elorduy (2009), a comptait au moins 3071 espèces.

Le continent américain abrite le plus grand nombre d'espèces comestibles (39 %), suivi de l'Afrique (30 %) et de l'Asie (20 %) (Ramos-Elorduy, 2005 in Johnson, 2010).



Source: Centre of Geo information by Ron van Lammeren, Wageningen University, based on data compiled by Yde Jongema, 2017

version: 170402

Fig. n°1: Nombre d'espèce d'insectes comestibles dans le monde (Jongema, 2017).

### I.1.2 Principaux groupes d'insectes comestibles

Les espèces d'insectes consommées appartiennent à cinq ordres principaux (Johnson, 2010):

- L'ordre des Coléoptères (scarabées), avec 31% d'espèces comestibles dans le monde.
- L'ordre des Hyménoptères (fourmis, abeilles et guêpes) qui compte 15% d'espèces comestibles.
- L'ordre des Orthoptères (criquets, sauterelles et blattes) avec 14% d'espèces comestibles.
- L'ordre des Lépidoptères (papillons) comptant 18% d'espèces comestibles.
- L'ordre des Hémiptères (cigales, cicadelles, cochenilles et punaises) qui compte 11% d'espèces comestibles.

### I.1.2.1 Coléoptères

Il existe dans le monde plus de 400 000 espèces de coléoptères, dont 468 sont répertoriées comme étant comestibles (Ramos-Elorduy, 2005 in Johnson, 2010). Les coléoptères sont des insectes holométaboles avec un cycle de développement œuf-larve-nymphe-imago. En général, c'est le stade larvaire qui est consommé, même si tous les stades peuvent l'être. Lors de la consommation de l'imago, il faut enlever la tête, les pattes et autres parties dures (Lavalette, 2013).

### I.1.2.2 Hyménoptères

Il existe 130 000 espèces décrites et 351 espèces comestibles au sein de l'ordre des Hyménoptères (Ramos-Elorduy, 2005 in Johnson, 2010). Comme dans le cas des coléoptères, ce sont les larves qui sont les plus consommées. Il faut ajouter aussi les pupes (enveloppe chitineuse des insectes à métamorphose complète pendant le stade nymphal). Chez les espèces comestibles, le stade adulte se mange également. Cependant il n'est que peu consommé à cause de la présence du dard et de l'apitoxine injectée par celui-ci. Trois familles d'insectes sont ici concernées : la famille des Apidae (les abeilles), la famille des Vespidae (les guêpes), et la famille des Formicidae (les fourmis) (Lavalette, 2013).

### I.1.2.3 Orthoptères

Il existe 20 500 espèces décrites et 267 espèces comestibles au sein de l'ordre des orthoptères (Ramos-Elorduy, 2005 in Johnson, 2010). Chez les orthoptères (criquets, grillons et sauterelles), ce sont les stades nymphe et adulte qui sont consommés. Pour consommer l'imago, il faut enlever toutes les parties dures du corps (tête, pattes, ailes, ...) avant de le cuisiner. Les orthoptères les plus consommés sont *Acheta domesticus* et *Locusta migratoria* (Lavalette, 2013).

### I.1.2.4 Lépidoptères

Il existe 150 000 espèces décrites et 253 espèces comestibles au sein de l'ordre des lépidoptères (Ramos-Elorduy in Johnson, 2010).

L'ordre des lépidoptères contient l'ensemble des papillons. Ils sont holométaboles et leur larve est habituellement désignée par le terme de « chenille ». Le passage par un stade nymphal protégé par un cocon permet la transformation de la chenille en papillon (Langlade, 2019).

Les papillons sont typiquement consommés au stade larvaire (c'est-à-dire sous forme de chenilles), mais les adultes (papillons, papillons de nuit) sont aussi consommés (Van Huis, 2013).

### I.1.2.5 Isoptères

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

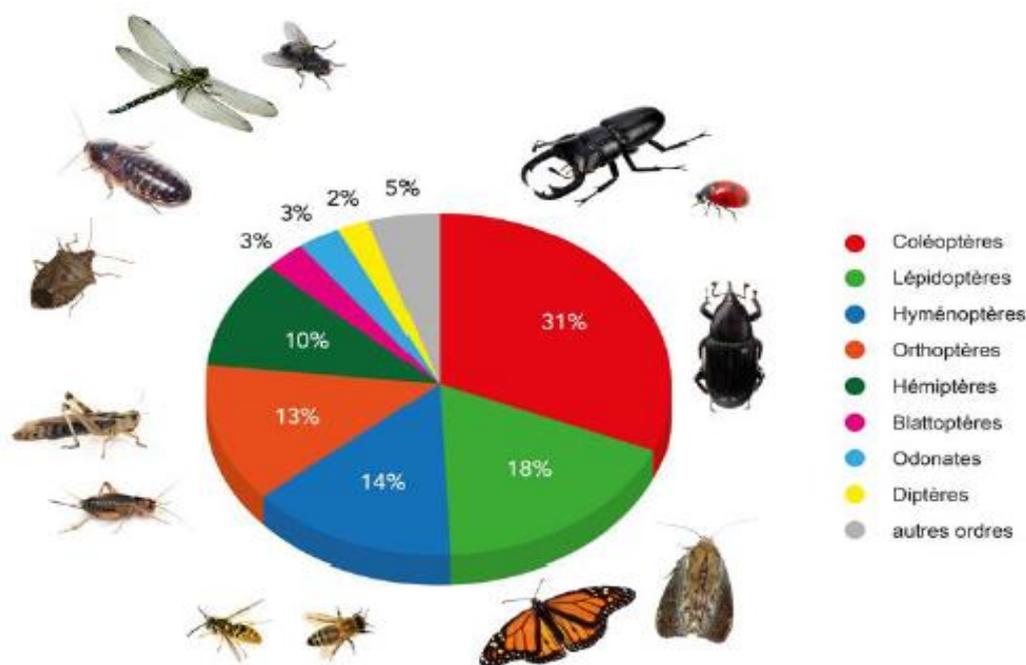


Fig. n°2: Prévalence des ordres d'insectes en alimentation humaine à l'échelle mondiale (Langlade, 2019).

### I.1.3 Valeurs nutritionnelles des insectes comestibles

La valeur nutritionnelle des insectes comestibles est extrêmement variable selon le régime alimentaire, le stade de développement, le sexe, l'espèce, l'environnement de croissance et les méthodes de mesures (Van Huis et Oonincx, 2017). Néanmoins, les chercheurs conviennent généralement que les insectes sont extrêmement riches en protéines, matières grasses et vitamines (Rumpold et Schluter, 2012). Les compositions nutritives des insectes comestibles publiées dans la littérature (basées sur la matière sèche) sont résumées dans le tableau suivant.

Tableau n°1: comparaison des valeurs nutritionnelles des insectes à celles d'une viande, de bœuf (g/100g), (Vandermeersch, 2018).

Espèces (ordre)	Protéines	Lipides	Minéraux	Glucides		Energie Kcal	Forme comestible commune:
				structurés	autres		
Sauterelles, criquets (Orthoptera)	61-77	4-17	2-17	9-12	4-21	362 - 427	
Scarabées, larves (Coleoptera)	21-54	18-52	1-7	6-23	1-19	410-574	
Papillons, chenilles (Lepidoptera)	15-60	7-77	3-8	2-29	1-29	293-762	
Abeilles, fourmis (Hymenoptera)	1-81	4-62	0-6	1-6	8-93	416-655	
Viande (Bœuf)	45-55	40-57	1.4-2.3	0-15	0	433-652	

### I.1.3.1 Apport énergétique alimentaire

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 (Osimani et *al.*, 2017).

Une analyse de 78 espèces d'insectes au Mexique révèle des densités énergétiques comprises entre 293-762 kilocalories pour 100 grammes d'insectes séchés selon Ramos-Elorduy (1997). Par exemple, l'énergie brute (qui est normalement plus élevée que l'énergie métabolisée) du criquet migrateur (*Locusta migratoria*) se situait entre 598 et 816 kJ pour 100 g de poids frais (recalculé à partir du poids sec), en fonction des aliments consommés par les insectes (Van Huis et *al.*, 2013).

### I.1.3.2 Protéines

L'azote est un nutriment essentiel, et les protéines directement impliquées dans l'apport d'azote constituent 16,5% d'un corps humain adulte (Melo et *al.*, 2011). En moyenne, la teneur en protéines des insectes comestibles varie de 35% à 60% en poids sec ou de 10% à 25% en poids frais (Melo et *al.*, 2011 ; Schluter et *al.*, 2017), qui sont plus élevées que les sources de protéines végétales, notamment les céréales, le soja et les lentilles (Bukkens, 1997). De plus les insectes fournissent plus de protéines que la viande et les œufs de poulet (Mlcek et *al.*, 2014).

Xiaoming *et al.* (2010) ont évalué la teneur de protéines de 100 espèces d'insectes comestibles appartenant à divers ordres. Ils trouvent que la teneur en protéines varie entre 13 % et 77 % de la matière sèche.

### I.1.3.3 Minéraux

Il existe une grande variabilité des minéraux selon les espèces, mais le plus souvent 100g d'insectes ne couvrent pas les besoins journaliers en minéraux pour l'homme. Les insectes ont globalement une certaine pauvreté en sodium, ce qui pourrait présenter un intérêt pour les régimes alimentaires avec teneur faible en sel (ANSES, 2015).

Certains insectes (par exemple les sauterelles, les grillons, les termites et les vers de farine) sont riches en fer, zinc, calcium, cuivre, phosphore, magnésium et manganèse (Mlcek *et al.*, 2014 ; De Castro *et al.*, 2018). La plupart des insectes comestibles ont une teneur en fer similaire à celle du bœuf (Bukkens, 1997), mais nous en savons actuellement peu sur la biodisponibilité minérale des insectes (De Castro *et al.*, 2018).

### I.1.3.4 Glucides

Les glucides des insectes existent principalement sous deux formes, de chitine et de glycogène. Le premier est un polymère de N-acétyl-D-glucosamine qui est le principal composant de l'exosquelette (Bukkens, 1997 ; Van Huis *et al.*, 2013), tandis que le second est une source d'énergie stockée dans les cellules et les tissus musculaires (Schlüter *et al.*, 2017). La teneur moyenne en glucides des insectes comestibles varie de 6,71% (punaise puante) à 15,98% (cigale) (Mlcek *et al.*, 2014).

### I.1.3.5 Lipides

Le deuxième composant le plus grand de la composition nutritive des insectes est la graisse (Mlcek *et al.*, 2014). Les orthoptères, les lépidoptères (chenilles), les isoptères (termites), les hémiptères et les coléoptères ont une teneur moyenne en matières grasses de 13,41%, 27,66%, 32,74%, 30,26% et 33,40%, respectivement (Rumpold et Schlüter, 2012). Les femelles sont grasses que les mâles (Mlcek *et al.*, 2014 ; De Castro *et al.*, 2018) . Les profils d'acides gras des insectes dépendent également des espèces et du régime alimentaire (Schlüter *et al.*, 2017). Bien que les insectes aient généralement plus d'acides gras insaturés par rapport aux acides gras saturés (De Castro *et al.* 2018).

### I.1.3.6 Vitamines

Les recherches sur la teneur en vitamines sont également insuffisantes, mais les données disponibles indiquent que les insectes comestibles contiennent du carotène, des vitamines B1, B2, B6, C, D, E et K. En ce qui concerne la vitamine A (rétinol), les données diffèrent non seulement en fonction de l'espèce, mais aussi sur l'origine des insectes analysés, les méthodes utilisées et les modes de préparation (Mlcek et *al.* 2014). En particulier, les orthoptères sont riches en acide folique (Rumpold et Schlüter, 2012).

### I.1.4 Avantages de l'élevage des insectes comparativement à l'élevage conventionnel

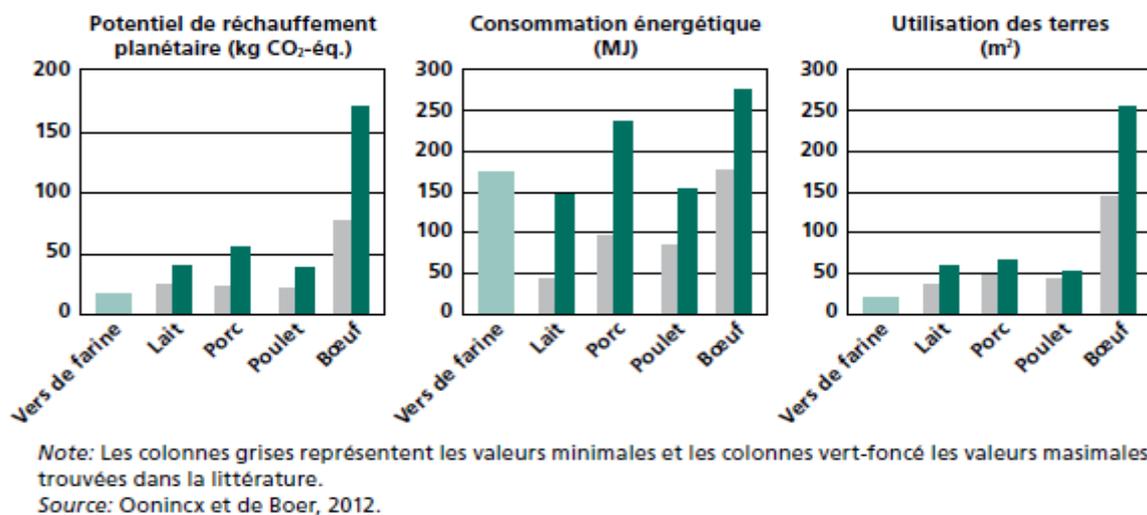


Fig. n°3: Production de gaz à effet de serre (potentiel de réchauffement planétaire), consommation énergétique et surfaces consacrées à la production d'un kg de protéines de ver de farine, de lait, de porc, de poulet et de bœuf (Ooninx et De boer, 2012 in FAO 2013).

Consommer des insectes offre de nombreux avantages (FAO, 2013) :

- Ils ont une capacité élevée de conversion des aliments (capacité d'un animal à convertir un poids donné d'aliments en masse corporelle, représentée en kg d'aliment par kg de gain de poids de l'animal).
- Ils peuvent être élevés sur des sous-produits organiques, réduisant ainsi la contamination de l'environnement tout en valorisant les déchets.
- Ils émettent relativement peu de gaz à effet de serre et relativement peu d'ammoniaque.
- Ils demandent significativement moins d'eau que le bétail.
- Ils présentent un faible risque de transmission d'infections zoonotiques.

Les cultures qui consomment des insectes ont également tendance à les associer à divers avantages pour la santé au-delà de la nutrition (Raheem et *al.*, 2018), comme des sources potentielles de nouveaux produits et agents thérapeutiques, parmi lesquels se trouvent des stérols et leur dérivés présent dans le criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Torto et *al.*, 2015).

### I.1.5 Risques liés à la consommation des insectes

D'après ANSES (2015), les dangers sanitaires associés aux insectes ou produits d'insectes peuvent être de deux grands types :

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

#### I.1.5.1 Risque allergène

L'exosquelette et la carapace des insectes peuvent induire des réactions allergiques, car la chitine est une molécule au potentiel allergène. Les personnes qui sont allergiques aux mollusques, aux arachnides et aux crustacés, comme les crevettes ou les crabes, devraient s'abstenir de consommer des insectes par risque de réaction allergique (Van Huis, 2013).

#### I.1.5.2 Risque microbiologique

Contrairement aux autres animaux d'élevage, les insectes sont couramment consommés en entier, ce qui a des implications microbiologiques non négligeables. En effet, une grande proportion des bactéries d'un organisme se trouvent d'une part à la surface de celui-ci, mais principalement dans son tube digestif, qui est conservé pour la consommation d'insectes (Schlüter et *al.*, 2017).

Selon Van Huis et *al.* (2013), des spores de microorganismes peuvent être retrouvés sur la cuticule de certains insectes et donc constituer une source de contamination non spécifique.

De castro et *al.* (2018) ont montré que le microbiote de certains insectes est composé de bactéries Gram-positif principalement *Micrococcus spp.*, *Lactobacillus spp.* et *Staphylococcus spp.*

### I.1.5.3 Risque parasitaire

Les insectes peuvent être porteurs et vecteurs de parasites, notamment lorsqu'ils ont le statut d'hôte intermédiaire dans un cycle parasitaire. Dans la littérature scientifique, la plupart des informations disponibles sur ce risque concernent des régions non-européennes (en Asie principalement) et s'intéressent à des insectes collectés dans la nature, ce qui semble plus favorable au maintien d'un cycle parasitaire qu'en élevage contrôlé (EFSA, 2015).

### I.1.5.4 Risque chimique

Comme dans les produits issus d'animaux d'élevage conventionnel (mais aussi de végétaux), on peut trouver différents contaminants, de nature et d'origines diverses (Langlade, 2019) :

- polluants : dioxines, retardateurs de flamme.
- résidus de pesticides : organophosphorés, organochlorés.
- métaux lourds : Plomb, Cadmium, Arsenic, Chrome, Mercure, Nickel, Étain.

On distingue deux types d'insectes avec des dispositifs toxiques, les insectes dits phanérotoxiques qui présentent des dispositifs venimeux externe comme des dards, des pinces ou des poils urticants et les insectes dits cryptotoxiques qui sont capables de stocker et/ou synthétiser des éléments chimiques toxiques qui n'apparaissent que si l'insecte est consommé (ANSES, 2015).

### I.1.5.5 Risque physique

Sont des contaminants denses ou des corps étrangers qui pourraient blesser le consommateur. Les insectes comestibles ne sont pas particulièrement susceptibles d'être un vecteur de dangers physiques. Pendant le traitement des insectes comestibles, une récontamination par des corps étrangers (plastique, métal) du processus, comme avec tout autre aliment transformé, pourrait se produire. En général, tous les insectes comestibles peuvent avoir des parties dures: élytres, tourbillons et ailes, qui peuvent être considérés comme des dangers. La prévention de sa survenue peut être assurée par un strict respect du plan prérequis (Fraqueza et *al.*, 2017).

### I.1.6 Produits destinés à l'alimentation humaine

En alimentation humaine, les insectes sont disponibles sous deux formes (ANSES, 2015) :

- Entiers et déshydratés ;

- Sous forme de farine à intégrer ou déjà intégrée à un produit transformé. Cette présentation permet :

- de faire en sorte que l'insecte n'est plus reconnaissable par le consommateur.
- de broyer et d'incorporer les parties dures chitineuses. Les poudres obtenues peuvent faire l'objet ou non de tamisages / fractionnements, avec des broyages successifs.

### I.1.7 Exemple des aliments à base d'insectes

- Projet SOR-Mite (bouillie de sorgho enrichie en protéines)

Fournit un aperçu de l'amélioration des régimes alimentaires. Dans de nombreux Pays africains, les céréales consommées quotidiennement par les populations locales manquent de protéines, de graisses et de plusieurs acides aminés essentiels, tels que la lysine. Cependant, ces grains peuvent bien être enrichir avec les termites ailés hautement nutritifs (*Macrotermes spp.*), qui peuvent être facilement rassemblés en début de saison des pluies. La bouillie faite de leurs mélanges est à la fois nutritionnel et économique (Van Huis et al., 2013).

- Biscuits et petits pains aux termites au Kenya

Dans la région du lac Victoria en Afrique de l'Est, des insectes comestibles tels que les termites et les mouches des lacs sont abondants et fournissent une alimentation importante pour les humains et le bétail. Bien que leur utilisation soit limitée par leur disponibilité saisonnière et leur périssabilité élevée, leur transformation pourrait prolonger considérablement leur durée de conservation. Dans une étude récente réalisée, les insectes disponibles localement ont été grillés, séchés au soleil, broyé et mélangé avec d'autres ingrédients et transformé en produits alimentaires. Craquelins, muffins, pain de viande et saucisses à base de termites dont le potentiel de commercialisation est particulièrement élevé (Ayieko et al., 2010).

- Buqadilla

Buqadilla est une collation innovante en cours de développement pour le marché néerlandais. C'est un Produit alimentaire mexicain épicé à base de légumineuses à base de pois chiches et de petits vers de farine (40 %). (Van Huis et al., 2013).

- Pain au poudre de sauterelle « *Schistocerca gregaria* »

La poudre de sauterelle (*Schistocerca gregaria*) contient 350 g/kg de protéines et 130 g/kg de matières grasses et a des valeurs de capacité de la rétention d'eau et d'huile plus élevées que la farine de blé. L'ajout de cette poudre au pain avec une concentration qui doit être prise en

considération permet d'augmenter ses valeurs nutritionnelles sans endommager la texture et les attributs sensoriels du pain (Haber et *al.*, 2019).

### I.1.8 Présentation de l'espèce acridienne *Schistocerca gregaria*

Les locustes font partie de la famille des Acrididae qui inclut la plupart des criquets à antennes courtes. Les locustes diffèrent des sautériaux car ils ont la capacité de changer de comportement, de physiologie et de morphologie, en particulier de couleur et de forme, en réponse à des changements de densité (Symmons et Cressman, 2001).

#### I.1.8.1 Position systématique et appellation

L'étude globale de la position systématique de *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775), a été effectuée par plusieurs auteurs Chopard (1943), Uvarov (1966), Dirsh (1965, 1975) Louveaux et Benhalima (1987).

D'après ces auteurs, la classification du criquet pèlerin se fait comme suit :

Classe : Insectes

Ordre : Orthoptères

Sous-ordre : Caelifères

Super-famille : Acridoidea

Famille : Acrididae

Sous-famille : Cyrtacanthacridinae

Genre : *Schistocerca*

Espèce : *Schistocerca gregaria*



Fig. n°4 photo d'un adulte grégaire mature du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Plantamp, 2012).

#### Appellation

Dénoté scientifiquement par *Schistocerca gregaria*, le criquet pèlerin est désigné par plusieurs appellations : sauterelle pèlerine, sauterelle de nuées ou criquet du désert. Chez les indigènes, il est appelé « Djrad el arbi » ce qui signifie littéralement sauterelle des arabes ou « sauterelle d'Arabie » (Delassus et Pasquier 1929 in Tirchi, 2008).

### I.1.8.2 Répartition mondiale de criquet pèlerin

Le Criquet pèlerin, *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775), est un insecte de l'ordre des orthoptères dont l'aire de répartition principale s'étend dans des zones arides et semi-arides se situant au Maghreb (Maroc, Algérie), en Afrique du Nord (Libye, Égypte), en Afrique de l'Est (Soudan, Éthiopie, Somalie, Érythrée, Kenya, Ouganda, Tanzanie ) mais aussi au Proche-Orient (Arabie saoudite, Yémen, Oman, Irak, Iran), jusqu'en Asie du Sud-Ouest (Pakistan, Inde) (Fig. n° 05) (FAO, 2020).

La situation reste extrêmement alarmante dans la Corne de l'Afrique, en particulier au Kenya, en Éthiopie et en Somalie, où une reproduction généralisée est en cours et de nouveaux essaims commencent à se former, représentant une menace sans précédent pour la sécurité alimentaire et les moyens de subsistance au début de la prochaine campagne agricole (FAO, 2020).

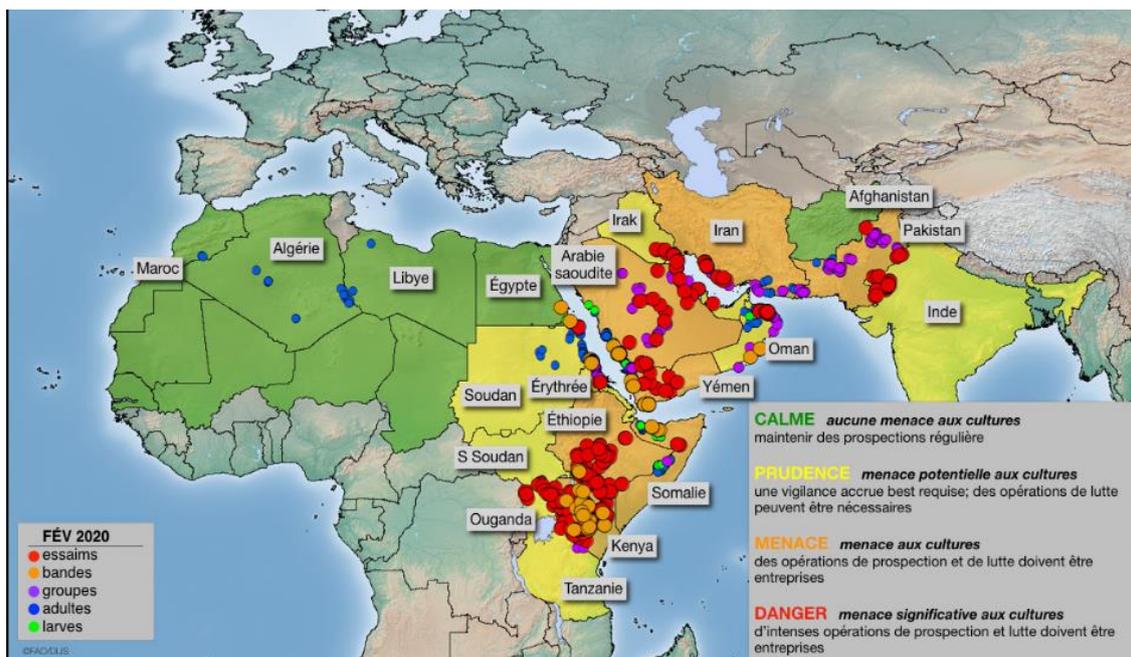


Fig.n°5: L'aire de distribution du criquet pèlerin dans le monde selon la FAO, 2020 (<http://www.fao.org/ag/locusts/common/ecg/75/en/DL497riskF.jpg>).

### I.1.8.3 Cycle biologique

Le Criquet pèlerin *Schistocerca gregaria*, comme tous les autres acridiens, est hétérométabole et passe par trois stades successifs de développement: l'œuf, la larve et l'ailé (fig. n°6).

Les œufs sont pondus par les femelles. Lors de l'éclosion, naissent de jeunes criquets dépourvus d'ailes, appelés larves. Les larves se débarrassent de leur cuticule cinq à six fois pendant leur développement et leur taille s'accroît à chaque fois. Ce processus s'appelle la mue, à la fin de ce processus né un ailé. 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 pondre des œufs (Symmons et Cressman, 2001).

Dans les conditions écologiques favorables, le criquet pèlerin développe deux à trois générations par an et exceptionnellement quatre (Duranton et Lecoq, 1990 in Reggani, 2010).

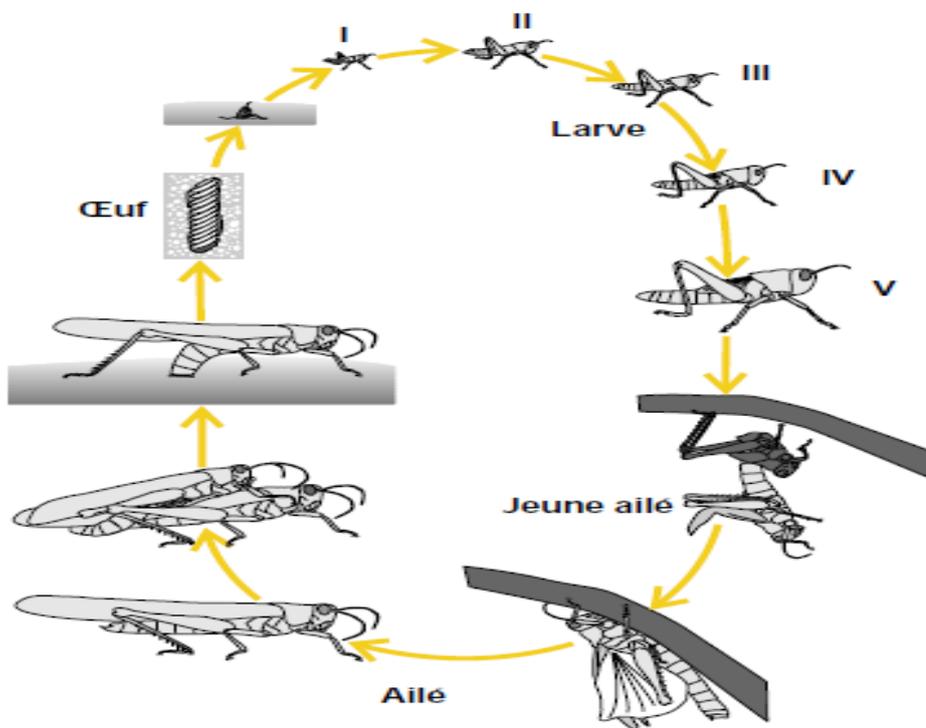


Fig. n°6: cycle biologique de criquet pèlerin (Symmons et Cressman, 2011).

## I.2 Le fromage

Le fromage est un des premiers moyens de conservation du lait (3000 ans avant notre ère), aliment rapidement périssable. Cependant, le fromage est un produit laitier « vivant » qui offre une stabilité relative et variable (Richonnet, 2016).

Selon la norme Codex établies en 1978, le fromage est le produit affiné ou non affiné, de consistance molle ou semi-dure, dure ou extra-dure qui peut être enrobé et dans lequel le rapport protéines de lactosérum/caséine ne dépasse pas celui du lait, et qui est obtenu:

➤ par coagulation complète ou partielle des protéines du lait, grâce à l'action de la présure ou d'autres agents coagulants appropriés et par égouttage partiel du lactosérum résultant de cette coagulation, tout en respectant le principe de la fabrication du fromage.

➤ par l'emploi de techniques de fabrication entraînant la coagulation des protéines du lait et/ou des produits provenant du lait, de façon à obtenir un produit fini ayant des caractéristiques physiques, chimiques et organoleptiques similaires à celles du produit obtenue par coagulation.

### I.2.1 Les produits innovants en fromagerie

Différents ingrédients peuvent être incorporés au fromage pour donner des goûts et des aspects nouveaux et innovants, parmi les ingrédients incorporés et les fromages nouveaux obtenus nous citons :

➤ Fromage aux poudres d'épinards

La poudre fine d'épinards est une bonne source de protéines, de fibres, d'antioxydants et de minéraux, ce qui en fait un ingrédient approprié à utiliser dans la formulation d'aliments à haute valeur nutritionnelle ou biologique. L'ajout de la poudre d'épinards comme ingrédient fonctionnel au fromage à pâte molle ultra-filtrée avec une concentration qui doit être prise en considération permet d'augmenter ses valeurs nutritionnelles (enrichissement en antioxydants, minéraux, protéines et fibres végétales) sans endommager la texture et les attributs sensoriels du fromage (El-Sayed, 2020).

➤ Fromage fondu enrichi avec la poudre de tomate

L'utilisation de la poudre de tomate comme ingrédient dans la fabrication du fromage fondu a permis de diminuer la rigidité et augmenter la tartinabilité du fromage fondu qui est positive attributs dans le fromage fondu (Solhi et *al.*, 2020a).

➤ Fromage fondu enrichi avec de poudre d'asperge

L'incorporation de la poudre d'asperge dans le fromage fondu a permis de diminuer le pH, l'index de lipolyse et elle a permis l'augmentation de la teneur phénolique, de l'activité antioxydant et

de la protéolyse du fromage transformé. La poudre d'asperge a rendu la structure du fromage plus élastique et elle a augmenté sa rigidité (Solhi et *al.*, 2020b).

➤ Fromage blanc à pâte molle enrichi avec l'extrait de fruit de canneberge

Les canneberges sont riches en acides phénoliques, anthocyanes, glycosides et de flavonol utilisés comme ingrédient fonctionnel en améliorant le stockage et la stabilité du fromage (Khalifa et *al.*, 2015).

➤ Fromage Cheddar enrichi en extrait de thé vert

Les polyphénols du thé vert sont connus pour leurs propriétés antioxydantes. Ils interagissent également avec les protéines du lait, suggérant une bonne rétention dans la matrice du fromage, l'enrichissement du lait en extrait de thé vert avec des concentrations précises permet de modifier la texture et les propriétés organoleptiques du fromage de type Cheddar. Les principaux effets étaient les changements de couleur, augmentation de la dureté, perte de la saveur typique du Cheddar et augmentation de l'astringence de fromage (Giroux, 2013).

## I.2.2 Fromage fondu

Le « fromage fondu » est un produit laitier qui diffère du fromage naturel par le fait qu'il n'est pas fabriqué directement à partir de lait. Cependant, l'ingrédient principal du fromage fondu est le fromage naturel produit en mélangeant du fromage naturel d'âges et de degrés de maturité différents en présence de sels émulsifiants et d'autres ingrédients laitiers et non laitiers, suivi d'un chauffage et d'un mélange continu pour former un produit homogène avec une durée de conservation prolongée (Kapoor et Metzger, 2008).

## I.2.3 Différents types de fromages fondus

D'après Richonnet (2016), Sur le marché mondial, les produits issus de la fonte de fromages peuvent être regroupés en cinq familles :

- **Fromage fondu en bloc** : le traitement thermique est modéré de manière à conserver au produit fini un aspect de fromage à pâte pressée (élasticité marquée et tranchabilité).
- **Fromage fondu en coupe** : moins ferme que le bloc mais non tartinable, il contient 3 ou 4 points de moins de matière sèche.
- **Fromage fondu tartinable**: grâce à un processus de crémage ajusté. Aromatisés, avec des inclusions (épices, graines, herbes. . .) ou nature, conditionnés en portions individuelles (principalement sous film aluminium) ou en pot et barquettes de formes diverses, ces

produits représentent la majeure partie du marché français. Ils peuvent aussi être proposés en produit de goûter, associés avec des crackers ou des biscuits.

- **Fromage fondu toastable** : destinés à la refonte, ils se présentent sous forme de tranches adaptées à une mise en œuvre culinaire (dans les hamburgers, croque-monsieur. . .).
- **Fromage fondu thermostable** : il subit alors un crémage très poussé pour ne pas fondre lorsqu'on le soumet à la chaleur. On le retrouve notamment sous forme de cubes dans les plats asiatiques.

#### I.2.4 Composition et valeur énergétique du fromage fondu

Le fromage fondu se compose de plusieurs éléments cités dans le tableau n° 02 :

Tableau n°2 : Composition moyenne du fromage fondu pour 100 g de produit frais (Fredot, 2006 in Adjou et Khider, 2016).

Eau %	50
Energie (Kcal)	330
Glucides (g)	2,5
Lipides (g)	30
Protéines (g)	17
Calcium (mg)	150
Phosphore (mg)	645
Magnésium (mg)	18
Potassium (mg)	100
Sodium (mg)	1100
Zinc (mg)	7

#### I.2.5 Procédé de la fabrication du fromage fondu

La fabrication du fromage implique la sélection des ingrédients et la préparation d'une formulation, en plus de fromages naturels (sélectionnés en fonction de l'âge, pH, saveur et teneur en caséine intacte) et sels émulsifiants, il existe divers autres produits laitiers et non laitiers (eau, sels de fontes, colorants, arômes, épices, gommés alimentaires, inhibiteurs de moisissure) utilisés dans la fabrication du fromage fondu (Kapoor et Metzger, 2008).

##### I.2.5.1 Préparation des matières premières

Cette étape consiste au nettoyage des fromages éventuellement souillés en surface ou pour lesquels la croûte est considérée comme indésirable. En effet, dans certains cas, la dureté de celle-ci peut entraîner des difficultés de fonte et la présence dans le produit fini de particules infondues. Cet écroûtage peut se faire par raclage, par abrasion ou encore par jets d'eau ou de vapeur sous pression et pour faciliter le mélange avec les autres ingrédients et réduire le temps de fonte, il est impératif de fragmenter les fromages (Boutonnier, 2000).

### **I.2.5.2 Mélange, cuisson et fonte**

Les ingrédients peuvent être mélangés dans un cutter-cuiseur, un pétrin-cuiseur ou un mélangeur en fonction de la taille de la ligne de production. À ce stade, l'eau peut être ajoutée afin d'ajuster l'extrait sec, et donc la texture de la pâte. Les sels de fonte sont également ajoutés à cette étape pour assurer l'homogénéité de la pâte, suivie d'une cuisson à une température d'au moins 70°C pendant 30 secondes ou toute autre combinaison équivalente (Richonnet, 2016).

### **I.2.5.3 Stabilisation thermique de la pâte**

Deux possibilités s'offrent aux industriels : une pasteurisation, ou une stérilisation. Le choix s'effectue en fonction de la qualité bactériologique des fromages mis en œuvre, du matériel à disposition et du type de produit fini. En pratique, les températures rencontrées s'échelonnent de 70°C pour des produits finis à pouvoir de refonte élevé, jusqu'à 140°C, voire 145°C, pour les fromages fondus tartinables (Oliveira et *al.*, 2016).

### **I.2.5.4 Crémage pour ajustement de la consistance**

Après la fonte et la stérilisation, la pâte a perdu sa texture. Pour obtenir une consistance tartinable, l'étape de crémage permet un épaissement du produit en contrôlant la gélification des protéines, c'est-à-dire leur restructuration partielle en réseau tridimensionnel. Elle est réalisée dans une cuve de crémage possédant un système d'agitation à 85°C pendant 10 à 20 minutes (Richonnet, 2016).

### **I.2.5.5 Conditionnement**

Le conditionnement des portions de fromage fondu à tartiner, s'effectue dans une feuille en aluminium vernis sur les deux faces, la feuille est préformée par pression sur la machine sous forme d'une coquille qui après remplissage avec la pâte fondue reçoit un couvercle avant

l'accomplissement du scellage, le point de scellage se situe entre 60 et 70°C ce qui permet d'utiliser la chaleur du fromage fondu comme énergie de scellage (Boutonnier, 2000)

### I.2.5.6 Refroidissement et stockage

Le refroidissement varie en fonction du produit ; il doit être rapide pour les fromages à tartiner et préparation à base de fromage fondu et lent pour les blocs, un refroidissement trop lent peut favoriser le développement des réactions de Maillard. On stocke les produits mis en carton dans des entrepôts dont la température se situe autour de 10 à 15°C (Gillis et Eck, 1997 in Adjou et Khider, 2016).

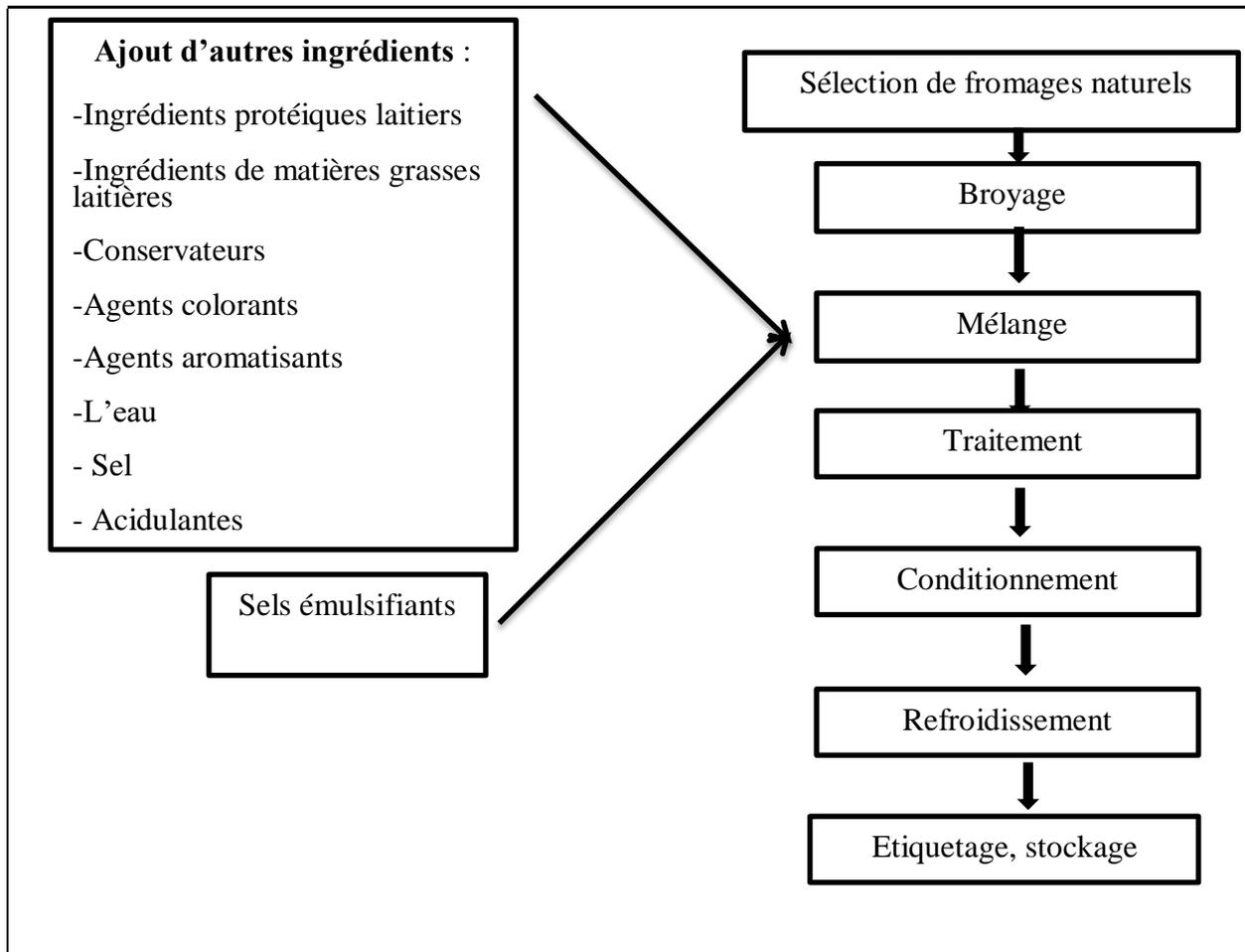


Fig. n°7: Diagramme de fabrication du fromage fondu (Kapoor et Metzger, 2008).

## ***Chapitre II : Matériel et méthodes***

Dans l'optique de mettre en lumière un potentiel très peu connu à savoir la richesse nutritionnelle d'une farine d'insecte du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* communément consommé par les population du sud Algérien en période d'invasion acridienne. Le présent travail s'est porté sur l'évaluation de leur potentiel nutritionnelle, d'une part. Et d'étudier la possibilité d'une valorisation agroalimentaire par un essai d'enrichissement d'une matrice alimentaire à savoir « fromage fondu » avec la farine de *Schistocerca gregaria* de l'autre part.

Ce travail a été réalisé au niveau du laboratoire de contrôle de qualité et de conformité BEDRANE Younes, Si-Mustapha, Boumerdes et de la laiterie et fromagerie SARL pâturage d'Algérie de Tizi Ouzou.

## II.1 Matériel biologique

Le matériel biologique choisi pour la présente étude est la farine d'une espèce acridienne : *Schistocerca gregaria*, les individus de cette espèce ont été fournis par le laboratoire de Recherche, Valorisation et Conservation des Ressources Biologiques « VALCORE » de la Faculté des Sciences de l'Université M'hammed Bouguara, Boumerdes. L'élevage de cet insecte a été effectué dans des salles de ce laboratoire.

### II.1.1 Préparation du matériel biologique (la farine de *Schistocerca gregaria*)

Pour produire cette farine, les individus de cette espèce ont été récoltés au stade adulte, sacrifié par congélation à  $-20\text{ C}^{\circ}$  pendant 24h. Ensuite, une moitié de ces criquets ont été séchés à l'aire libre, au soleil pendant 4 jours tandis que l'autre moitié a été sécher dans une étuve à  $105^{\circ}\text{C}$  pendant 24 heures.

Après séchage, les criquets ont été débarrassés de la partie épineuse de leurs tibias puis broyés à l'aide d'un broyeur électrique jusqu'à l'obtention d'une farine homogène et fine. La poudre obtenue est conservée dans un récipient propre hermétiquement fermé à l'abri de la lumière et de l'humidité jusqu'à son utilisation.



Fig. n°8 : Criquets otés de la partie tibia (a) ; La farine obtenue après broyage des criquets (b).

## II.2 Matériel non biologique

Le matériel et les équipements utilisés dans notre pratique sont présentés dans le tableau ci-après. (Annexe II)

## II.3 Caractérisation physico chimique et analyse microbiologique de la farine de *Schistocerca gregaria*

### II.3.1 Analyses physico-chimiques

#### II.3.1.1 Détermination de PH :(NF V 05-108 ,1970)

##### ➤ Principe

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 ajouter 3 fois son volume d'eau distillée.
- Chauffer au bain marie pendant 30 min en remuant de temps en temps avec une baguette en verre.
- Mixer ensuite le mélange obtenu et procéder à la détermination de pH en prenant soins que l'électrode soit complètement émergée dans la solution.

#### II.3.1.2 Détermination de l'humidité

##### ➤ Principe

La teneur en eau a été déterminée par dessiccation de 4g de l'échantillon placés dans une capsule en porcelaine puis séchée dans une étuve, à une température de 105°C (NF T 60-305, 1976).

➤ **Mode opératoire**

- Sécher des capsules vides à l'étuve durant 15 mn à 105°C.
- Tarer les capsules après refroidissement dans un dessiccateur pour éviter toutes reprises d'humidité.
- Peser dans chaque capsule 4g d'échantillon et les placer dans l'étuve réglée à 105°C pendant 3 heures.
- Retirer les capsules de l'étuve, les placer dans le dessiccateur et après refroidissement les peser.
- L'opération est répétée jusqu'à l'obtention d'un poids constant.

➤ **Expression des résultats**

La teneur en eau est déterminée selon la formule suivante :

$$H(\%) = (M1 - M2) / P \cdot 100$$

Soit :

H % : Humidité.

M 1: Masse de la capsule + matière fraîche avant séchage en g.

M 2: Masse de l'ensemble après séchage en g.

P : Masse de la prise d'essai en g.

$$\text{Matière sèche} = 100 - H\%$$

### II.3.1.3 Détermination de la teneur en cendres

➤ **Principe**

La teneur en cendres ou matière minérale d'une substance est conventionnellement le résidu de la substance après incinération à 550°C dans un four à moufle, cette température permet la destruction complète de la matière organique (NF V 05-113, 1972).

➤ **Mode opératoire**

- Dans des capsules en porcelaine, peser 2g de la farine.
- Placer les capsules dans un four à moufle réglé à 550°C pendant 4 heures jusqu'à l'obtention d'une couleur grise, claire ou blanchâtre.
- Retirer les capsules du four, mettre les dans le dessiccateur pour se refroidir et puis, les peser.

➤ **Expression des résultats**

La teneur en cendres est déterminée par la formule :

$$Cd(\%) = 100 - ((P_i + P_e) - P_f / p_e)$$

Soit :

$P_i$  : poids des capsules vide et sèche.

$P_e$  : poids de la prise d'essai.

$P_f$  : poids de capsule final après séchage.

### II.3.1.4 Détermination de la teneur en fibres

➤ **Principe**

Il existe plusieurs méthodes de dosage des fibres alimentaire toutes basées sur des principes différents parmi ces méthodes, on a les méthodes gravimétriques qui procèdent par élimination de substances non fibres (protéines, lipides...) par voie chimique suivie de la pesée du résidu (Mertens, 2002).

➤ **Mode opératoire**

-Peser 3 à 5g de l'échantillon puis les verser dans une fiole qui contient 300 mL de Hcl.

-Mettre la fiole sur une plaque chauffante pendant 30 min jusqu'à l'ébullition.

-Ensuite, filtrer le mélange, et garder le papier filtre avec un petit rinçage pour éliminer les traces de Hcl.

-Ajouter au filtrat récupéré dans une fiole 300 mL de NaOH (2N).

- Placer la fiole encore une fois sur la plaque chauffante pendant 30 min jusqu'à l'ébullition.

-Filtrer et récupérer le précipite qui est placer sur le papier filtre dans une capsule vide et sèche.

-Mettre la capsule au séchage à 105°C, jusqu'à avoir un poids constant.

-Faire une incinération pendant 30 min à 550°C.

➤ **Expression des résultats**

La teneur en fibres est déterminée par la formule :

$$F(\%) = ((P_i - P_f) / P_e) \times 100$$

Soit :

$P_i$  : poids de la capsule sèche

$P_f$  : poids de la capsule avec le précipite après séchage

$P_e$  : Poids de la prise d'essai

### II.3.1.5 Détermination de la teneur en matière grasse

#### ➤ Principe

L'extraction par Soxhlet est une méthode simple et convenable permettant de répéter infiniment le cycle d'extraction avec du solvant frais (Hexane) jusqu'à l'épuisement complet du soluté dans la matière première (Penchev, 2010).

#### ➤ Mode opératoire

Une masse de 10g de la farine de *Schistocerca gregaria* été introduite dans la cartouche de l'appareil soxhlet surmonté d'un réfrigérant. Ce dernier est fixé avec un ballon qui contient 200 mL de n-hexane.

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

Quand le solvant atteint un certain niveau, il amorce le siphon et retourne dans le ballon en entraînant la substance.

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

#### ➤ Expression des résultats

La teneur en matière grasse est obtenue par la formule :

$$MG (\%) = (P2-P1)/P3.100$$

Soit :

MG% : teneur de la matière grasse

P1 : Poids du ballon vide (g).

P2 : Poids du ballon avec l'huile extraite (g).

P3 : Poids de la prise d'essai (g).

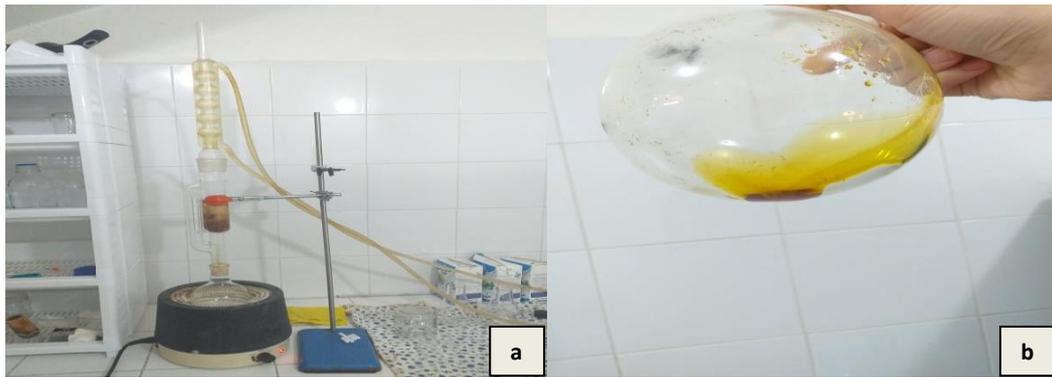


Fig. n°9:Extraction de la matière grasse avec soxhlet (a); Matière grasse récupérée +hexane (b).

### II.3.1.6 Détermination de la teneur en protéines

#### ➤ Principe

La teneur en protéine totale dans les produits alimentaire est largement déterminée par la méthode « Kjeldahl». Cette méthode quantifie indirectement la teneur total en protéines par la mesure de l'azote et implique 3étapes: digestion, distillation et titrage, pour obtenir la teneur en protéines totales, un facteur de conversion 6,25 est utilisé (Hsiaoling, 2016).

#### ➤ Mode opératoire

##### • Minéralisation

Dans un tube de minéralisation, environ 1g de poudre de *Schistocerca gregaria* est mélangé avec 25 mL d'acide sulfurique et un comprimé de catalyseur (3,5g de sulfate de potassium et 0,4g de sulfate de cuivre). La prise d'essai des échantillons se fait en double. Les tubes sont fermés hermétiquement. Ils sont ensuite introduits dans un minéralisateur et chauffé à 450°C. La minéralisation est terminée lorsque le contenu du tubes devient vert limpide. Des minéralisats sont obtenus. Les tubes sont ôtés du minéralisateur puis refroidis à la température ambiante.

##### • Distillation

Les minéralisats refroidis sont additionnés de 20 mL d'eau distillé. Puis, ils sont distillés à l'aide d'un digesteur en présence de soude en excès. Un distilat est obtenu.

Le distillat contenant l'azote est récupéré dans un bécher contenant 20 mL d'acide borique à 40% et quelques gouttes d'indicateur coloré (rouge de méthyle et bleu de méthylène).

- Titrage

Le distillat est titré avec une solution d'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 1N.

➤ **Expression des résultats**

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

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

Avec :

- N% : teneur en azote totale
- V : volume en mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> titrant le distillat
- P<sub>e</sub> : masse de la prise d'essai (g)
- N : normalité de la H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

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

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

### II.3.1.7 Détermination de la teneur en glucides

➤ **Principe**

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

➤ **Mode opératoire**

- **Extraction**

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

- Le tube est porté à ébullition douce pendant 30 mn avec agitation suivi d'un refroidissement.
- Le contenu est centrifugé pendant 10 mn à 5000tr/mn.
- Le surnageant est récupéré dans une fiole de 100 mL.
- Le résidu est lavé deux fois.
- 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 10min.

- 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.

-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).

- **Expression des résultats**

La teneur en sucres de l'échantillon est exprimée en % de la matière sèche.

### **II.3.2 Analyses microbiologiques (Annexe IV)**

#### **II.3.2.1 Préparation de la solution mère**

Dans les conditions aseptiques la solution mère a été préparée en raison de 10% dans un flacon stérile contient le triptone sel.

#### **II.3.2.2 Recherche et dénombrement de la flore aérobique mésophile**

La flore mésophile aérobique totale (FAMT) est constituée d'un ensemble de micro-organismes variés, correspondant aux germes banaux. Ces germes n'agissent pas sur les aliments et n'ont de répercussion du point de vue qualitatif (altérations du produit) et hygiénique (santé du consommateur) qu'au-delà d'une certaine quantité (Guiraud et Rosec, 2004).

- **Principe**

Leur dénombrement 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, leur identification se fait sur milieu empirique (PCA, gélose...) (Guiraud, 1998).

➤ **Mode opératoire**

1 mL de la solution mère est ensemencé en masse dans une boîte de Pétri préparée à cette usage et repérée puis on a coulé environ 15 mL de la gélose PCA en surfusion.

On a mélangé soigneusement l'inoculum dans le milieu de culture en faisant des mouvements en forme 8 puis laisser la boîte se solidifier sur la paillasse. La flore est dénombrée après 72 heures d'incubation à 30°C.

➤ **Lecture**

La flore aérobie mésophile totale après 72 heures d'incubation se présente sous forme de colonies différentes : blanche et jaune, de différentes tailles, des formes cocci et bacille.

### II.3.2.3 Recherche et dénombrement des coliformes Totaux

Les coliformes appartiennent à la famille des *Enterobacteriaceae* qui sont des bacilles Gram négatif, oxydase négatif, non sporulés, ils possèdent un métabolisme respiratoire ou fermentaire (anaérobie facultatif), ils réduisent les nitrates en nitrites (Rompré et *al.*, 2002).

➤ **Principe**

Ce groupe bactérien se distingue des autres entérobactéries par leur aptitude à fermenter le lactose en produisant des acides et du gaz carbonique CO<sub>2</sub> en présence de selles biliaires, leur détection consiste à incuber l'échantillon à 37°C pendant 24 à 48 heures. Pour cela on utilise des milieux de culture contenant de lactose comme source de carbone et de l'énergie (VRBL).

➤ **Mode opératoire**

A la proximité de la flamme d'un bec Bunsen, 1mL de la solution mère est ensemencé en masse dans une boîte de Pétri vide et stérile préparée à cet usage et repérée. Couler ensuite environ 15mL du milieu VRBL (violet red bile lactose agar) en surfusion.

Faire ensuite des mouvements circulaires et de va et vient en forme 8 pour permettre à l'inoculum de se mélanger à la gélose, laisser solidifier sur la paillasse, une fois que le milieu est solidifié, on rajoute une seconde couche de la même gélose pour la protéger contre les diverses contaminations et éviter l'étalement des colonies. Ce qui permet aussi un meilleur dénombrement.

Les boîtes seront incubées à 37°C pendant 24 à 48 heures, en faisant une première lecture après 24 heures.

➤ **Lecture**

La présence des coliformes totaux se traduit par l'apparition des colonies de couleur rouge cerise après incubation.

### II.3.2.4 Recherche et dénombrement des coliformes fécaux (*Escherichia coli*)

Les coliformes fécaux ou thermotolérants, sont un sous-groupe des coliformes totaux. Ils sont considérés comme un indicateur de contamination fécale d'origine humaine ou animale. L'espèce la plus fréquemment associée à ce groupe bactérien est *Escherichia coli* (Kloot et *al.*, 2006).

➤ **Principe**

Ce groupe bactérien diffère des coliformes totaux par son aptitude à fermenter le lactose avec la production de gaz à 44.5°C sur milieu VRBL.

➤ **Mode opératoire**

- Le même procédé que celui suivi pour la recherche des coliformes totaux sauf que la boîte de Pétri a été incubée à 44°C pendant 24 à 48 heures, en faisant une première lecture après 24 heures.
- Pour *Escherichia coli* un test présomptif est réaliser sur un tube d'eau peptonée exempte d'indole par ensemencement à partir de la boîte des coliformes totaux et incubé au bain marie à 44C° pendant 24 heures.

➤ **Lecture**

Les coliformes fécaux apparaissent en masse sous forme de petites colonies de couleur rouge et foncé de 0,5 mm de diamètre, ou plus et parfois entourées d'une zone rougeâtre due à la précipitation de sels biliaires.

L'apparition d'un anneau rouge à la surface de tube d'eau peptonée exempte d'indole due à la dégradation de tryptophane en provoquant la formation d'indole ce qui indique la présence d'*Escherichia coli*. Le nombre de germes par mL ou par g de produit est calculé par la formule suivante :

$$X \text{ (Ufc)} = N \cdot (1/D) \cdot (1/V)$$

X : nombre de germe (Ufc) par « ml » ou « g » de produit.

V : volume de l'inoculum.

N : nombre de colonies.

D : facteur de dilution ou la dilution considérée.

### II.3.2.5 Recherche et dénombrement de *staphylococcus aureus*

Les staphylocoques appartient à la famille de *Micrococaceae*, ce sont des coques à Gram positif, immobiles, asporulés, catalase positive, anaérobies facultatifs, (Guiraud, 1998). Ils sont des bactéries toxigènes d'origine muquo-cutanée, responsables des maladies à transmission hydrique.

#### ➤ Principe

Le milieu Baird-Parker utilisé dans l'isolement sélectif de *Staphylococcus aureus* ne supprime pas complètement la croissance d'autres organismes. Ce milieu contient du jaune d'œuf qui est apporté au moment du coulage du milieu et il est composé aussi de tellurite (dioxyde de tellure  $TeO_2$ ), (Devries, 1981).

#### ➤ Mode opératoire

Un volume de 0.1 mL de la suspension mère est ensemencé en surface par étalement sur milieu Baird-Parker. L'incubation se fait à 37°C pendant 24 à 48 heures.

#### ➤ Lecture

Les colonies de *staphylococcus aureus* sont détectées des autres colonies bactériennes sur les plaques d'isolement à l'aide de deux réactions marqueurs sélectives: la réduction de tellurite en tellure qui donne un aspect noir caractéristique aux colonies et la réaction de lécithinase qui produit une zone opaque dans le halo transparent. Le nombre de germes par mL ou par g de produit est calculé par la formule suivante :

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

Soit :

X : nombre de germe (Ufc) par « ml » ou « g » de produit.

V : volume de l'inoculum.

N : nombre de colonies.

D : facteur de dilution ou la dilution considérée.

### II.3.2.6 Recherche et dénombrement des salmonelles

Les salmonelles sont des bâtonnets droits de la famille des *Enterobacteriaceae*, ne formant pas de spores, de taille moyenne, Gram-négatif, non capsulé, ils sont facultativement anaérobies, ayant à la fois un métabolisme respiratoire et fermentatif (Rahman *et al.*, 2018).

Les salmonelles sont des bactéries toujours pathogènes provoquent des gastro-entérites. Leur recherche et leur identification permettent donc de montrer le danger possible d'un produit alimentaire, sa présence n'est pas tolérée.

#### ➤ Principe

Le nombre de salmonelles étant en générale faible dans le produit, il est nécessaire de procéder à un pré-enrichissement et un enrichissement puis un isolement dans un milieu sélectif. (Guirand, 1998).

#### ➤ Mode opératoire

- Le pré-enrichissement

Un volume de 1 mL de la suspension mère est introduit dans 10 mL de triptone sel. Après homogénéisation à la main on incube à 37°C pendant 24 heures.

- L'enrichissement

Après l'incubation, 1 mL du milieu de pré-enrichissement est prélevé et introduit dans 10 mL d'un milieu sélectif S.F.B. Le tube a été incubé à 37°C pendant 24 heures. Le but de cette étape est d'éliminer au maximum les autres germes et de garder uniquement les germes appartenant au genre salmonelle.

- L'isolement

L'isolement se réalise à partir du milieu d'enrichissement, par ensemencement sous forme de stries sur milieu sélectif solide qui est la gélose Hektoene. L'incubation est faite à 37°C pendant 24 heures.

#### ➤ Lecture

Les colonies caractéristiques des salmonelles apparaissent avec une coloration bleu verdâtre à centre noir de 2 à 4 mm de diamètre.

### II.3.2.7 Recherche et dénombrement des *Pseudomonas aeruginosa*

Les *Pseudomonas* sont des bacilles, aérobies strict, Gram-négatif, de 0,5 à 0,8 µm de diamètre sur 1 à 3 µm de long, asporulé, acapsulé et ont une oxydase positive. Ces germes hautement versatiles dotés d'une grande adaptabilité nutritionnelle et métabolique peuvent être isolés en culture sur des milieux ordinaires ou sur des milieux rendus sélectifs par l'addition d'inhibiteur, tel que le cétrimide. Ils sont des bactéries pathogènes d'origine muquo-cutanées. (Hafiane et Ravaoarino, 2008).

#### ➤ Principe

La gélose au cétrimide est utilisée pour l'isolement et l'identification présomptive de *Pseudomonas aeruginosa*. Le cétrimide est un ammonium quaternaire qui inhibe la croissance de la plupart des autres espèces bactériennes. *Pseudomonas aeruginosa* colore ce milieu en bleu-vert par production de pyocyanine (Modou, 2019).

#### ➤ Mode opératoire

Un volume de 1 mL de l'échantillon à analyser est étalé sur la surface de la gélose au Cétrimide. Incuber à 37°C pendant 24 heures.

#### ➤ Lecture

Les colonies de dénombrement de *Pseudomonas aeruginosa* apparaissent avec une couleur bleu-vert et un aspect muqueux.

### II.3.2.8 Recherches et dénombrement des *Clostridium sulfito-réducteur*

Les *Clostridium sulfito-réducteurs* sont des bacilles à Gram positif, isolés ou en chaînettes, non capsulés (à l'exception de *Clostridium perfringens*), sporulés ; la spore est de grande taille. Elles sont anaérobies stricts, dépourvu de catalase et ne possèdent pas de superoxyde dismutase, ce qui explique leur intolérance à l'oxygène aussi bien pour la survie que pour la multiplication, l'oxygène est toxique à cause de la formation d'H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Carip, 2008). D'une façon générale, ces bactéries sont considérées comme témoin de contamination de la qualité hygiénique des aliments.

#### ➤ Principe

Le milieu utilisé est la gélose viande-foie (VF), additionnée de sulfite de sodium et d'alun de fer, l'action des germes sulfito-réducteur (*Clostridium*) conduit à la réduction de sulfite de sodium en présence d'alun de fer en sulfure, donnant des colonies à coloration noire.

➤ **Mode opératoire**

Un volume de la solution mère est soumis d'abord à un chauffage à 80°C pendant 10 minutes, puis à un refroidissement immédiat sous l'eau de robinet, dans le but d'éliminer les formes végétatives et de garder uniquement les formes sporulées avant de faire couler aseptiquement la gélose VF en surfusion additionnée de sulfite de sodium (5mL) et d'alun de fer (2mL). Le tube est incubé à 37°C pendant 72 heures.

➤ **Lecture**

Les colonies de *Clostridium sulfito-réducteur* apparaissent de couleur noire.

### II.3.2.9 Recherche et dénombrement de *Listeria monocytogene*

*Listeria monocytogene* est un microorganisme d'origine tellurique qui a été dispersé dans l'environnement. C'est un bacille gram positif, anaérobie facultatif possède une catalase positive et oxydase négative (Farber et al., 1991). Cette bactérie est pathogène peut contaminer tous les stades de la chaîne alimentaire en colonisant les sites de fabrication des aliments.

➤ **Principe**

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

➤ **Mode opératoire**

- Enrichissement primaire

Un ensemencement à raison de 10% dans le bouillon Frazer1/2. L'incubation est faite à 30°C pendant 24 heures.

- Enrichissement secondaire

Un ensemencement à raison de 1% de milieu d'enrichissement primaire dans le bouillon Frazer. L'incubation est faite à 37°C pendant 48 heures.

- L'isolement

L'isolement se réalise à partir du milieu d'enrichissement, par ensemencement sous forme de stries sur milieu sélectif solide qui est la gélose palcam. L'incubation est faite à 37°C pendant 24 à 48 heures.

➤ **Lecture**

Les colonies de *Listeria* apparaissent sous forme gris verdâtre luisantes, de 1 mm de diamètre environ, entourées d'un halo brun noir. Après 48 heures, le diamètre devient de 2 mm, les colonies sont incrustées dans la gélose et présentent une dépression centrale.

### II.3.2.10 Recherche et dénombrement des moisissures et des levures

Levures : microorganismes aérobie mésophile qui à 25 °C sur milieu gélosé spécifique (OGA, Sabouraud), développent des colonies rondes mates ou brillantes à la surface du milieu, ayant généralement un contour régulier et une surface plus ou moins convexe, (ISO 21527-1,2008). Correspondant aux germes banaux.

Moisissures : microorganismes filamenteux aérobie mésophile qui développent généralement à la surface du milieu un étalement plat ou duveteux souvent avec des structures de fructification ou de sporification colorées, (ISO 21527-1,2008).

➤ **Principe**

Les levures et les moisissures sont des microorganismes qui, après ensemencement en surface sur un milieu inhibiteur pour les bactéries aérobies (gélose Sabouraud), forment des colonies après une incubation à 20 °C pendant 5 jours, (NF V 03-454, 1981).

➤ **Mode opératoire**

- Couler une boîte de Pétri par la gélose Sabouraud et laisser solidifier, prélever une prise d'essai de 0,1 mL de l'échantillon à analyser et ensemercer en surface par étalement en surface de la boîte.
- Incuber la boîte à 20 - 25 °C pendant 7 jours.

➤ **Lecture**

Après incubation, les colonies sont comptées. En effet, les moisissures se distinguant des levures par leur morphologie car elles ont un aspect duveteux.

## II.4 Incorporation de la farine de *Schistocerca gregaria* dans le fromage fondu

Dans cette partie on a fait l'incorporation de différentes quantités de la farine de *Schistocerca gregaria* obtenue par séchage des criquets à l'étuve dans le fromage fondu. Les trois doses incorporées dans le fromage fondu sont 0,1 g/100g, 0,5g/100g et 1g/100g.

### II.4.1 Détermination de l'effet de l'incorporation de la farine de *Schistocerca gregaria* sur la qualité du fromage

Les effets de l'incorporation de la farine de *Schistocerca gregaria* sur le fromage fondu ont été évalués par le suivi de l'évolution des paramètres physico-chimiques et microbiologiques.

#### II.4.1.1 Analyses physico-chimiques du fromage préparé par incorporation de la farine de *Schistocerca gregaria*

##### II.4.1.1.1 Mesure de pH (AFNOR, 1980)

- **Principe** : la mesure de pH de fromage fondu est basée sur la lecture directe de la valeur du pH sur le pH mètre.
- **Mode opératoire** : l'opération consiste à introduire directement l'électrode déjà étalonnée dans le produit fini et lire directement la valeur du pH enregistrée.



Fig. n°10: Mesure de pH par pH-mètre.

##### II.4.1.1.2 Détermination de la teneur en matière grasse (Norme AFNOR, NFV04-346)

- **Principe**

Il est basé sur la dissociation des protéines du fromage par l'addition de l'acide sulfurique et séparation de la matière grasse par centrifugation dans un butyromètre de Van- Gulik.

- **Mode opératoire**

Dans un butyromètre de Van- Gulik, mettre 3g de fromage, additionner l'acide sulfurique de manière qu'il couvre la masse de fromage, en faisant dissocier les protéines dans un bain marie. Après la dissociation complète, on remplit la tige graduée par l'acide sulfurique,

ajoutant 1mL de l'alcool iso amylique. La séparation de matière grasse se fait par centrifugation.

La matière grasse exprimée en g/100g de fromage est obtenu par la lecture directe sur l'échelle de butyromètre.

#### II.4.1.1.3 Détermination de la matière sèche totale EST : (AFNOR, 1980)

##### ➤ Principe

La détermination de l'extrait sec total est reposée sur la dessiccation a + 80°C d'une quantité de fromage fondu. La matière sèche est exprimée en pourcentage.

Cette expérience est réalisée à l'aide d'un dessiccateur, ce dernier est équipé d'une balance et une résistance.

##### ➤ Mode opératoire

On met à l'intérieur du dessiccateur une prise d'essai de 2g de fromage fondu sur une feuille d'aluminium, on règle la température de séchage à 90°C. On laisse évaporer le fromage pendant quelque minute. Le résultat est inscrit sur l'écran de l'appareil, ceci indique le pourcentage de l'extrait sec total.

#### II.4.1.1.4 Détermination de la teneur en protéines

La teneur en protéine a été mesurée par la méthode de Kjeldahl dont on a suivi le même procédé que pour la mesure des protéines de la farine de *Schistocerca gregaria*.

#### II.4.1.2 Analyses microbiologiques du fromage fondu préparé par incorporation de la farine de *Schistocerca gregaria*

Selon le journal officiel de la république Algérienne N°39 (2017), les germes recherchés dans le fromage fondu sont : *Escherichia coli*, staphylocoques, *Salmonella*, *Listeria monocytogenes* mais pour s'assurer de l'hygiène de notre produit on a procédé à la recherche d'autres germes : levures et moisissures, coliformes totaux et fécaux, *Clostridium sulfito-reducteur* et les germes aérobies mésophiles.

Pour la recherche et le dénombrement de ces germes dans le fromage fondu produit, on a utilisé les mêmes milieux et les mêmes procédés suivis dans les analyses microbiologiques de la farine. La solution mère a été préparée dans des conditions aseptiques en raison de 10% dans un flacon stérile contient le triptone sel.

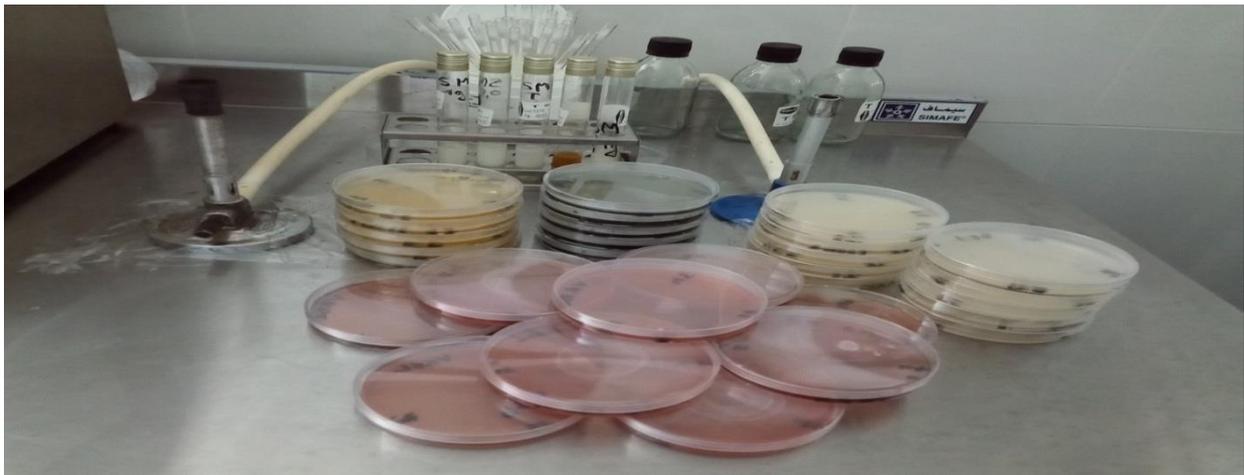


Fig. n°6: Les analyses microbiologiques du fromage fabriqué.

#### II.4.1.3 Test sensoriels

L'analyse sensorielle est une science multidisciplinaire qui fait appel à des dégustateurs et à leur sens de la vue, de l'odorat, du goût, du toucher pour mesurer les caractéristiques sensorielles et l'acceptabilité du produit alimentaire ainsi que de nombreux autres produits (Watts et *al.*, 1991).

Le test de dégustation s'est déroulé au niveau de notre faculté en présence des étudiants. Au moment de la dégustation chaque membre avait en face de lui 4 échantillons du fromage fondu à déguster, 3 échantillons correspondants aux fromages formulés (additionner de la poudre de *Schistocerca gregaria*) et un échantillon correspondant au fromage témoin.

Les échantillons ont été présentés comme suit :

- La référence E1 correspond à l'échantillon témoin.
- La référence E2 correspond à l'échantillon (0,1g de la farine de *Schistocerca gregaria*).
- La référence E3 correspond à l'échantillon (0,5g de la farine de *Schistocerca gregaria*).
- La référence E4 correspond à l'échantillon (1g de la farine de *Schistocerca gregaria*).

Les différents paramètres retenus pour l'analyse sensorielle de nos produits sont :

- ✓ La texture
- ✓ La couleur
- ✓ La saveur

## ***Chapitre III : Résultats et discussion***

### III.1 Résultats de l'analyse physico chimique et microbiologique de la farine de *S. gregaria*

#### III.1.1 Résultats d'analyses physico-chimiques de la farine

Les résultats des analyses physico-chimiques de la farine du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* sont présentés dans le tableau n°3.

Tableau n°3: Résultats des analyses physiques-chimiques de la farine de *S.gregaria*.

Paramètre analysé	Résultats
Humidité (%)	04,84
Matière sèche (%)	95,16
Cendres (%)	03,20
Lipides (%)	30,10
Fibres (%)	23,82
Protéines (%)	46,95
Glucides(%)	1,85
PH	6,91

- **Taux d'humidité**

Les résultats de la teneur en humidité pendant le séchage (élimination d'humidité à 105°C) sont présentés dans le tableau n°3.

Les analyses des échantillons ont révélé un taux d'humidité d'ordre 04,84 % cela signifie que la farine de *Schistocerca gregaria* est pauvre en eau et presque la totalité de son poids est constituée par la matière sèche (95,16%). Cela signifie aussi que le séchage solaire des criquets a été bien fait.

Cette valeur est inférieure à celle trouvée par (Mwangi et al., 2019) qui est de l'ordre de 8,6% . Cette différence peut être expliquée par les conditions de stockage ou conditions de séchage du criquet.

- **Teneur en cendres**

Le taux de cendres nous renseigne sur la quantité totale en sels minéraux présents dans un échantillon de la farine, et par conséquent le taux de la matière organique présent dans le même échantillon peut être déduit. Les résultats obtenus sont illustrés dans le tableau n°3.

Nous constatons que l'échantillon de la farine de *Schistocerca gregaria* montre un taux de cendre de 03,20% ce qui signifie que la farine est riche en matières organiques (96,80%). Cette valeur est légèrement inférieure à celle trouvée par Haber (2019) qui est de l'ordre de 3,9%. Cela peut s'expliquer par l'effet de traitement thermique de la farine, notre farine a subi un traitement à 550°C tandis que la sienne à 450°C.

- **Teneur en matière grasse**

D'après les résultats obtenus dans le tableau n°3, le taux des lipides montre une valeur de 30,18% qui est relativement élevé par rapport à celle obtenue par Haber (2019) et Mwangi et *al.*,(2019) qui sont respectivement de l'ordre de 13,3% et de 23% .

Cette différence peut s'expliquer par la variation de certains facteurs tels que le sexe des criquets (les femelles sont plus riches que les mâles), leur stade de récolte et leur alimentation.

- **Teneur en fibres**

La chitine est la forme la plus courante de fibres insolubles chez les insectes contenue principalement dans l'exosquelette et s'est avérée bénéfique pour la santé humaine car c'est une bonne source de fibres insolubles avec des propriétés prébiotiques (Ibarra-Herrera et *al.*, 2020). Mais elle a tendance à favoriser le transit intestinal, diarrhée avec quelques cas de nausée chez les personnes qui présentent une allergie aux crustacés comme les crevettes ou les crabes (Van Huis, 2013).

Le résultat du taux des fibres montre une valeur de 23,82% qui est beaucoup plus élevée que celle déterminée par Haber (2019) qui est de l'ordre de 8,3%.

Cette différence pourrait être liée aux différences de contenu en polysaccharides entre les aliments consommés.

- **Teneur en protéines**

D'après les résultats obtenues dans le tableau n°3, le taux des protéines montre une valeur de 46,95% qui est relativement élevée comparativement à celle obtenue par Haber(2019) et Mwangi et *al.*,(2019) qui sont respectivement de l'ordre de 35,3 % et 42% .

Cette déférence pourrait être liée aux bonnes conditions d'élevage et d'alimentation riche en protéines donnée aux criquets et qui est bien converti en masse corporelle. Cela nous confirme aussi que notre criquet pèlerin peut être un bon complément protéique.

#### • Teneur en glucides

D'après les résultats obtenues dans le tableau n°3, la teneur en glucide montre une valeur de 1.85% qui relativement inférieur comparativement à celle obtenue par Abd-El Wahed et Ahmed(2019) qui est de l'ordre de 2.98%.

Cette déférence pourrait être liée au régime alimentaire suivi dans l'alimentation des criquets.

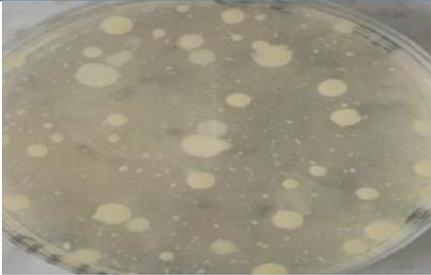
#### • Le pH de la farine

Le résultat de pH a montré que la farine a un pH neutre qui est de l'ordre de 6,91.

### III.1.2 Résultats de l'analyse microbiologique de la farine de *Schistocerca gregaria*

Les résultats des analyses microbiologiques de la farine de *Schistocerca gregaria* sont présentés dans le tableau n°4 et 5.

Tableau n° 4: Lecture des analyses microbiologiques de la farine de *Schistocerca gregaria* séchée au soleil et à l'air libre.

Microorganismes recherchés	Résultats	Interprétation
<b>Flore aérobies mésophiles (milieu PCA)</b>		Colonies de forme ronde, lenticulaire en masse, de taille moyenne et petite, et de couleur blanchâtre crémeuse.
<b>Coliformes totaux (milieu VRBL)</b>		L'apparition des colonies de couleur rouge cerise, de forme ronde, lenticulaire et de taille moyenne.

<p><b>Coliformes fécaux</b> (milieu VRBL)</p>		<p>Petites colonies de couleur rouge et foncé et de taille moyenne et parfois entourées d'une zone rougeâtre.</p>
<p><i>Escherichia coli</i> (milieu eau peptonée exempt d'indole)</p>		<p>Le tube d'eau peptonée exempt d'indole n'a pas présenté ni un trouble de milieu ni l'apparition un anneau rouge.</p>
<p><i>Staphylococcus aureus</i> (milieu Baird Parker)</p>		<p>Absence de colonies noires brillantes entourés d'un halo jaune clair sur milieu Baird-Parker dans la boîte de Pétri.</p>
<p><b>Salmonelles</b> (milieu Hektoen)</p>		<p>Absence de colonies bleu verdâtre à centre noirâtre sur gélose Hektoen.</p>
<p><i>Pseudomonas aeruginosa</i> (milieu cétrimide)</p>		<p>Absence de colonies bleu verdâtre sur gélose cétrimide.</p>
<p><i>Clostridium sulfito-réducteur</i> (milieu VF)</p>		<p>Apparition des colonies noir sur le milieu VF.</p>

<p><i>Listeria monocytogene</i> (milieu Palcam)</p>		<p>Absence des colonies gris verdâtre luisantes, entourées d'un halo brun noir.</p>
<p>Levures et moisissures (milieu Sabouraud)</p>		<p>Les moisissures apparaissent sous forme duveteux tandis que les levures prennent une forme de petites colonies de formes rondes et une couleur blanche.</p>

Tableau n°5: Résultats des analyses microbiologiques (dénombrement) de la farine de *Schistocarca gregaria* séchée à l'air libre et à l'étuve.

Germe	UFC/g d'échantillon séché à l'aire libre	UFC/g d'échantillon séché à l'étuve	Critères d'hygiènes UFC/g
FAMT	3 .10 <sup>3</sup>	10	5.10 <sup>6</sup>
Coliformes totaux	7.10 <sup>2</sup>	00	10 <sup>3</sup>
Coliformes fécaux	40	00	10 <sup>3</sup>
<i>Escherichia coli</i>	00	00	
<i>Staphylococcus aureus</i>	00	00	10 <sup>3</sup>
Levures	50	00	10 <sup>3</sup>
Moisissures	80	00	10 <sup>3</sup>
Salmonelles	Absence	Absence	Absence
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Absence	Absence	Absence
<i>Clostridium sulfito-réducteur</i>	20	0	10 <sup>5</sup>
<i>Listeria monocytogene</i>	Absence	Absence	Absence

Les résultats d'analyses microbiologiques de la farine de *Schistocerca gregaria* montrent une absence totale des germes pathogènes: salmonelles, *Echerichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* et de *Listeria monocytogene* pour les deux échantillons de farine analysée et une présence de *Clostridium sulfito-réducteur* que dans la farine obtenue par séchage solaire à l'air libre des criquet par contre il y a une présence largement inférieure de FAMT ( $3.10^4$  UFC/g), et une valeur proche de seuil de la norme des coliformes totaux ( $7.10^2$ UFC/g), des coliformes fécaux (40UFC/g) et une quantité minimale de levures et moisissures (50UFC/g) par rapport aux normes d'hygiène pour l'échantillon séché au soleil et à l'aire libre, tandis que l'échantillon séché à l'étuve montre une absence totale des coliformes, des levures et des moisissures.

Donc, la farine obtenue pour les criquets séchés à l'étuve est de très bonne qualité par rapport à celle obtenue par séchage solaire à l'air libre et ceci conformément aux critères d'hygiènes.

### III.2 Résultats des analyses physicochimiques et microbiologiques du fromage formulé par incorporation de la farine de *S. gregaria* à différents dosages

Cette partie sera consacrée à l'analyse de produit élaboré avec les différentes concentrations de la farine de *Schistocerca gregaria*.

E1 : l'échantillon de fromage fondu témoin.

E2 : l'échantillon de fromage fondu qui contient 0,1% de farine de *Schistocerca gregaria*.

E3 : l'échantillon de fromage fondu qui contient 0,5% de farine de *Schistocerca gregaria*.

E4 : l'échantillon de fromage fondu qui contient 1% de farine de *Schistocerca gregaria*.

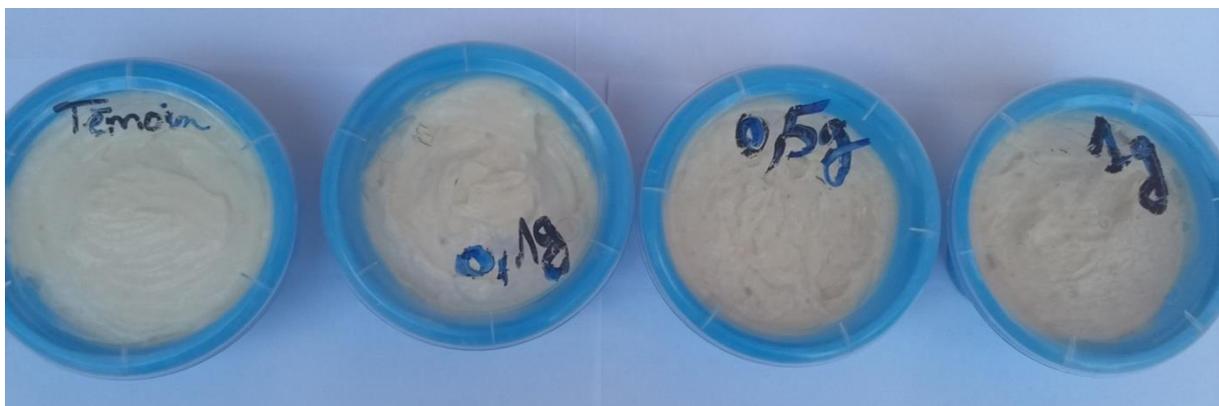


Fig. n°12: Les échantillons de fromage fabriqué par incorporation de la farine de *S. gregaria* à différents dosages.

### III.2.1 Résultats des analyses physico-chimiques de fromage fabriqué par incorporation de la farine de *S. gregaria* à différents dosages.

Les résultats des analyses physico-chimiques effectuées pour les 4 échantillons de fromage fondu sont présentés dans le tableau n°6.

Tableau n°6: Résultats des analyses physiques-chimiques de fromage fabriqué par incorporation de la farine de *S. gregaria* à différents dosages.

Echantillon	E1	E2	E3	E4	Norme interne
<b>Paramètres</b>					
<b>PH</b>	5,66	5,67	5,69	5,72	5,65 – 5,85
<b>EST (g)</b>	42	44,71	45,02	45,18	40
<b>MG (g)</b>	18	18	19	20	16 -18
<b>H(%)</b>	58	55,29	54,98	54.82	+46
<b>MG/MS(%)</b>	42.85	40,26	42,20	44.27	+40
<b>Protéine (%)</b>	11	11.5	13.5	16	11-17

EST : extrait sec total

MG : Matière grasse

MS : Matière sèche

Les analyses physico-chimiques contribuent à la protection du consommateur contre tous les paramètres qui n'entraînent pas de modifications visibles des caractéristiques du produit.

D'après les résultats indiqués dans le tableau n°6, il apparaît que :

- **pH**

La valeur de pH obtenus est conforme aux normes pour tous les échantillons.

Nous remarquons que la valeur de pH augmente en fonction de la concentration de la farine de *Schistocerca gregaria* incorporée. Donc le pH de témoin (pH=5,66) inférieur par rapport aux pH des autres échantillons qui contient de la farine pH=5,67 ; 5,69 ; 5,72 respectivement pour les échantillons E1, E2 et E3.

- **L'extrait sec total**

L'extrait sec total il est de l'ordre de 44,71 % pour l'échantillon E1, de 45,02% pour l'échantillon E2 et 45,18% pour l'échantillon E3, cette petite différence est due probablement à l'ajout de la farine de *Schistocerca gregaria*.

- **Matière grasse**

Le taux de la matière grasse de l'échantillon E1 est 18%, ce qui est en accord avec les normes, par contre les échantillons E2 et E3 qui sont plus concentrés ont montrés un taux supérieur qui

est respectivement de l'ordre de 19% et de 20%. Cela peut être expliqué par la richesse de la farine de *Schistocerca gregaria* en matière grasse (30,10%).

- **MG/MS**

Le rapport MG/MS% est en harmonie avec la norme.

La mesure de la matière grasse dans l'extrait sec joue un rôle dans la consistance du fromage.

- **Protéines**

Les protéines jouent un rôle majeur dans la texture des fromages car elles constituent la seule face solide continue. Les échantillons E2, E3 et E4 incorporés de la farine de *Schistocerca gregaria* ont présentés des teneurs supérieures en protéines qui sont respectivement de l'ordre de 11,5% ; 13,5% et 16% par rapport à l'échantillon témoin (11%). Cela est dû à la richesse de notre farine en protéines (46,95%).

### III.2.2 Résultats des analyses microbiologiques de fromage fabriqué par incorporation de la farine de *S. gregaria* à différents dosages.

Les résultats des analyses microbiologiques effectuées sur 4 échantillons de fromage fondu formulés sont présentés dans le tableau n°7.

Tableau n°7: Résultats d'analyses microbiologiques de fromage fabriqué par incorporation de la farine de *S. gregaria* à différents dosages.

Echantillon						Normes
Germes Recherchés		E1	E2	E3	E4	JORA (1998) Ufc/g
Germes aérobies mésophiles		100	130	190	60	$3.10^3$
Coliformes totaux		00	00	00	00	$10^2$
Coliformes fécaux		00	00	00	00	10
Staphylococcus aureus		00	00	00	00	Max $10^2$
Salmonelles		Absence	Absence	Absence	Absence	Absence
<i>Listeria monocytogene</i>		Absence	Absence	Absence	Absence	Absence
Levures		60	370	190	210	$10^3$
Moisissures		00	00	00	00	$10^3$
Clostridium sulfito-réducteur		00	00	00	00	1

Les analyses microbiologiques permettent de vérifier que le produit ne présente pas de risque pour la santé du consommateur, en tenant compte de la qualité des matières utilisées et les conditions d'hygiène de fabrication.

Notre analyse microbiologique a montré une absence totale des germes recherchés tel que les coliformes totaux et fécaux, *Staphylococcus aureus*, Salmonelles, *Listeria monocytogene*, Clostridium sulfito- réducteur et la présence d'une quantité minime des germes aérobies mésophile, levures et moisissures.

Donc, notre produit est de qualité microbiologique satisfaisante concernant tous les germes recherchés et ceci conformément aux normes JORA (1998) de fromage fondu.

### III.2.3 Résultats de l'analyse sensorielle des fromages formulés par incorporation de la farine de *S. gregaria* à différents dosages comparativement au fromage témoin de référence

#### III.2.3.1 Saveur

Le résultat de l'appréciation de la saveur, par les dégustateurs, pour les différents fromages formulés comparativement au fromage de référence sans incorporation de farine de criquets est représenté par la figure n° 13.

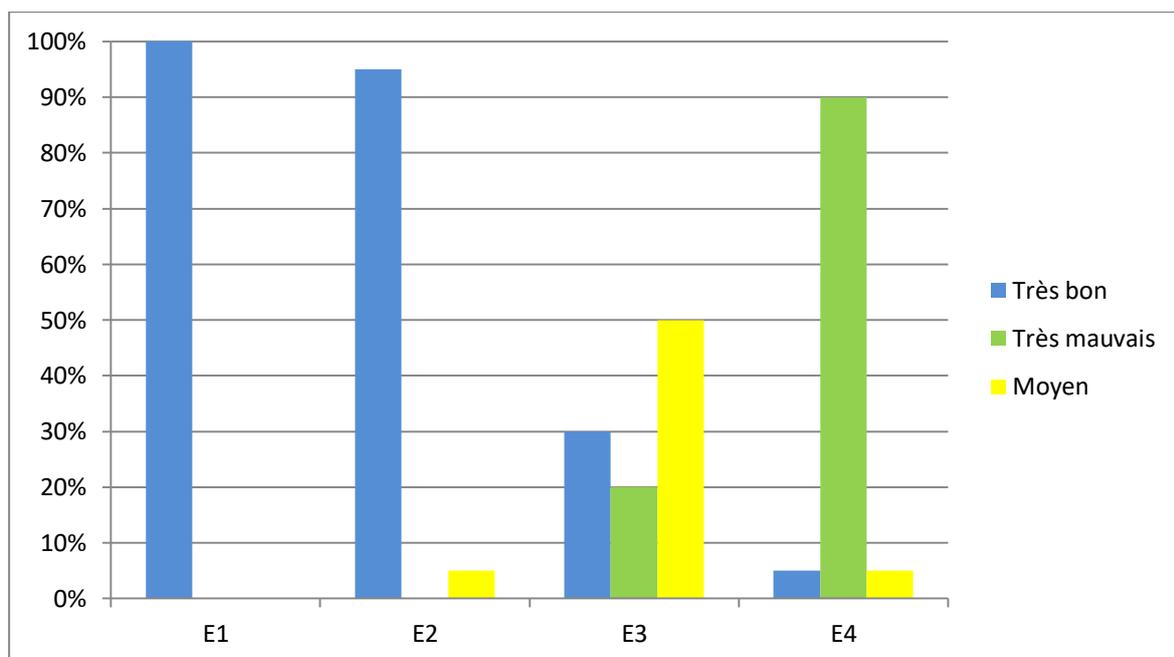


Fig. n°13: Les résultats de l'appréciation de la saveur des différents fromages formulés comparativement au fromage de référence

A partir de ces résultats obtenus on remarque que l'échantillon préféré, est le témoin 'E1' à 100% et le 'E2' (0.1% de la farine) à presque 95% ensuite l'échantillon 'E3' (0,5% de la farine) avec un pourcentage de 60% et en dernier l'échantillon 'E4' (1% de la farine) avec un pourcentage de 5%.

### III.2.3.2 Texture

Le résultat de l'appréciation de la texture, par les dégustateurs, pour les différents fromages formulés comparativement au fromage de référence sans incorporation de farine de criquets est représenté par la figure n° 14.

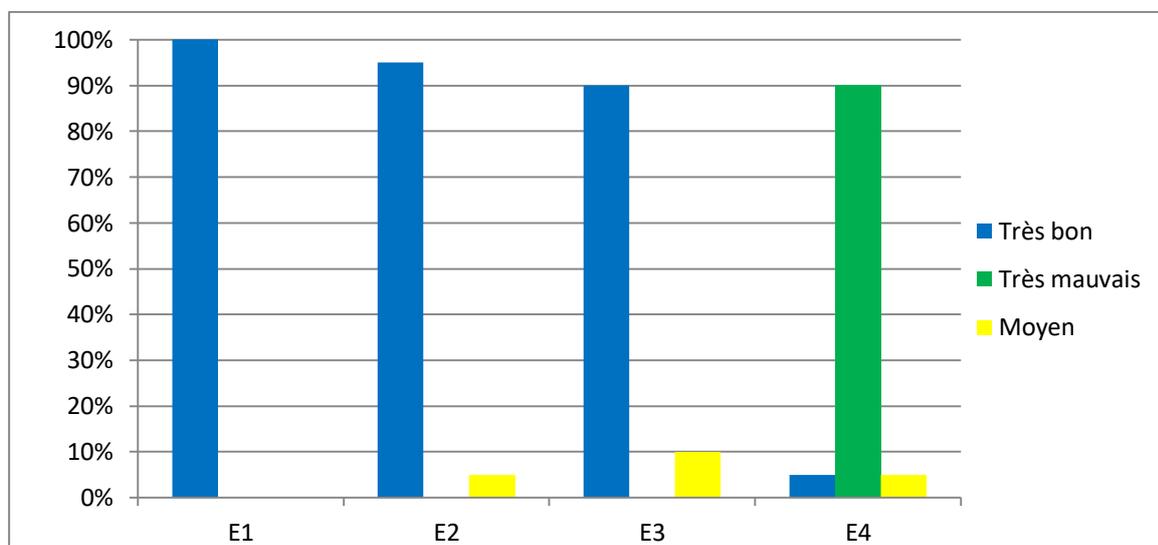


Fig. n°14 : Les résultats de l'appréciation de la texture des différents fromages formulés comparativement au fromage de référence

A compter des résultats obtenus, et par la comparaison avec le témoin 'E1' qui a une texture parfaite 100% on remarque que le fromage obtenu par l'incorporation de 0,1g de la farine de criquet est le plus accepté par les dégustateurs à un pourcentage de 95% suivi de fromage incorporer de 0,5 g de la farine de criquet à un pourcentage de 90%.

### III.2.3.3 Couleur

Le résultat de l'appréciation de la couleur, par les dégustateurs, pour les différents fromages formulés comparativement au fromage de référence sans incorporation de farine de criquets est représenté par la figure n° 15.

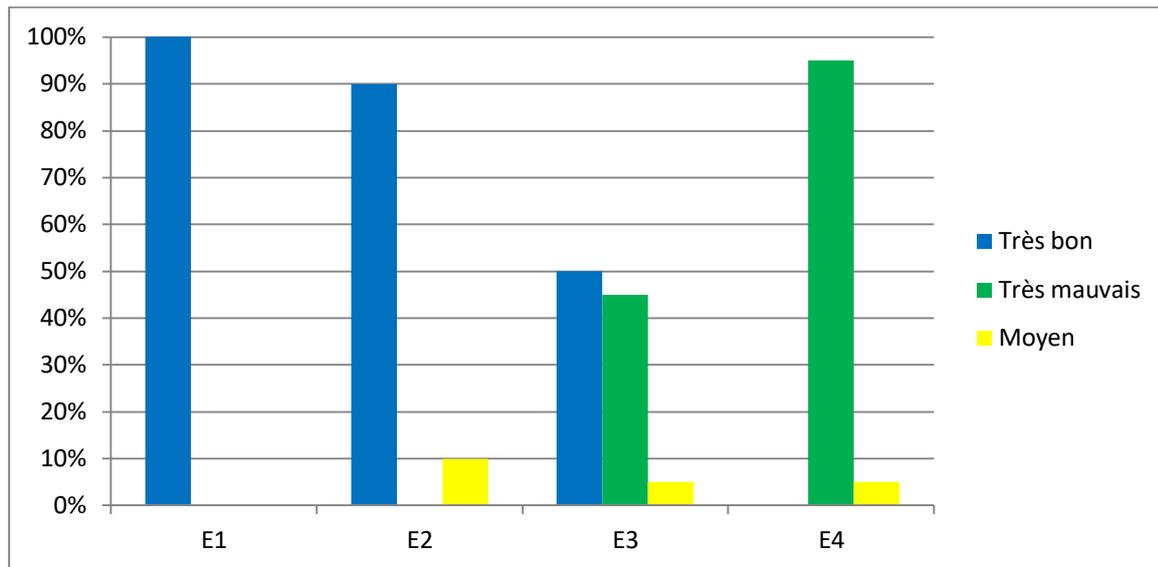


Fig. n°15 : Les résultats de l'appréciation de la couleur des différents fromages formués comparativement au fromage de référence.

A partir des résultats obtenus, on remarque que la couleur d'échantillon 'E2' (avec incorporation de 0,1 g de farine de criquet) présente un taux d'acceptation de l'ordre de 90 % derrière le témoin qui a présenté un pourcentage 100%, ensuite on trouve l'échantillon 'E3' avec un pourcentage 50%. Tandis que l'échantillon 'E4' de point de vue de la couleur elle n'était pas acceptée par les étudiants.

Ces résultats permettent de conclure que les taux d'incorporation de la farine de *Schistocerca gregaria* choisis dans le fromage fondu, modifie la texture, la saveur et elle touche légèrement la couleur.

On se basant sur le résultat du test sensoriel, on peut dire que l'échantillon 'E2' (0,1%) de la farine de *Schistocerca gregaria* est le plus acceptable après le témoin.

### Discussion générale

La richesse des insectes comestibles en éléments nutritifs (protéines, lipides et fibres) a poussé les chercheurs à procéder à l'enrichissement de divers aliments de la matrice alimentaire par ces insectes. Haber et *al.*, (2019) ont procédé à l'enrichissement de pain par la poudre de la sauterelle *Schistocerca gregaria* qui contient 35% de protéines et 13% de la matière grasse. Alors que Kim et *al.*, (2017) ont visé l'enrichissement de yaourt avec la sauterelle *Oxya chenensis sinuosa* qui est riche en protéines (47,28%). Cependant Ayeiko et *al.*, (2010) ont élaboré des biscuits et des petits pains à base de termites.

D'après notre étude, les résultats physico-chimiques de la farine *Schistocerca gregaria* montrent une richesse en protéines (46,95%), lipides (30,10%) et fibres (23,82%) comparativement aux résultats obtenue par Haber et *al.*, (2019) qui sont respectivement de l'ordre de 35,3% ; 13,3% ; 8,2%. Alors que les résultats obtenus par Abd-El Wahed et Ahmed (2019) ont montré une grande richesse en protéines (56,79%) et des valeurs inférieures en lipide (28,82%) et en fibre (7,9%) par rapport à nos résultats. Les résultats de l'analyse microbiologique de la farine de *Schistocerca gregaria* pour les deux séchages ont montrés une quantité inférieure en germe par rapport à celle analysée par Mwangi et *al.*,(2019).

L'enrichissement du fromage fondu par la farine de *Schistocerca gregaria* a permis d'augmenter ses valeurs nutritionnelles (protéines, lipides) en comparaison avec les autres études où Solhi et *al.* , (2020a) ont utilisé la poudre de tomate dans l'enrichissement de fromage fondu et Solhi et *al.*, (2020b) qui ont incorporé la poudre d'asperge dans le fromage fondu ont conclu que le fromage enrichi avec ces dernières n'avait pas des valeurs significativement différentes en protéines et en lipides.

## *Conclusion générale et perspectives*

## Conclusion générale et Perspectives

Les insectes comestibles pourraient devenir l'une des solutions aux problèmes de l'approvisionnement alimentaire mondial en raison de leur haute valeur nutritive et leurs conditions de reproduction favorable.

Notre travail qui est une contribution à l'étude de propriétés physico-chimique de la Farine de « *Schistocerca gregaria* » et l'essai d'incorporation de cette dernière à différentes doses dans une matrice alimentaire « le fromage fondu », nous a permis de comprendre que le domaine d'utilisation des insectes demeure encore un terrain valable pour la recherche en Algérie.

Les analyses physicochimiques de la farine de « *Schistocerca gregaria* », montrent une richesse en protéines (46,95%), en matières grasses (30,10%) et constitue une bonne source d'éléments minéraux (3,20%) et des fibres (23,82%). L'analyse microbiologique révèle l'absence des germes pathogènes et des germes de contamination fécale. Cependant, elle révèle une présence importante et en concentration élevée de FAMT dans la farine de *Schistocerca gregaria*. Cette présence a plusieurs origines durant la production.

D'après les résultats physico-chimiques, microbiologiques et le test sensoriel effectué sur le fromage fondu fabriqué à différentes concentrations de la farine de *Schistocerca gregaria*, nous pouvons conclure que l'échantillon E2 qui contient 0,1% de la farine a présenté des caractéristiques physico-chimiques et organoleptiques acceptable. Ce résultat ouvre un nouvel horizon pour d'une éventuelle proposition d'une nouvelle variété de fromage enrichis avec de la farine d'insectes en autres celle de *Schistocerca gregaria*, qui reste une espèce de criquet largement consommée au Sud algérien.

En perspective, ces résultats restent préliminaires, il serait intéressant de compléter ce travail par des études à savoir :

- ✓ Compléter les analyses physico-chimiques (les vitamines, les types des minéraux) de la farine de *Schistocerca gregaria*.
- ✓ Etude comparative entre la farine brute et la farine délipidée de *Schistocerca gregaria*.
- ✓ Mettre en place des formulations différentes en intégrant la farine dans d'autres ingrédients.

## *Références bibliographiques*

## Références bibliographiques

- Abd-El Wahed S. M. N., Ahmad A. F., 2019. Variations in Chemical Composition Value of Adults and Nymphs Desert Locust, *Schistocerca gregaria* Forskal (Orthoptera: Acrididae). *Journal of Plant Protection and Pathology*, 10 (12): 677-681.
- Adjou F., Khider H., 2016. Contrôle de la qualité physicochimique et microbiologique du fromage fondu produit au niveau de la laiterie fromagerie Boudouaou. Thèse Doctorat, Université Blida, Algerie, 53p.
- ANSES, 2015. La valorisation des insectes dans l'alimentation et l'état des lieux des connaissances scientifiques sur les risques sanitaires en lien avec la consommation des insectes». Ed. Maisons-Alfort, France, 42 p.
- Ayieko M.A., Oriamo V. and Nyambuga I.A., 2010. Processed products of termites and lake flies: improving entomophagy for food security within the Lake Victoria regsite. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 10(2):2085-2098.
- Boutonnier J.L, 2000. Fabrication du fromage fondu. *Techniques de l'ingénieur*, F6310: 14p.
- Bukkens S.G.F., 1997. The nutritional value of edible insects. *Ecology of Food and Nutrition*. (36): 287-319.
- Carip C., 2008. *Microbiologie Hygiène bases microbiologiques de la diététique*, Edition Tec-doc et médicales internationales, Londres-Paris-NewYork .58-241
- Codex Alimentaire 1978. Norme générale codex pour le fromage, Codex Standard. 283, 1-5.
- De Castro R.J.S., Ohara A., Aguilara J.G.S. and Domingues M.A.F., 2018. Nutritional, functional and biological properties of insect proteins: Processes for obtaining, consumption and future challenges. *Food Science & Technology* (76): 82-89.
- DeFoliart G.R., 1997. An overview of the role of edible insects in preserving biodiversity. *Ecology of Food and Nutrition*. 36: 109-132.
- Devries L.A., 1981. Baird-Parker Medium Supplemented with Acriflavine, Polymyxins and Sulphonamide for the Selective Isolation of *Staphylococcus aureus* from Heavily Contaminated Materials *Journal of Applied Bacteriology* (50);351-357.

## Références bibliographiques

- EFSA, 2015. Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. EFSA Journal. 13(10): 1-60.
- El-Sayed S.M., 2020. Use of spinach powder as functional ingredient in the manufacture of UF-Soft cheese. Heliyon. 6: 1-6.
- FAO, 2012. Assessing the potential of insects as food and feed in assuring food security. Presented at Technical. Consultation. Meeting, 23–25 January, FAO, Rome, Italy. 1-38 <http://www.fao.org/3/an233e/an233e00.pdf>
- FAO, 2013. La contribution des insectes à la sécurité alimentaire, aux moyens de subsistance et à l'environnement. 1-4. consulté le 03/03/2020. <http://www.fao.org/3/i3264f/i3264f00.pdf>
- FAO, 2020. Mise à jour de la situation relative au Criquet pèlerin 10 mars 2020 <http://www.fao.org/ag/locusts/en/info/info/index.html>
- Farber J.M. and Peterkin P.I., 1991. *Listeria monocytogenes*, a Food-Borne Pathogen. Microbiological Reviews. 55(3): 476-511.
- Fraqueza M.J.R., Patarata and L.A.D.C., 2017. Constraints of HACCP Application on Edible Insect for Food and Feed, 89-114. In Mikkola H., 2017. Future foods. Ed; Intechopen, 182p. <https://www.intechopen.com/books/future-foods/constraints-of-haccp-application-on-edible-insect-for-food-and-feed>
- Grafton R.Q., Daugbjerg C. and Qureshi M.E., 2015. Towards food security by 2050. Food Secur (7): 179-183.
- Giroux H.J, De Grandpré G., Fustier P., Champagne C.P., St-Gelais D., Lacroix M. and Britten M., 2013. Production and characterization of Cheddar-type cheese enriched with green tea extract. Dairy Sci. Technol. 93:241-254.
- Guirand J.P. 1998. La microbiologie alimentaire. Ed : Dunod, Paris. 652P.
- Hafiane A., Ravaoarinoro M., 2008. Différentes méthodes de typage des souches de *Pseudomonas aeruginosa* isolées des patients atteints de mucoviscidose Various typing methods of *Pseudomonas aeruginosa* strains isolated from cysticfibrosis patients. Médecine et maladies infectieuses. (38) : 238–247.
- Haber M., Mishyna M., Martinez I.J.J and Benjamin O., 2019. L'influence de la sauterelle (*Schistocerca gregaria*) l'enrichissement en poudre sur les propriétés nutritionnelles et sensorielles du pain. Food science and technology. 115, 1-8.

## Références bibliographiques

- Hsiaoling W., Nagarani P., William M.M. and Lokesh B., 2016. Protein Nitrogen Determination by Kjeldahl Digestion and Ion Chromatography. *Journal of Pharmaceutical Sciences*.105:1851-1857.
- Ibarra-Herrera C.C., Acosta-Estrada B., Chuck-Hernández C., Serrano-Sandovalb S.N., Guardado-Félix D. and Pérez-Carrillo E., 2020. Nutritional content of edible grasshopper (*Sphenarium purpurascens*) fed on alfalfa (*Medicago sativa*) and maize (*Zea mays*). *Journal of food*.18(1): 257–263.
- Ined, 2019. Les Nations unies publient de nouvelles projections de population mondiale.  
<https://www.ined.fr/fr/tout-savoir-population/memos-demo/focus/nations-unies-publient-nouvelles-projections-population-mondiale-2019/>
- ISO 21527-1, 2008. Microbiology of food and animal feeding stuffs-Horizontal method for the enumeration of yeasts and moulds.1-8.
- Johnson D.V., 2010. The contribution of edible insects to human nutrition and to forest management, 5-22. . In Durst P.B., Johnson D.V., Leslie R.L. and Shono K., 2010. Forest insects as food: humans bite back. Ed; Food and Agriculture Organization of the United Nations Regional Office for Asia and the Pacific, Thailand, 241p.  
<http://www.fao.org/3/a-i1380e.pdf>
- Jongoma.Y, 2017. List of edible insects of the world (April 1, 2017)  
<https://www.wur.nl/en/Research-Results/Chair-groups/Plant-Sciences/Laboratory-of-Entomology/Edible-insects/Worldwide-species-list.htm>consulté le 09/03/2020
- Kapoor R. and Metzger L.E., 2008. Process cheese: Technological aspects – a review. *Comprehensive. Food Science and Food Safety*. (7): 194-214.
- Khalifa S.A. and Wahdan K.M., 2015. Improving the quality characteristics of white soft cheese using cranberry (*Vaccinium macrocarpon*) fruit extract. *International Food Research Journal*. 22(6): 2203-2211.
- Kim H.S., Kim Y.J., Chon J.W., Kim D.H., Song K.Y., Kim H. and Seo K.H., 2017. Organoleptic Evaluation of the High-Protein Yoghurt containing the Edible Insect *Oxya chinensis sinuosa* (Grasshopper): A Preliminary Study. *J. Milk Sci. Biotechnol*. 35(4):266-269.
- Kloot R.W., Radakovich B., Huang X. and BrantleyD.,2006. A comparison of bacterial indicators and methods in rural surface waters. *Environmental Monitoring and Assessment*.121: 275–287.

## Références bibliographiques

- Langlade F., 2019. Utilisation des insectes en alimentation humaine : situation actuelle, enjeux et perspectives. Thèse doctorat, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, France, 159 p.
- Lavalette M., 2013. Les insectes : une nouvelle ressource en protéines pour l'alimentation humaine. Thèse doctorat, Université de Lorraine, France, 72p.
- Melo V., Garcia M., Sandoval H., Jiménez D.H. and Calvo C., 2011: Quality proteins from edible indigenous insect food of Latin America and Asia. *Emir. J. Food Agric.* 23 (3): 283-289.
- Mignon J., 2002. L'entomophagie: une question de culture?. *Tropicultura*, 20(3): 151-155.
- Mertens D.R., 2002. Gravimetric Determination of Amylase-Treated ;Neutral,Detergent Fiber in Feeds with Refluxing in Beakers or Crucibles: Collaborative Study. *Journal of AOAC international.* 85 (6) :1217-1240.
- Mlcek J., Rop O., Borkovcova M. and Bednarova M., 2014. A comprehensive look at the possibilities of edible insects as food in Europe – a review. *Pol. J. Food Nutr. Sci.* 64(3): 147-157.
- Modou D., Anna S.D. and Falilou M.S., 2019. Valorisation par compostage des déchets solides fermentescibles collectés à l'Ecole Supérieure Polytechnique de l'Université Cheikh AntaDiop de Dakar: Etude de l'effet phytotoxique sur des plants de maïs et d'arachide. *International journal of biological and chemicalsciences.*13 (3): 1693-1704.
- Montowska M., Kowalczewski P.L., Rybicka I. and Fornal E., 2019. Nutritional value, protein and peptide composition of edible cricket powders. *Food Chemistry.* 289:130-138.
- Mwangi K.W., Nduko J.M., Kingori A., Toroitich F. and Faraj A., 2019. Development and microbiological load of composite flours from locusts, grasshoppers and malted finger millet. *African Journal of Food Science and Technology.* 10(1): 13-20.
- Norme AFNOR NF V 03-454,1981. Dénombrement des levures et moisissures dans les épices et aromates 1-2.
- Oliveira R.B.A., Margalho L.P., Nascimento J.S., Costa L.E.O., Portela J.R., Cruz A.G. and Sant'Ana A.S. 2016. Processed cheese contamination by spore-forming

## Références bibliographiques

- bacteria: a review of sources, routes, fate during processing and control. *Trends Food Sci Tech.* 57: 11-19.
- Osimani A., Garofalo C., Aquilanti L., Milanovic V., Cardinali F., Taccari M., Pasquini M., Tavoletti S. and Clementi F, 2017. Transferable Antibiotic Resistances in Marketed Edible Grasshoppers (*Locusta migratoria migratorioides*). *Journal of Food Science*, 1-9.
  - Penchev P.I., 2010. Étude des procédés d'extraction et de purification de produits bioactifs à partir de plantes par couplage de techniques séparatives à basses et hautes pressions. Thèse de Doctorat-Université de Toulouse, France, 239p.
  - Plantamp Ch., 2012. Histoire évolutive et divergence des deux sous espèces du Criquet pèlerin, *Schistocerca gregaria*. Thèse d'ingénieur, Université Montpellier, France, 84p.
  - Raheem D., Carrascosa C., Oluwole O.B., Nieuwland M., Saraiva A., Millán R. and Raposo A., 2018. Traditional consumption of and rearing edible insects in Africa, Asia and Europe. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*.59: 1-57.
  - Rahman H.S., Mahmoud B.M., Othman H.H. and Amin K, 2018. A Review of History, Definition, Classification, Source, Transmission, and Pathogenesis of Salmonella: A Model for Human Infection .*Journal of Zankoy Sulaimani.* (20) 3-4: 11-19.
  - Ramos-Elorduy J., 1997. The importance of edible insects in the nutrition and economy of people of the rural areas of Mexico. *Ecology of Food and Nutrition*, 36: 347-366.
  - Ramos-Elorduy J. 2009. Anthro-entomophagy: Cultures, evolution and sustainability. *Entomological Research.* 39: 271–288.
  - Reggani M.E.A., 2010. Contribution à l'étude de la bio-écologie du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) (Orthoptera- Acrididae) dans la région d'Adrar. Thèse d'ingénieur, Université Kasdi Merbah-Ouaregla, 107p.
  - Richonnet C., (2016). Caractéristiques nutritionnelles des fromages fondus. *Cah Nutr Diet*, 51(1) : 48-56.
  - Rompre´A., Servais P., Baudart J., de-Roubin M. and Laurent P., 2002. Detection and enumeration of coliforms in drinking water: current methods and emerging approaches. *Journal of Microbiological Methods.* 49: 31–54.

## Références bibliographiques

- Rumpold B.A., Schlüter O.K., 2012. Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 17, 1-11.
- Schlüter O., Rumpold B. A., Holzhauser T., Roth A., Vogel R.F. Quasigroch W., Vogel S., Heinz V., Jäger H., Bandick N., Kulling S., Knorr D., Steinberg P. and Engel K.H., 2017. Safety aspects of the production of foods and food ingredients from insects. *Nutr. Food Res.*61 (6):1-14.
- Sogari G., Liu A. and Li J., 2019. Understanding Edible Insects as Food in Western and Eastern Societies, 166-181 in Bogueva D., Marinova D., Rophaely T. and Schmidinger K. *Environmental health and business opportunities in the new meat alternatives market*. Ed. IGI Global, USA.
- Solhi P., Azadmard-Damirchi S., Hesari J. and Hamishehkar H., 2020a. Production of the processed cheese containing tomato powder and evaluation of its rheological, chemical and sensory characteristics. *Food Sci Technol.* 57: 1-8.
- Solhi P., Azadmard-Damirchi S., Hesari J. and Hamishehkar H., 2020b. Effect of fortification with asparagus powder on the qualitative properties of processed cheese. *International Journal of Dairy Technology.*73 (1): 226-233.
- Symmons P.M. and Cressman K., 2001. Directives sur le Criquet pèlerin 1. *Biologie et comportement*. Ed. FAO, Rome. 32p.
- Tirchi N., 2008. Effet de trois dérégulateurs de croissance des insectes(IGRs) sur les larves de criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (FORSKÅL, 1775) (cytaconthacridinae, Acrididae). Thèse de Magister, Institut national agronomique EL-HARRACH, 192p.
- Torto B., Cheseto X., Philibert S.K., Tchouassi D.P., Ndung'u M. and Teal P.E.A., 2017. Potential of the Desert Locust *Schistocerca gregaria* (Orthoptera: Acrididae) as an Unconventional Source of Dietary and Therapeutic Sterols. *PLOS ONE.*10 (5):1-13.
- Van Huis A. and Oonincx D.G.A.B., 2017. The environmental sustainability of edible insects as food and feed. *A review Agron. Sustain.*37 (43): 1-14.
- Van Huis A., VanItterbeeck J., Klunder H., Mertens E., Halloran A., Muir G. and Vantomme P., 2013. *Edible insects: future prospects for food and feed security*. Ed food and agriculture organization of the United Nations Rome, 1-186.

## Références bibliographiques

- Vandermeersch Ch., 2018. Caractéristiques des produits issus de l'élevage d'insectes, débouchés et usages de ces produits, précautions et mises en garde. Thèse Doctorat, Université de Bordeaux, France, 100p.
- Xiaoming C., Ying F., Hong Z. and Zhiyong C., 2010. Review of the nutritive value of edible insects, 85-92. In Durst P.B., Johnson D.V., Leslie R.L. and Shono K., 2010a. Forest insects as food: humans bite back. Ed: Food and Agriculture Organization of the United Nations Regional Office for Asia and the Pacific, Thailand, 241p.<http://www.fao.org/3/a-i1380e.pdf>.
- Zaremski A, Fouquet D. and Louppe D. 2009. Les termites dans le monde. Ed. Quæ, France. 93 p.

### Annexe I :

- **Présentation de l'unité SARL paturage d'algerie**

La société « Paturage d'algerie » appartient au groupe industriel pour la production du lait et ses dérivés. Cette unité a été créée en 1998, portant le nom de « LA MONTAGNARDE » était originalement implanté à 1200m d'altitude, en Kabylie (Ain El Hammam). En 2002 suite à un incendie qui a touché son usine de production, l'entreprise s'est installée à Tizi Ouzou, où elle a pris le nom de « Paturage d'algerie ».

L'unité de « Paturage d'algerie » assure la production et la commercialisation de lait partiellement écrémé, Lait acidifié fermenté (LBEN), Camembert, Fromage fondu et Fromage à pâte pressée.



- **La recette de fromage fondu de la laiterie**

La préparation de fromage consiste à :

- Pesée des matières premières : les principaux ingrédients du fromage fondu fabriqué au niveau de la laiterie et fromagerie SARL paturage d'algerie sont :
- 30 kg de cheddar
- 30kg de fromage bloc
- 2 kg de sel (S9 destinée à la fabrication des denrées alimentaires) et non a la vente en détail.
- ½ de sel de table
- 25 kg de lait en poudre
- L'eau 42 à 50 litres

Dans des mélangeurs à une vapeur de 85° C.

## Annexes

### Annexe II : Appareillages et produits chimiques utilisés durant la partie expérimentale

Matériels	Milieux de cultures et réactifs
<ul style="list-style-type: none"> <li>-bec bunsen</li> <li>- Soxhlet</li> <li>-Dessiccateur</li> <li>- Rota vapeur</li> <li>- Centrifugeuse</li> <li>- Spectrophotomètre</li> <li>- Balance de précision</li> <li>- Bain marie agitateur</li> <li>- Etuve (25 ,37 et 40 °C)</li> <li>- Plaque chauffante agitatrice</li> <li>- Mortier</li> <li>- Autoclave</li> <li>- Réfrigérateur</li> <li>-four à moufle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- eau distillée</li> <li>- Na-OH, HCL, hexane, Anthrone</li> <li>-eau peptonée exempte d'indole</li> <li>-triptone sel</li> <li>-l'eau physiologique</li> <li>- Milieux gélosés :               <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ PCA, VRBL, Baird-Parker, S.F.B, Hektoene, gélose au cétrimide, gélose viande-foie, palcam ,sabouraud,</li> <li>- Bouillon de culture :</li> <li>✓ bouillon de Frazer</li> </ul> </li> </ul>

### Annexe III : La composition des milieu de culture quantité suffisante pour 1L

**Tableau 1 :** Milieu Hektoen pH=7.4

Composants	g/l
Mélange de peptone	25
Lactose/Saccharose	12
Salicine	01
Chlorure de sodium	02
Thiosulfate de sodium	01
Citrate d'ammonium	02
Citrate trisodique	1.25
Sels biliaires	1.5
Acide fuschique	0.025
Bleu de bromothymol	0.05

**Tableau 2 :** Milieu Chapmen pH=7.4

Composants	g/l
Peptone	10
Extrait de viande de bœuf	01
Chlorure de sodium	75
Mannitol	205
Rouge de phénol	0.025
Agar	15

**Tableau 3 :** Milieu VRBL (lactosée biliée au cristal violet et au rouge neutre) pH=7.4

## Annexes

<b>Composants</b>	<b>g/l</b>
Peptone	7
Extrait de levure	3
Lactise	10
Chlorure de sodium	5
Mélange de sels biliaire	105
Rouge neutre	0.03
Cristal violet	0.002

**Tableau 4:** Gélose VF(viande foie) Ph=7.6

<b>Composition</b>	<b>g/l</b>
Base viande foie	30
d-glucose	02
Chlorhydrate de cystéine	/
Amidon	/
Agar	08

**Tableau 5:** Eau peptone exempt d'indole pH=7.2

<b>Composants</b>	<b>g/l</b>
Peptone de viande	10
Tryptone	10
Chlorure de sodium	5

**Tableau 6 :** PCA( Plat Count Agar) pH=7

<b>Composants</b>	<b>g/l</b>
Tryptone	5
Extrait autolytique de levure	205
Glucose	1
Agar agar bactériologique	12

**Tableau 7 :** gélose sabouraud pH=5.7

<b>Composants</b>	<b>g/l</b>
Peptone pepsique de viande	10
Glucose	20
Chloramphénicol	0.5
Agar agar bactériologique	15

## Annexes

**Tableau 8** : gélose Baird-Parker pH=6.8

<b>Composants</b>	<b>g/l</b>
Tryptone	10
Extrait de viande de bœuf	5
Extrait de levure	1
Pyruvate de sodium	10
Glycocolle	12
Chlorure de lithium	5
Agar	20

**Tableau 9** : SFB (bouillon selenite cystine) pH= 7.0

<b>Composants</b>	<b>g/l</b>
Tryptone	5
Lactose	4
Sélinite acide de sodium	4
Phosphate disodique	10
L-cystine	0.01

**Tableau 10** : Triptone sel

<b>Composants</b>	<b>g/l</b>
Trypton	1
Chlorure	8.5

**Tableau 11** : gelose palcam pH=7.2

<b>Composants</b>	<b>g/l</b>
Peptone	23
Amidon	1
Chlorure de sodium	5
Extrait de levure	3
D-Mannitol	10
Citrate de fer III ammoniacal	0.5
Esculine	0.8
D-Glucose	0.5
Chlorure de lithium	15
Rouge de phénol	0.08
Agar	12

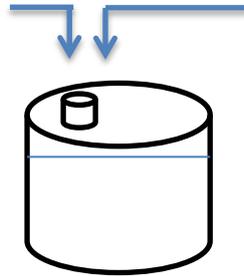
## Annexes

### Annexe IV : Analyses microbiologiques

- **Préparation de la solution mère.**

90 ml de tryptophane sel

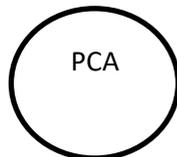
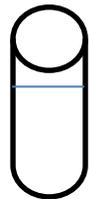
10g de la farine



Solution mère

- **Recherche et dénombrement de la flore aérobie mésophile totale**

SM



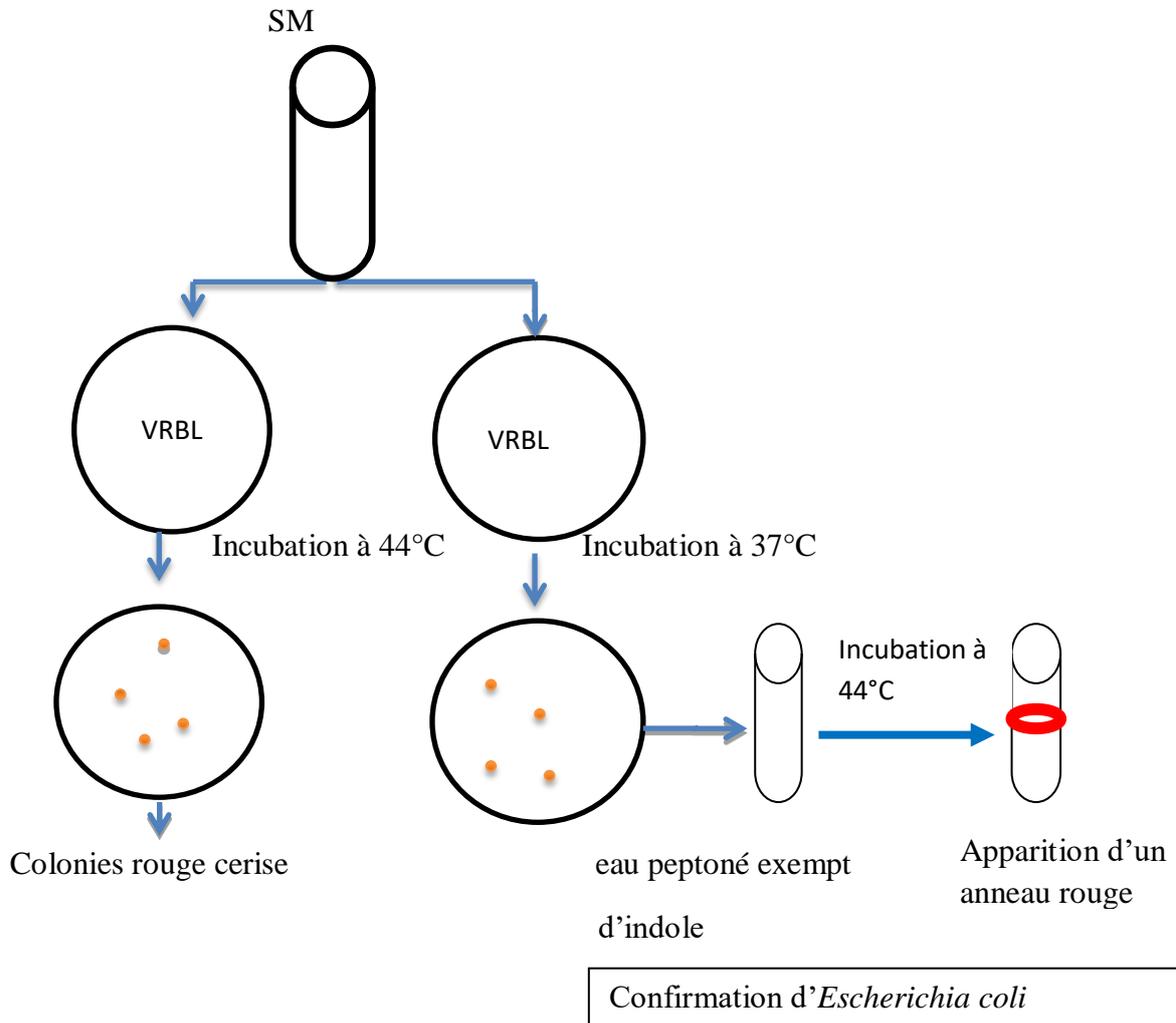
Incuber à 30°C pendant 72 heures



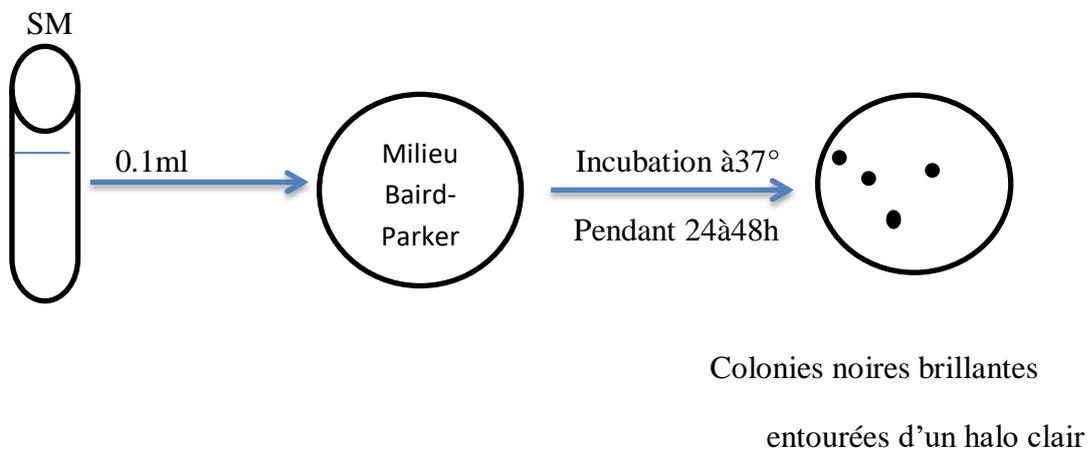
Dénombrement des colonies (entre 30 et 300)

## Annexes

- **Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux.**

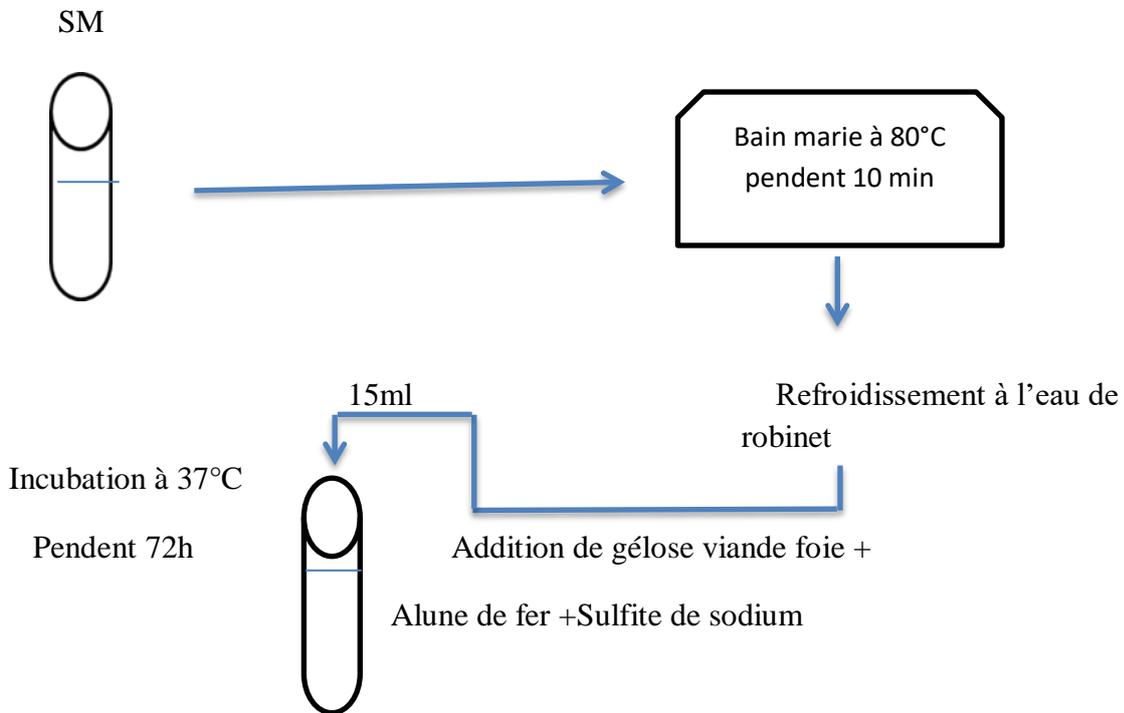


- **Recherche de *Staphylococcus aureus***

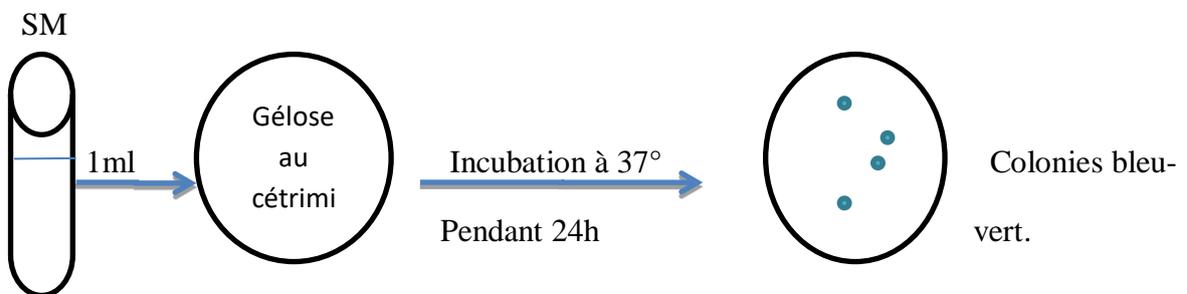


## Annexes

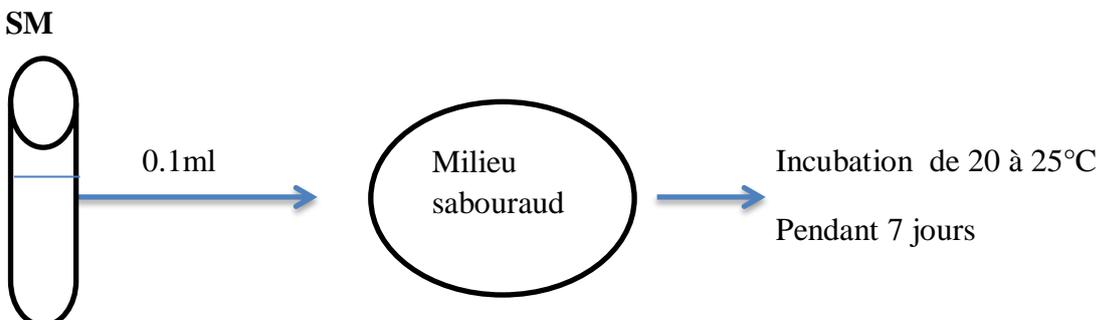
### • Recherche de Clostridium sulfito-réducteur



### • Recherche de *Pseudomonas aeruginosa*

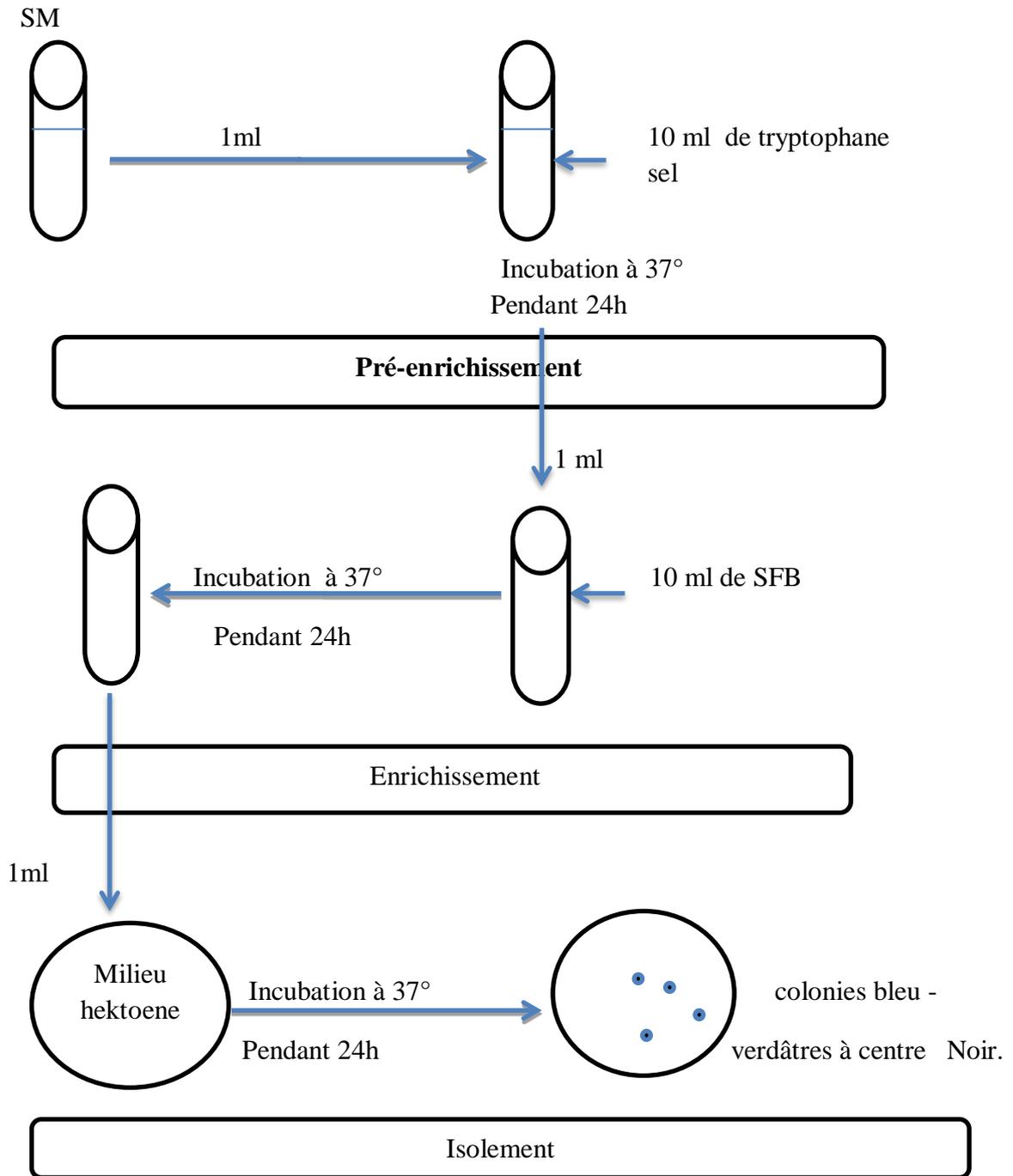


### • Recherche des levures et moisissures



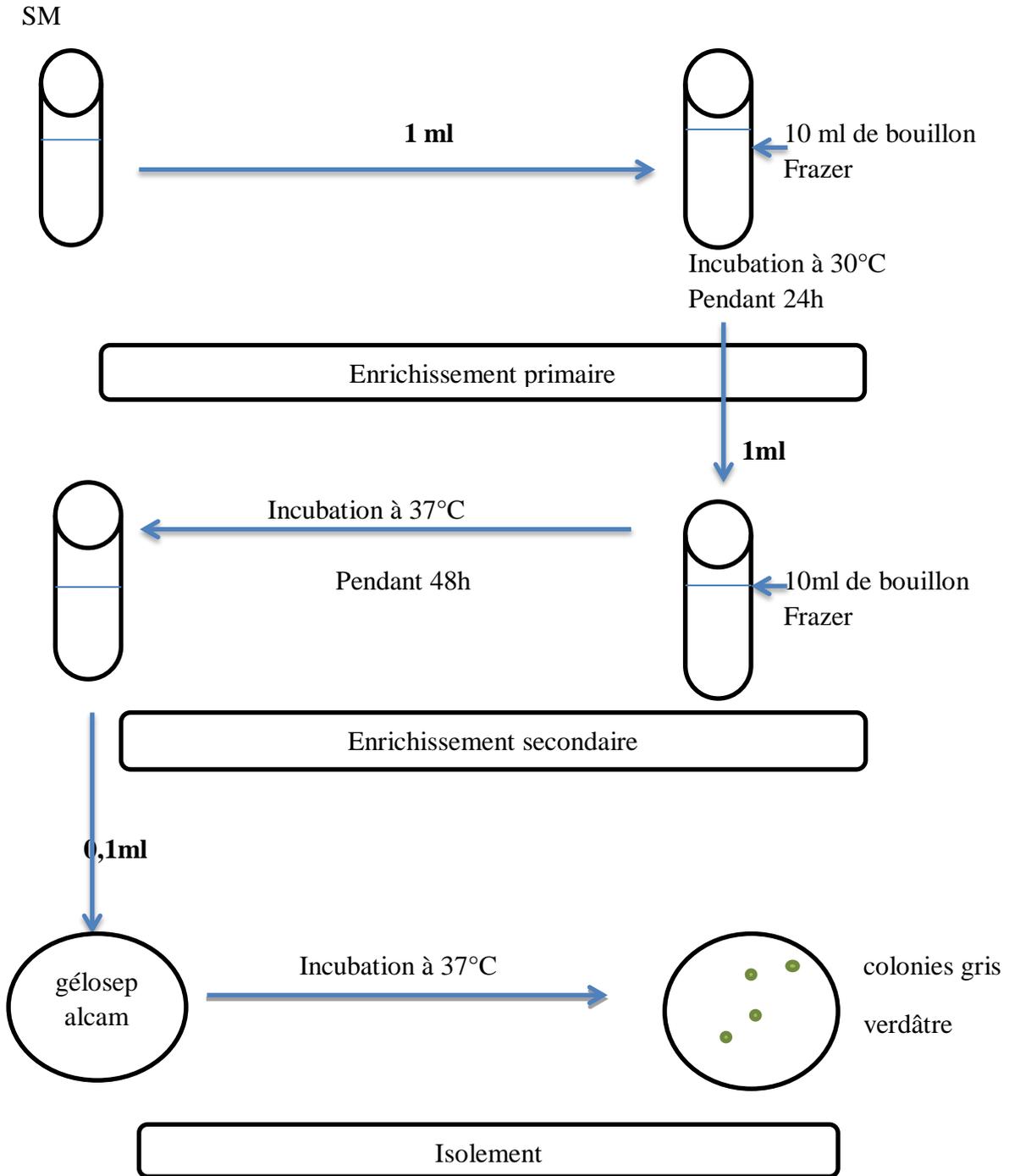
# Annexes

## • Recherche de salmonelle :



# Annexes

- Recherche de *Listeria monocytogene*



## Résumé

Le criquet pélerin *Schistocerca gregaria* est un orthoptère de la famille des Acrididae, il est largement consommable en Afrique, en Amérique de sud et en Europe en vue de ses valeurs nutritionnels.

Le présent travail consiste à une valorisation de la farine de *Schistocerca gregaria* qui a été préparée par broyage des criquets séchés et ceci par un essai d'incorporation de cette dernière à différentes doses dans le fromage fondu. Au préalable une analyse physicochimique et microbiologique de cette farine a été effectuée.

Les analyses physico-chimiques et microbiologiques de cette farine ont montré qu'elle est riche en protéines, lipides, minéraux et fibres. La farine ne renferme pas de germes pathogènes et des germes de contamination fécale. Les paramètres physico-chimiques, microbiologiques et organoleptiques effectués sur les fromages fondus additionnés de la farine à des différentes concentrations (0,1, 0,5 et 1g) montrent que la formulation avec la concentration de 0,1 g est la mieux appréciée pour sa couleur, sa texture et sa saveur par les dégustateurs.

Mots clés : *Schistocerca gregaria*, farine d'insectes, paramètres physico-chimiques, paramètres microbiologiques, incorporation, fromage fondu.

## ملخص

الجراد البري شيستوسيركا غريغاريا هو حشرة من فصيلة الاكريداي و هي قابلة للاستهلاك على نطاق واسع في افريقيا اوروبا و امريكا الجنوبية نظرا لقيمتها الغذائية .

يتكون العمل الحالي من تقييم طحين شيستوسيركا غريغاريا الذي تم تحضيره عن طريق طحن الجراد الجاف و هذا بمحاولة دمجه بتركيزات مختلفة في الجبن المعالج. قبل ذلك ، تم إجراء التحليل الفيزيائي والكيميائي والميكروبيولوجي لهذا الدقيق.

أظهرت التحليلات الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية لهذا الطحين أنه غني بالبروتينات والدهون والمعادن والألياف. لا يحتوي الدقيق على جراثيم مسببة للأمراض وجراثيم تلوث برازي. توضح نتائج التحليلات الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية والحسية التي أجريت على الجبن المعالج مع إضافة الدقيق بتركيزات مختلفة (0.1 و 0.5 و 1 جرام) أن التركيبة بتركيز 0.1 جرام هي الأفضل تقديرا من حيث لونها ولمسها ونكهتها من قبل المتذوقين.

الكلمات المفتاحية: شيستوسيركا غريغاريا دقيق الحشرات ، المقاييس الفيزيائية و الكيميائية ، المقاييس الميكروبيولوجية ، ادماج ، الجبن المطبوخ.

## Summary

The pelerin locust *Schistocerca gregaria* is an orthoptère of the acridae family, it is widely consumable in Africa, South America and Europe in view of its nutritional values.

The present work involves a valuation of the flour of *Schistocerca gregaria* which was prepared by grinding the dried locusts and this by an attempt to incorporate the latter at

different doses into the processed cheese. Beforehand, a physicochemical and microbiological analysis of this flour was carried out.

Physico-chemical and microbiological analyzes of this flour have shown that it is rich in proteins, lipids, minerals and fibers. The flour does not contain pathogenic germs and germs of faecal contamination. The physicochemical, microbiological and organoleptic parameters carried out on processed cheeses with the addition of flour at different concentrations (0.1, 0.5 and 1g) show that the formulation with the concentration of 0.1 g is most appreciated for its color, texture and flavor by tasters.

Key words: *Schistocerca gregaria*, insect meal, physico-chemical parameters, microbiological parameters, incorporation, processed cheese.