

République Algérienne Démocratique et Populaire

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique**

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Université M'hamed Bougara (Boumerdes)

جامعة أمحمد بوقرة- بومرداس



**Faculté des Sciences
Département d'Agronomie**

Mémoire de Fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master

Spécialité : Production et Nutrition Animales

Thème :

**Evolution des paramètres chimiques au cours de la
croissance du criquet et possibilité de son utilisation dans
l'alimentation des ruminants**

Présenté par :

Mme Amrouche - Arabi Zahoua

Devant le jury composé de :

Mr ADJLANE. N	Professeur (UMBB)	Président
Mme HENNEB. M	MCB (UMBB)	Examinatrice
Mme KAUCHE. S	MCA(UMBB)	Promotrice
Mme ALANE .F	Maître de recherche A (INRA)	Co-promotrice

Année universitaire : 2020/2021

République Algérienne Démocratique et Populaire
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique**

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Université M'hamed Bougara (Boumerdes)
جامعة أمحمد بوقرة- بومرداس



Faculté des Sciences
Département d'Agronomie

Mémoire de Fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master
Spécialité : Production et Nutrition Animales

Thème :

**Evolution des paramètres chimiques au cours de la
croissance du criquet et possibilité de son utilisation dans
l'alimentation des ruminants**

Présenté par :

Mme Amrouche - Arabi Zahoua

Devant le jury composé de :

Mr ADJLANE. N

Professeur (UMBB)

Président

Mme HENNEB. M

MCB (UMBB)

Examinatrice

Mme KAUCHE. S

MCA(UMBB)

Promotrice

Mme ALANE .F

Maître de recherche A(INRA)

Co-promotrice

Année universitaire : 2020/2021

Louange à ALLAH seigneur de l'univers

Je remercie respectueusement ma promotrice Dr . kaouche Soumia de l'Université de Boumerdes et ma co- promotrice, Dr.Alane farida de l'INRA pour tous les orientations et encouragements dont j'ai bénéficié tout au long de ce travail.

*Mon respect et ma gratitude vont également aux membres du jury :
Pr ADJLANE. N pour avoir bien voulu présider le jury
Dr Mme HENNEB pour avoir bien voulu examiner notre Travail.*

Nous n'oublions pas non plus nos enseignants, qui tout au long du cycle d'étude à l'Université, nous ont transmis leur savoir.

Nous tenons à remercier Mr Kerkouche R retraité de l'INRA initiateur de ce travail,

Mme Kaïdi N de l'INRA qui a mené l'élevage du criquet au sein de l'institut,

Mr. Bellatreche Mohammed qui mène l'élevage de criquet à l'INPV et surtout ma respectuse responsable qui ma donné la chance d'être un nombre de sa division ainsi que Mr El Bouyahiaoui qui est tous jours à notre service que dieu soit ainsi avec lui.

Est en final à tous mes collègue de la division qui ont attribuée à ce travaillé chacun à sa manière.

N°	Titre	Page
1	La durée en jour des stades de développement de l'acridien	13
2	Matériel utilisé au laboratoire d'analyse	26
3	Biométrie et couleur des individus de criquet pèlerin à analyser	30
4	Teneur en matière sèche et en cendre de quelques individus de criquet pèlerin	31
5	Teneur en matière grasse des individus de criquet pèlerin	32
6	Teneur en fibres des individus de criquet pèlerin	33
7	Teneur en matière azotée totale des individus de criquet pèlerin	34

Liste des figures

N°	Titre	Page
1	Forme solitaire, forme grégaire mature et forme grégaire immature du criquet	3
2	Différentes formes morphologiques de <i>S. gregaria</i>	3
3	Classification des insectes (position zoologique du criquet pèlerin)	4
4	Aire de répartition criquet pèlerin	5
5	Répartition du criquet marocain dans le monde	6
6	Zones de reproduction et de migration du criquet pèlerin.	8
7	La description du corps du criquet en vue latérale et dorsale adulte	9
8	Cycle biologique du criquet pèlerin à partir de l'œuf jusqu'au stade adulte	11
9	Les insectes comestibles	22
10	Chenilles mo pane	22
11	Elevage des asticots comme source de protéines	23

FAO : Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture

CIRAD : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement.

CLCPRO : Commission de lutte contre le criquet pèlerin dans la région occidentale

GIA: Global Industry Analysts

UE: Union européenne

ECI : Efficacité de conversion de nourriture ingérée

AD : Approximât digestibilité

ECD : Efficacité de conversion des aliments digérés

INPV : Institut national de la protection des végétaux.

MS : Matière sèche

MM : Matière minérale

MO : Matière organique

MAT : Matière azotée totale

g: gramme

CT : chitine

MS2 : matière sèche résiduelle

Remerciement	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Abréviations	
Introduction	1
Partie bibliographiques	
I.Généralité sur les criquets	3
I.1.Place du criquet pèlerin dans la classification zoologique	4
I.2. La position taxonomique du criquet Pèlerin	4
I.3. Répartition géographique	5
I.3.1. Au niveau mondial	5
I.3.1.1. Le criquet pèlerin	5
I.3.1.2. Criquet marocain	5
I.3.1.3. Le criquet migrateur	6
I.3.1.4. Le criquet nomade	6
I.3.1.5. Le criquet arboricole	6
I.3.1.6. Le criquet sénégalais	7
I.3.2. En Algérie	7
I.4.Morphologie	8
I.5. Cycle biologique du criquet pèlerin	10
I.6. Caractéristiques du cycle biologique du criquet pèlerin	11
II. Alimentation des orthoptères	12
II.1. Comportement alimentaire	12
II.1.1. La quête de nourriture	13
II.1.2. La prise de nourriture	13
II.1.3. Le choix des aliments	14
III. Importance économique	15
IV. La consommation du criquet	18
V. Les différents moyens de capture d insectes	19
V.1.Méthode de récolte des criquets et sauterelles	19
V.2.Avantages et inconvénients d'une récolte en milieu sauvage	19
VI. L'élevage d'insectes	20
VI.1. Définition d'un mini-élevage	21

VI.2. Les différents types d'élevage d'insectes	22
VI.3. Caractères d'insectes d'élevage	23
VI. 4. Stockage des insectes	24
Partie expérimentale	
VII - Matériels et méthode	25
VII-1.Matériel scientifique	25
VII-2.Matériel animal et méthode d'analyse	25
VII-2.1. L'origine des criquets	25
VII-2.2. Préparation des échantillons	25
VII.2.3. Détermination de la matière sèche (MS)	26
VI.2.4. Détermination de la matière minérale (MM)	26
VI.2.5. La matière organique	26
VI.2.6. Les matières azotées totales	26
VI.2.7.Taux de la chitine	26
VI.2.8.Teneur en matière grasse	27
VIII - Résultats et discussions	28
VIII- 1. La biométrie	28
VIII-2. La composition chimique	31
VIII-2.1. La teneur en matière sèche résiduelle et en matière minérale	31
VIII-2.2. La teneur en matière grasse	31
VIII- 2.3. La teneur en chitine	33
VIII-2.4. La teneur en protéines	34
Conclusion	36
Références bibliographiques	38
Résumé	

L'approvisionnement en aliments qualitatifs pour l'alimentation des ruminants est bien souvent le principal problème rencontré par les éleveurs et surtout les petits exploitants agricoles, est pour la couverture de ces besoins, spécifiquement les besoin azotés.

Les spécialistes du domaine fait ressortir la prépondérance des fourrages grossiers pour l'alimentation des ruminants qui sont d'ailleurs les plus grands consommateurs, vus leurs besoins ont matières azotées ; car leurs physiologie qui requiert la présence de protéines animales dans leur alimentation pour compenser l'impossibilité de synthèse certains acides aminés.

Ainsi, la couverture convenable des besoins alimentaires de ces animaux est tributaire d'ingrédients alimentaires spécifiques pourvoyeurs de protéines mais généralement très coûteux et peu durables. Ces sources potentielles de protéines représentées fréquemment par les farines de poisson, légumineuses à graines et les tourteaux d'oléagineux utilisées en alimentation animales qui sont confrontées à une compétition alimentaire avec les humains (soja) et à une flambée de prix sur les marchés, comme la crise de 1973 et celle de 2019 causée par le covid 19 entraîne une augmentation des coûts de production animale très inférieure aux variations anarchiques que connaissent les cours des produits animaux.

Alors que l'alimentation des ruminants dispose de solution de rechange telle que l'emploi des «insectes comestibles» car elles sont riche en acides aminés essentiels (46 à 96%) et la digestibilité des protéines d'insectes est très bonne (77 à 98 %) (Ramos- Elorduy *et al.*, 1997).

Selon van Huis *et al.* (2013), l'utilisation des invertébrés (insectes prioritairement) aussi bien en alimentation humaine qu'animale est recommandée pour des raisons économiques et de durabilité. Depuis quelques années, Les ressources alimentaires alternative que représentent les insectes comestibles constituent une solution durable en alimentation animale mais sont classées dans les sources peu connues et méconnues de protéines animales.

Elles ne sont pas onéreuses et n'impliquent pas pour le moment une compétition alimentaire avec l'alimentation des humains. Les insectes comme les asticots et termites, les vers de terre et les criquets peuvent servir de substituts aux sources classiques de protéines animales dans la mise au point d'une ration alimentaire équilibrée pour les animaux surtout les ruminants d'élevage (Ravindran et Bair, 1992 et 1993).

Au nombre des invertébrés, les criquets pèlerins requièrent un intérêt particulier dans notre étude à cause de son abondance (les invasions), la facilité de leur production et utilisation d'ailleurs tous les stades de développement sont consommés (Ramos-Elorduy *et al.*, 2012), sans oublier la chitine, blanche, souple, perméable à l'air et à l'eau découverte par les scientifiques chez le criquet, qui ont d'abord remarqué la présence de «substances amylacées» (Rouget, 1859), chez certains animaux puis ils ont constaté que la chitine semblait remplacer la cellulose (des végétaux) chez les champignons.

La cellulose peut être chimiquement découpée en molécules de glucose et par des réactifs, et avec presque les mêmes réactifs, la chitine peut être découpée en molécules de glucosamines. C'est effectivement le même type de liaison que celui qui relie les groupes de glucoses dans la molécule de cellulose (fabrication de papier) (Jeniaux *et al.*, 1993).

C'est dans cette optique que nous allons aborder notre travail dans lequel dans un premier temps, nous allons décrire les criquets, cependant, très mal connus. Après avoir exposé leur répartition géographique et leur morphologie, nous nous intéresserons ensuite, à leur consommation traditionnelle dans le monde avec les risques potentiels engendrés de leur consommation et on finira leurs comportements alimentaires.

Dans la partie expérimentale, une étude des paramètres biométriques ainsi que la composition chimique réalisée sur les individus du criquet pèlerin seront abordés.

I. Généralités sur les criquets :

Le criquet pèlerin appelé *shistocerca gregaria* (Forsk. ,1775) est un acridien avec une locuste grégaire, apte à se grégariser. Ce sont des espèces polymorphes (Uvarov ,1921). Selon la densité de la population leur comportement est différent.

Le criquet prend des couleurs, des caractères physiologiques et des formes différentes (figure 1). Ces différentes formes sont désignées sous le terme de phases. On parle de phase solitaire et de phase grégaire pour désigner les formes extrêmes (figure 2) . Ces différentes formes constituent une série continue: les phases extrêmes - solitaire et grégaire qui sont réunies par des formes intermédiaires ou transies (CIRAD, 2007).

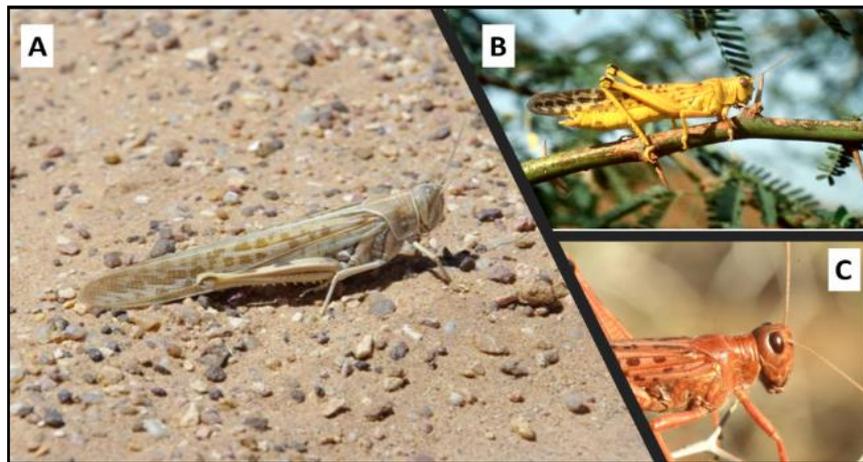


Figure 1 : (A) forme solitaire, (B) forme grégaire mature, (C) forme grégaire immature (CIRAD, 2007).

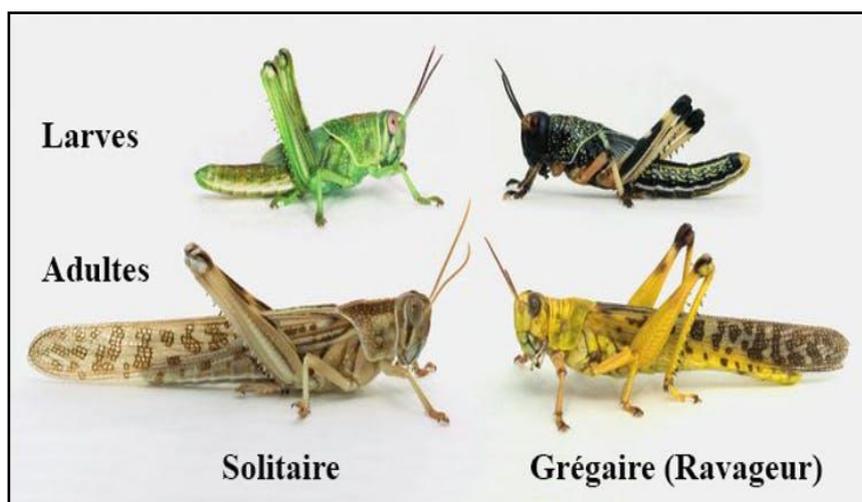


Figure 2 : Différentes formes morphologiques de *S.gregaria* (Les stades larvaires et adultes).

I.1. Place du criquet pèlerin dans la classification zoologique :

Le criquet appartient au règne Animal, l'embrochement des arthropodes et sous embrochement des hexapodes et à la classe des insectes (figure 3).

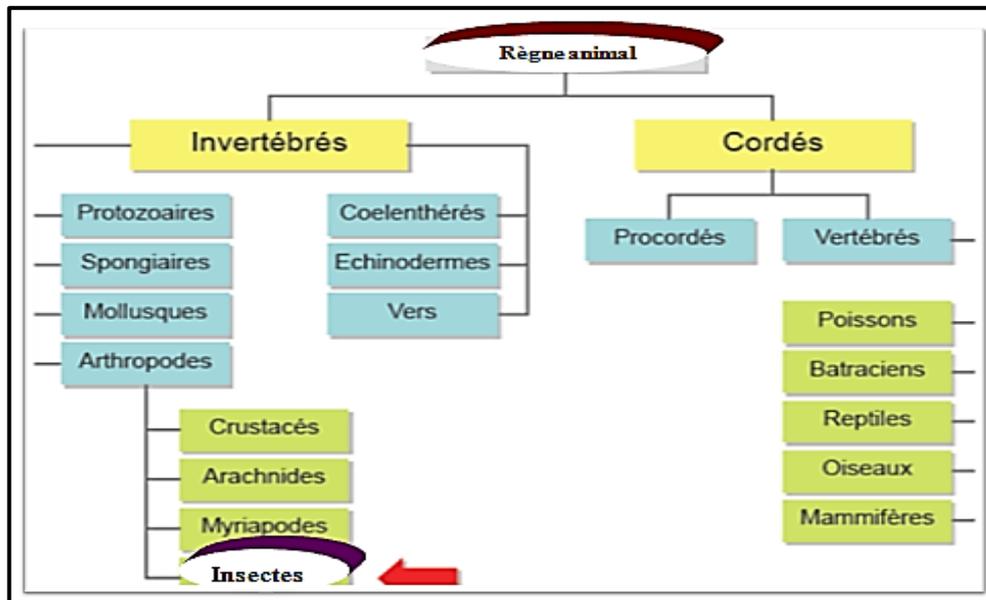


Figure 3 : Classification des insectes (position zoologique du criquet pèlerin)

I.2. La position taxonomique du criquet pèlerin :

Classe	Insectes
Ordre	<i>Orthoptères</i>
Sous- ordre	<i>Caelifères</i>
Super-famille	<i>Acridoidea</i>
Sous-famille	<i>Cyrtacanthacridinae</i>
Genre	<i>Schistocerca</i>
Espèce	<i>gregaria</i>

Schistocerca gregaria, encore appelé le criquet pèlerin est une espèce d'insectes orthoptères de la famille des *Acrididae*. Il fait partie des *locustes*, tout comme le criquet migrateur (Défaut, 2001).

I.3. Répartition géographique :

I.3.1. Au niveau mondiale :

Il existe au moins 12 000 espèces d'acridiens (famille des criquets) dont environ 500 sont nuisibles à l'agriculture. Parmi eux un groupe appelé « criquets - ravageurs » est composé de 5 types différents : le criquet pèlerin, le criquet migrateur, le criquet nomade, le criquet arboricole et le criquet sénégalais. Ces différentes espèces sont les plus répandues en Afrique (Didier, 2004).

I.3.1.1. Le criquet pèlerin :

Couvre l'Afrique au nord de l'équateur, le Moyen-Orient, les péninsules arabique et indo-pakistanaise (figure 4). Cette espèce, lors des invasions, n'épargne aucune culture. Elle endommage gravement la végétation et l'agriculture, prive le bétail de pâturage et peut causer par sa voracité une famine (Didier, 2004).

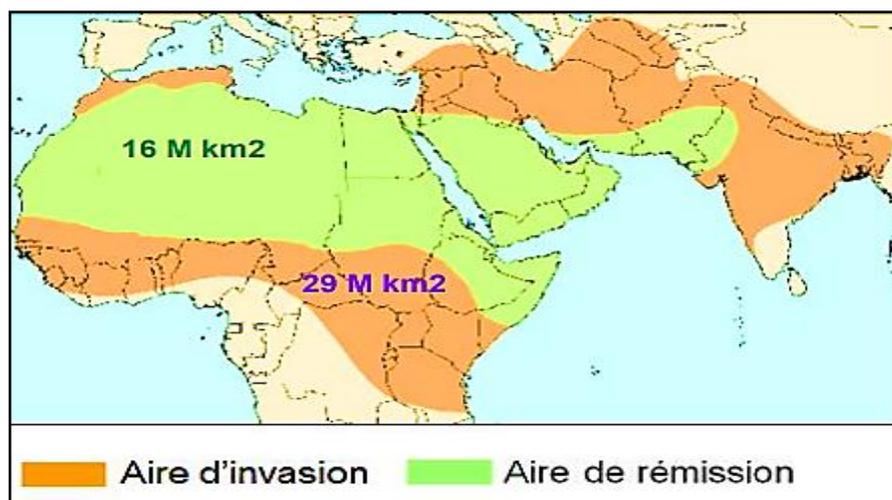


Figure 4 : Aire de répartition criquet pèlerin (Lecoq, 2012)

I.3.1.2. Le criquet marocain :

Le criquet marocain est réparti dans l'ensemble du pourtour méditerranéen et en Russie. On peut l'observer également au niveau des Iles Canaries jusque l'Asie centrale soviétique en passant par le Maroc, l'Algérie, la France, l'Espagne, la Turquie, la Syrie, l'Irak, l'Iran et l'Afghanistan (figure 5) (Chaouch, 2009).

Selon Rafiei *et al.* (2016), ce ravageur est réparti dans toute l'Europe, en Afrique, en Asi

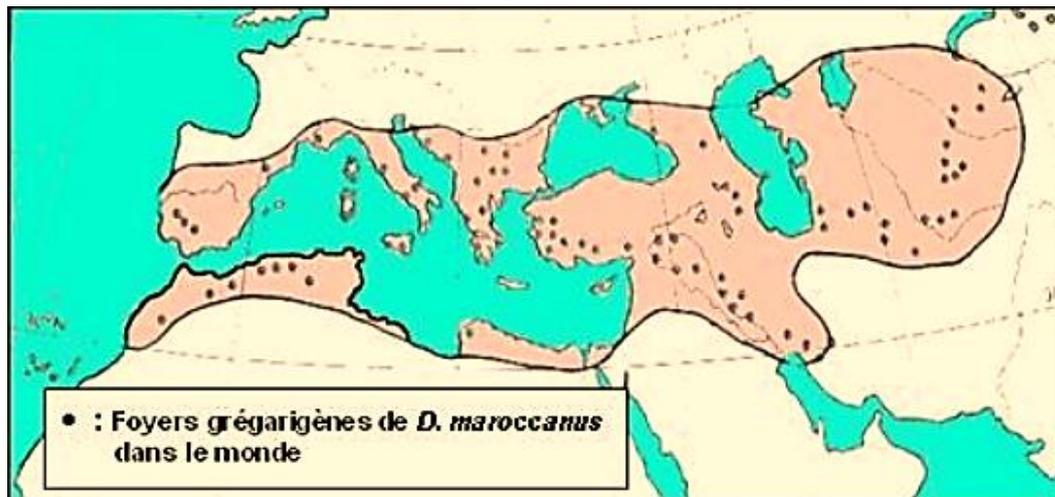


Figure 5 : Répartition du criquet marocain dans le monde (Chaouch, 2009).

I.3.1.3. Le criquet migrateur :

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

I.3.1.4. Le criquet nomade :

C'est une espèce largement répandue en Afrique australe (Zambie, Tanzanie, Malawi). Elle est connue sur l'île de la Réunion et à Madagascar. Au Sahel, le delta central du fleuve Niger au Mali, le pourtour du lac Tchad et dans une moindre mesure les îles du Cap-Vert abritent des souches du criquet-nomade. Il recherche les grandes étendues herbeuses, les bas-fonds et les plaines inondées par saison (Didier, 2004).

I.3.1.5. Le criquet arboricole :

Se distingue par la composition d'essaims denses et sombres agglutinés de jour sur des arbres. En Egypte, en Afrique de l'est, en Arabie et en Afrique du Sud cette espèce est bien connue et regroupe une douzaine de sous-espèces. Les essaims se déplacent sur de petites distances et surtout de nuit. Les criquets arboricoles sont des ravageurs occasionnels d'arbres fruitiers, d'agrumes, de maïs, de sorgho, de manioc et de coton (Didier, 2004).

I.3.1.6. Le criquet sénégalais :

Se répand dans les zones sahéliennes, des îles du Cap-Vert à la corne de l'Afrique, en Arabie, en Inde, au Pakistan et au Moyen-Orient. Ils s'attaquent aux cultures céréalières dans les zones tropicales sèches (Didier, 2004).

I.3.2. En Algérie :

De par sa situation géographique et de l'étendue de son territoire, l'Algérie, occupe une place prépondérante, dans l'aire d'habitat de certains acridiens. On y trouve plusieurs espèces grégaires et beaucoup d'autre non grégaires ou sautereaux provoquent des dégâts parfois très importants sur différentes cultures (Ould El Hadj, 2001).

Parmi les espèces acridiennes non grégaires rencontrées en Algérie nous avons *Calliptamus barbarus*, *Anacridium egyptium*, *Ocneridia volxemii* et les espèces acridiennes grégaires : *Locusta migratoria*, *Schistocerca gregaria* et *Doisioctaurus maroccanus*.

Au cours de son histoire, l'Algérie a subi plusieurs invasions de criquets. L'invasion de 1929 des essaims de criquets vers les hauts plateaux algériens s'est produite par deux voies de pénétration à l'ouest par le Maroc et au sud par les montagnes de Ziban (Atia *et al.*, 2018).

Les régions les plus endommagées étaient celles de Tlemcen, Oron, Mostaganem, Mascara et Médéa (Chopard, 1943). Vers le début du mois de février 1956 de nouveaux essaims de *Schistocerca gregaria* venaient directement de la Libye, survolaient les alentours d'Illizi avant de s'abattre à Constantine.

Vers la fin mai, les sauterelles arrivaient à pulluler sur le nord Algérien. Vers le mois de mars 1988, une nouvelle alerte a été donnée en Algérie (Medane, 2013).

Doumandji –Mitiche, (1994) ont signalé la présence de 40 à 50% de sauterelles en période d'accouplement à Adrar. Ces essaims arrivaient principalement du nord de la Mauritanie. Quelques jours plus tard une autre pénétration de Libye survolait Illizi, Ouargla et progressait vers les autres régions Figure 5.

Au sein de la zone de rémission, les criquets pèlerins se déplacent avec les vents. Ceux-ci les amènent dans des zones déterminées au cours de l'été (Sahel et désert indo-pakistanaï) et au

cours de l'hiver et du printemps (Afrique du Nord-Ouest, rives de la mer Rouge et Balouchistan).

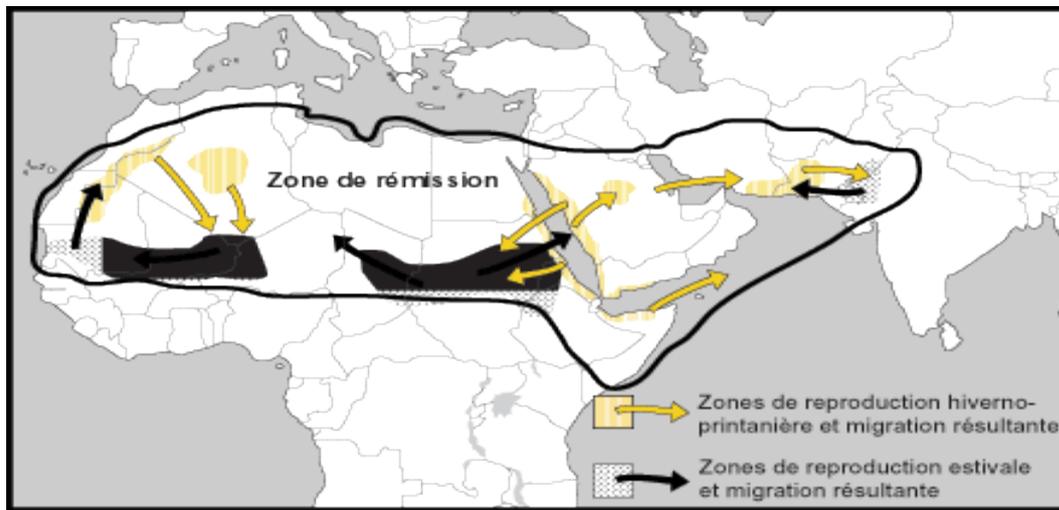


Figure 5. Zones de reproduction et de migration du criquet pèlerin.

(Symmons et Cressman., 2001).

I.4. Morphologie :

Le criquet pèlerin (*Schistocerca gregaria*) appartient à l'ordre des orthoptères dont font également partie les perce-oreilles, les mantes religieuses, les termites ou encore les blattes. Tous ces insectes, réunis dans les superordres des orthoptéroïdes, ont en commun des pièces buccales broyeuses. Le criquet pèlerin est un membre de la famille des acrididés (ou acridiens) migrateur (Défaut, 2001).

D'après (Duranton et Lecoq, 1990), le criquet pèlerin est un acridien de grande taille. Les femelles mesurent de 70 à 90 mm de long, les mâles de 60 à 75 mm. Les antennes sont filiformes.

Le corps du criquet se compose de trois parties bien distinctes (figure. 6): la tête, le thorax et l'abdomen. La tête brandit une paire d'antennes et deux grands yeux à facettes. Le thorax comprend trois segments prolongés chacun par une paire de pattes. L'extrémité de l'abdomen se pare de très nombreux poils mobiles qui lui communiquent toutes sortes d'informations sur son orientation dans l'espace et son environnement.

Ce gros insecte sauteur arbore deux élytres bien développés et parsemés de taches noires ainsi que deux longues ailes transparentes et triangulaires (Labbé, 2019 ; Mag des animaux, 2017-2021).

Le revêtement externe du corps constitue le tégument, sorte de peau rigide et insensible. Il est généralement très dur et agencé en segments articulés les uns aux autres. Il comprend une couche de cellules hypodermiques et des produits de sécrétions formant la cuticule (Cirad, 2007).

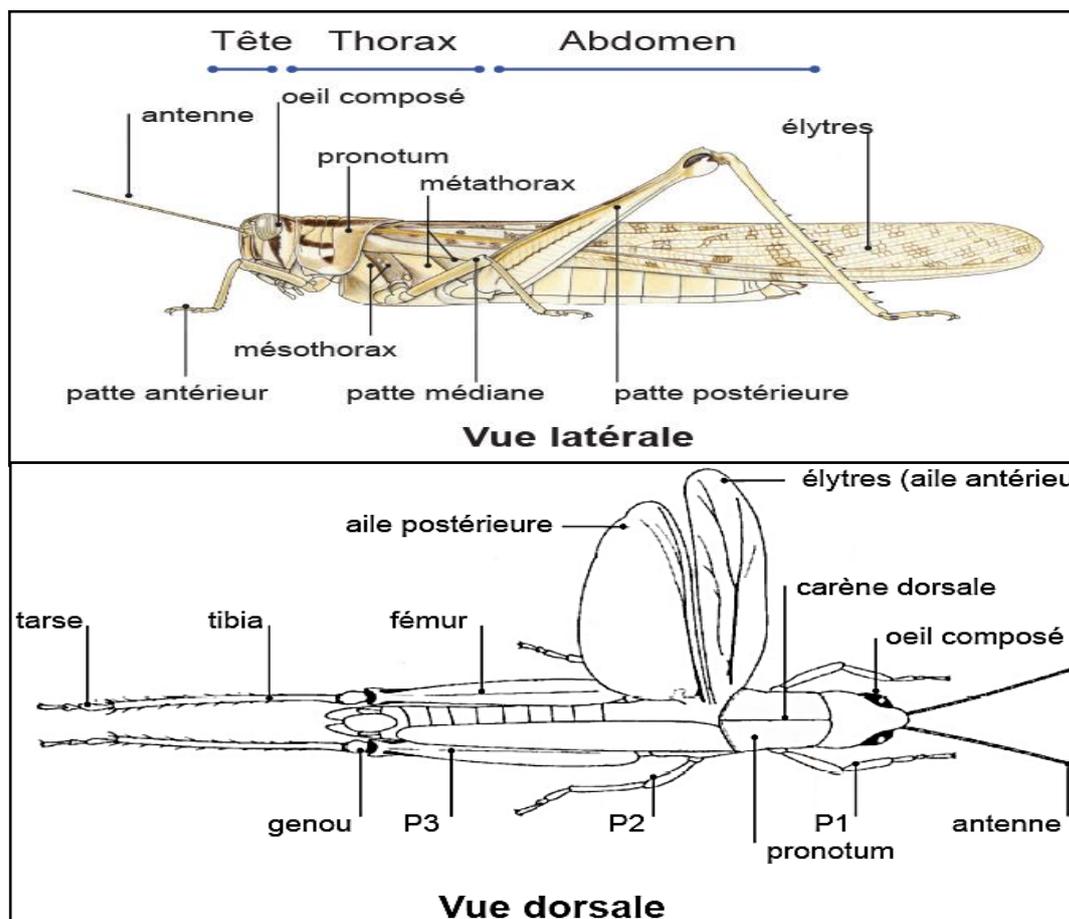


Figure 6 : La description du corps du criquet en vue latérale et dorsale (CLCPRO, 2016).

La cuticule forme un véritable squelette externe articulé grâce à l'existence de zones souples entre les différentes pièces sclérifiées. Des invaginations au niveau de certaines sutures forment des apodèmes sur lesquels s'insèrent des muscles. Cette carapace impose un mode de croissance particulier par mues successives (Chapman, 1972).

La cuticule est formée de différentes couches superposées qui sont, de l'extérieur vers l'intérieur du corps :

- l'épicuticule, couche très fine (1 micron) comprenant essentiellement des cires,
- l'exocuticule,
- l'endocuticule, qui avec l'exocuticule forme la procuticule.

Le tégument présente souvent des ornements tels que des piquants, des épines, des spicules qui sont des phanères fixes. On les oppose souvent aux phanères mobiles (soies sensorielles, soies glandulaires).

Les phanères fixes sont souvent de simples épaisissements de la cuticule. Les phanères mobiles sont de structure plus complexe. Des cellules épidermiques spécialisées, sensorielles ou sécrétrices, entrent dans leur formation). La dureté de la cuticule provient du tannage de la fraction protéique (Raccard-Schoeller, 1980).

Les pigments cubiculaires sont essentiellement formés de mélanine avec des granules jaunes, rouges, bruns et noirs. Ces pigments sont le plus souvent des protéines spécifiques qui peuvent parfois être d'origine végétale (chlorophylles, caroténoïdes, anthocyanes) et sont alors stockés après ingestion des plantes tout en restant intacts (Cirad, 2007).

La pigmentation générale peut changer au cours de la vie : premiers stades larvaires bruns, puis derniers stades verts. L'amplitude des variations de coloration dépend de l'état phasaire des espèces gregariaptés. Les criquets en phase solitaire présentent des colorations variées, ajustées à leur environnement du moment, bien davantage que les criquets en phase grégaire (Launois –Luong et Lecop, 1993).

I.5. Cycle biologique du criquet :

Le Criquet pèlerin, comme tous les autres acridiens, passe par trois états successifs : l'œuf, la larve et l'ailé. Les œufs sont pondus par les femelles. Lors de l'éclosion, naissent de jeunes criquets dépourvus d'ailes, appelés larves. Ces dernières 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 et la période qui sépare deux mues successives s'appelle un stade.

La dernière mue, du stade larvaire (5 ou 6) dépourvu d'ailes à l'imago, ou ailé, s'appelle la mue imaginale. Le nouvel ailé, appelé «jeune ailé», doit attendre le séchage et le durcissement de ses ailes avant de pouvoir voler.

Les ailés ne muent pas et leur taille ne s'accroît donc pas mais leur poids augmente progressivement. Les ailés qui peuvent voler sont, au départ, sexuellement immatures. Quand ils deviennent sexuellement matures, ils peuvent s'accoupler et pondre des œufs (Figure 7) (Symmons et Cressman, 2001).

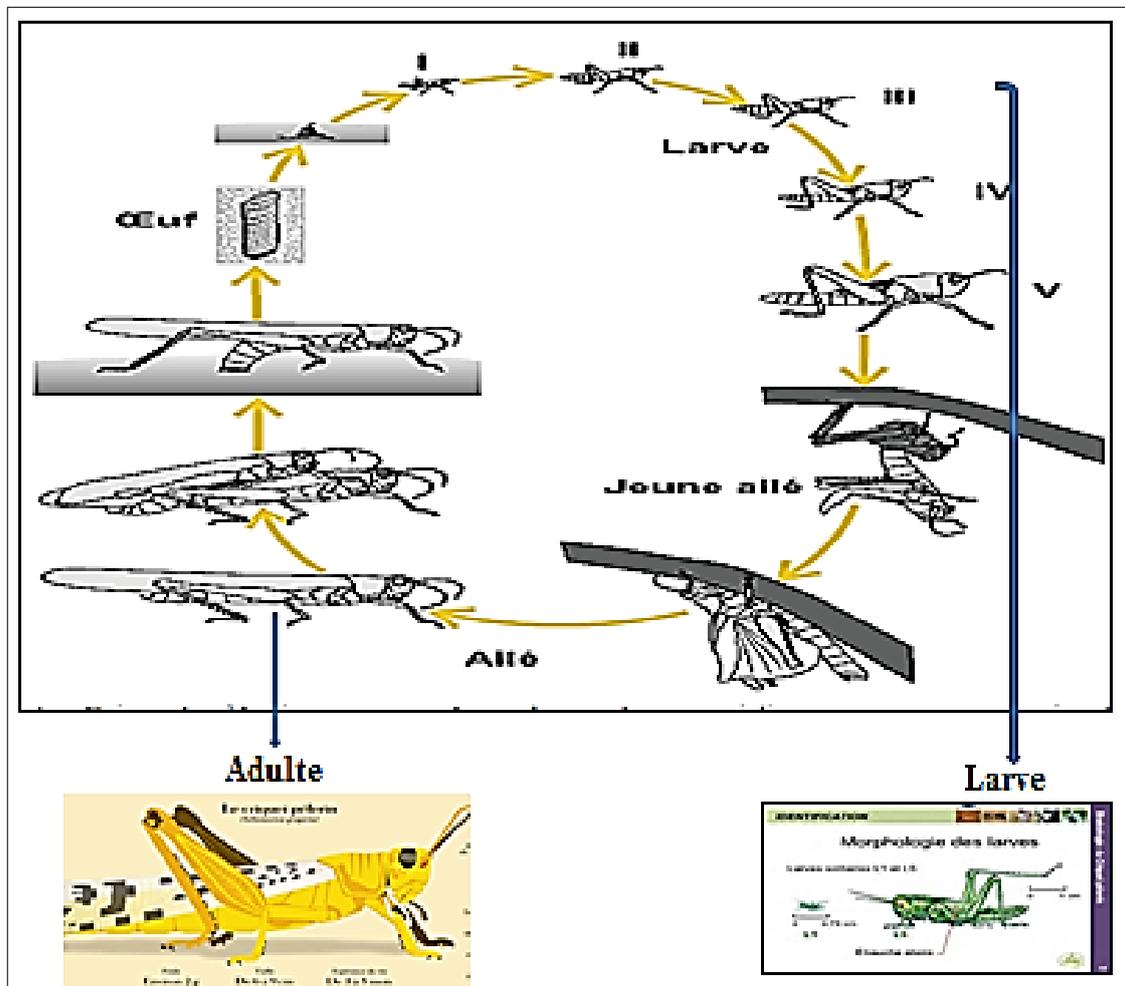


Figure 7 : Cycle biologique du criquet pèlerin à partir de l'œuf jusqu'au stade adulte (Symmons et Cressman, 2001) (Modifié).

I.6 . Caractéristiques du cycle biologique du criquet pèlerin :

Le tableau 1 comporte la durée en jour de chaque stade de croissance du criquet avant d'atteindre l'âge adulte .Ce détail est important dans la lutte contre l'invasion des essaims .

Tableau 1 : Duré en jour des stades de développement de l'acridien (FAO, 2010).

Stades	Œuf, Larve , Ailé	Durée
	oeuf	10 à 65 jours
	larve	24 à 95 jours (36 jours en moyenne)
	ailé	2 mois et demi à 5 mois
	Ponte à mue imagénale	40 à 50 jours
	Maturation des ailés	3 semaines à 9 mois (Moyenne de 2 à 4 mois)
	Total	2 à 6 mois
Mues	5 à 6 (solitaire), 5 (grégaire)	-
Phases	Solitaire,transiens,grégaire	-
Zone affectée	16 millions de km ² (rémission)	-
	29 millions de km ² (invasion)	-

II. Alimentation des orthoptères :

Le spectre alimentaire d'un acridien est l'alimentation indispensable quantitativement et qualitativement pour répondre aux besoins de son organisme dans le temps. L'impératif primordial de la prise de nourriture est de couvrir les besoins calorifiques, de telle sorte que le bilan recette- dépense s'équilibre (Ould El Hadj, 2001).

Malgré sa polyphagie, le criquet pèlerin manifeste des tendances alimentaires vers des plantes appartenant à des familles botaniques multiples, notamment vers les *Poaceae* (Kemassi *et al.*, 2014).

Cependant la composition floristique influence son régime dans le sens où elle limite les possibilités du choix. Le régime alimentaire diffère peu en fonction du sexe de l'individu dans le même biotope. Il paraît que le régime alimentaire du criquet pèlerin dépend à la fois de la composition du tapis végétal et de ses préférences qui impliquent un choix lors de sa quête de nourritures (Benrima, 2010).

II.1. Comportement alimentaire :

Le comportement alimentaire des acridiens peut être décrit en considérant trois séquences bien distinctes dans le temps : la quête alimentaire, le choix des aliments et la prise de nourritures suivie d'ingestion.

II .1.1. La quête de nourriture :

La quête des plantes consommables est d'une difficulté variable selon les exigences des insectes, le milieu où ils se trouvent et leurs capacités de détection de la nourriture. L'un des cas les plus simples de quête alimentaire est celui des espèces qui vivent en permanence sur la plante- hôte *Poekilocerus hieroglyphicus* effectue tout son développement sur *Calotropis procera* ou *Leptadenia pyrotechnica*.

II .1.2. La prise de nourriture :

La probabilité de découverte de nourriture dépend des chances de rencontre entre l'insecte et la plante. Elle est liée :

- Au volume relatif du végétal par rapport au tapis végétal
- Capacités déambulatoires du criquet
- Faculté de détecter à distance les espèces végétales intéressantes.

Pour ce repérage, le criquet dispose de la vision et de l'odorat grâce à ses chimiorécepteurs sur les antennes et les pièces buccales, Il est estimé à 15000 chez le criquet migrateur adulte et à 12500 chez le criquet pèlerin. Le nombre de sensilles consacrées au goût et l'odorat est très élevé. La prise de nourriture est inhibée par le froid, elle devient presque nulle quand la température du corps descend en dessous de 20°C (Cirad, 2007).

Les repas durent quelques minutes en continu. Ils sont séparés par des intervalles d'une heure et plus. S'il n'est pas perturbé, le criquet mange jusqu'à ce que son jabot soit plein. Ce qui représente environ 15% du poids de son corps (Cirad, 2007).

Un seul kilomètre carré d'essaim peut contenir jusqu'à 80 millions d'adultes qui consomment en une journée la même quantité de nourriture que 35 000 personnes (FAO, 2021) .

Le criquet pèlerin est un végétarien polyphagie (feuilles) non granivore : il se nourrit de plantes herbacées - notamment des crucifères - et de feuilles d'arbres ou d'arbustes, mais pas de graminées. Ses deux puissantes mandibules se composent d'une partie incisive armée de dents pointues qui découpent l'aliment ainsi que d'une partie molaire qui broie.

Cette caractéristique fait de l'insecte un puissant défoliateur dans les régions où il pullule. Un criquet pèlerin adulte consomme son propre poids – environ 2 grammes – de feuilles

quotidiennement. Une larve avale également l'équivalent de son poids chaque jour ceci est conditionné par la taille et l'âge physiologique des individus (Mag des animaux, 2017-2021).

II.1. 3. Le choix des aliments :

Le choix alimentaire dépend des tolérances et des exigences de chaque espèce. Trois facteurs de différenciation interviennent dans la perception du tapis végétal : sa composition floristique, sa structure et son état phénologique.

Les conditions d'environnement propres à chaque groupement végétal exercent un rôle dans la distribution des acridiens. Chaque espèce de criquet manifeste un choix dans ces biotopes pour satisfaire ses besoins relationnels, nutritionnels et reproducteurs (Duranton *et al.*, 1982).

Lorsqu'un acridien consomme un grand nombre de plantes, il est qualifié d'euryphage.

Dès que l'acridien touche une plante, les mécanorécepteurs et les chimiorécepteurs de contact entrent en action. Les stimuli physiques (pilosité, dureté) et les stimuli chimiques (substances volatiles, cires imprégnées de phagostimulants ou de substances répulsives), renseignent l'insecte sur la nature de la plante. Il en déduit l'attitude à adopter (Cirad, 2007).

S'il n'accepte qu'un petit nombre, il est dit sténophage. On distingue aussi les acridiens qui se nourrissent exclusivement de graminées, dits graminivores, de ceux qui ingèrent des plantes herbacées non graminéennes, dits forbivores (Duranto *et al.*, 1982).

La nourriture est un facteur écologique important. Suivant sa qualité et son abondance, elle interviendra en modifiant la fécondité, la vitesse de développement et la mortalité des animaux. En outre, la diversification des régimes alimentaires est à l'origine de nombreuses adaptations morphologiques, physiologiques et écologiques (Dajoz, 1971).

Les acridiens sont en majorité euryphages. De ce fait, ils ne sont pas limités dans leur quête de nourriture. Généralement ils se contentent de ce qu'ils trouvent surtout s'ils sont affamés. Les limitations nutritionnelles des sténophages sont d'ordre qualitatif et quantitatif. Bien qu'euryphage, *Schistocerca gregaria* est contrarié par deux terpénoïdes, l'azadirachtine et le meliantriol, que l'on trouve dans *Azadirachta indica* et *Melia azedarach*.

Des extraits de graines et de fruits de ces plantes ont été appliqués avec succès sur des cultures pour les protéger des attaques de ce ravageur (*lutte biologique efficace*) (Cirad,

2007). Il paraît que le régime alimentaire du criquet pèlerin varie en fonction de la composition du tapis végétal et du choix manifesté pendant la prise de nourriture.

Les *Poaceae* et en particulier les espèces cultivées dont l'orge (*Hordeum vulgare*) et le blé dur (*Triticum durum*) semblent les plus préférées que d'autres espèces végétales appartenant aux autres familles botaniques (Kemassi, 2014).

Kaidi (2007) par analyse microscopique des fèces du criquet pèlerin de la région d'Ahaggar a identifiée 17 espèces végétales chez les mâles et les femelles à savoir : les *Amaranthaceae*, *Asclepiadaceae*, *Brassicaceae*, *Capparidaceae*, *Euphorbiaceae*, *Fabaceae*, *Poaceae*, *Salvadoraceae*, *Rhamnaceae* et *Zygophyllaceae*.

III. Importance économique :

La qualification « dangereux » est appliquée aux espèces susceptibles de faire des dégâts sur les cultures vivrières ou industrielles. L'ingestion par les criquets de pesticides ou de végétaux toxiques peut provoquer des empoisonnements chez l'Homme lorsque le dernier en consomme. Mais aucune maladie ne paraît devoir être transmise aux Hommes et aux plantes par les criquets (Benkenana, 2006).

Encore quelques coïncidences aient été notées entre des arrivées massives des criquets et des maladies respiratoires chez l'Homme, des cas d'allergie ont été relevés. Les acridiens ont toujours été considérés comme un fléau et une catastrophe naturelle (Tankaridan et badjo, 2001). La menace acridienne a laissé des traces indélébiles dans la mémoire des Hommes, en effet les dégâts causés par les acridiens sont suivis de famine dans les pays pauvres.

Dans un passé récent, les acridiens ont occupé à plusieurs reprises. Le premier plan de l'actualité des ravageurs : pullulations des sautereaux dans le Sahel en 1974 et 1975 puis du criquet pèlerin « *Schistocera gregaria* » autour de la mer rouge et du criquet migrateur « *locusta migratoria* » dans le Sud du bassin du lac Tchad en 1979 et 1980 (Appert et Deuse, 1982).

En 1986, les pertes agricoles causées par les acridiens dans sept pays du Sahel ont été estimées à 77 millions de dollars soit 8% de la valeur commerciale des céréales. Le coût de la lutte anti-acridienne est revenu à 31 millions de dollars (Ould El Hadj, 1991). Le total des pertes annuelles dues aux sautereaux est suffisamment élevé pour que ces insectes soient classés comme des ennemis majeurs des cultures.

Cette, perte diffère en fonction de l'espèce, en raison de sa densité, de ses besoins alimentaires et de la plante cultivée attaquée. Pour combattre cet acridien, les 57 pays envahis, qui couvrent plus de 20 % des terres émergées, par ce ravageur ont mobilisé des moyens importants (avions, armée, véhicules etc...).

Des opérations de lutte chimique intensive terrestre et aérienne ont été engagées dans les zones infestées par l'utilisation de tout un arsenal d'insecticides (Bissaad *et al.*, 2010). D'après Ould El Hadj, (2002), en 1995, malgré une accalmie dans tout le sahel, on a assisté à de fortes concentrations de *Schistocerca gregaria* dans la Wilaya d'Adrar. Plus de 10.000 hectares ont été traités à cet effet et près de 11.000 litres d'insecticides ont été utilisés, sans arriver à bout de ce locuste.

En 2004, les besoins nécessaires pour contenir la menace acridienne en Afrique de l'Ouest 9 millions de dollars, en début d'année et atteindre les 100 millions de dollars en septembre 2004 (Atia et Mansouri, 2018).

D'après Ould El Hadj, (2002), les espèces acridiennes susceptibles de revêtir une importance économique par l'ampleur des dégâts qu'elles peuvent occasionner aux cultures sont ; *Schistocerca gregaria* , *Locusta migratoria* , *Oedaleus senegalensis* (Krauss, 1877), *Sphingonotus* (Walker, 1870). *Acrotylus patruelis patruelis* (Schaffer, 1838) et *Pyrgomorpha cognata* (Krauss, 1877).

Les opérations de lutte curative nécessitent des moyens énormes et des coûts élevés. Par ailleurs, les importantes quantités de pesticides utilisées ne peuvent rester sans effet sur la santé et l'environnement. Il est donc urgent d'explorer d'autres formes de lutte afin de mieux préserver la santé et l'environnement (zohra *et al.*, 2012).

Le *Metarhizium anisopliae* var *acridum* (code IMI : 300189) dont le nom commercial est le Green Muscle retrouvé sur *Ornithacris cavroisi* (Fatima *et al.*, 2017) (Orthoptera, Cyrtacanthacridi nae) au Niger s'est avéré le plus virulent (Zakaria et Sagnia, 2003).

Les traitements effectués par ce champignon en plein champ ont montré qu'il agit en 10 jours et que tous les stades de l'acridien sont sensibles (Greathead *et al.*, 1994). Lors de sa pénétration dans le corps de l'insecte, ce champignon secrète des enzymes microbiennes inhibitrices telles que les protéases et les chitinases.

Ces dernières peuvent inhiber la formation de la cuticule en induisant une exuviation anormale et mortelle de l'acridien.

La découverte de la chitine date du 18^{ème} siècle et le gain réel de son intérêt en 1970, puisqu'elle est absente chez les végétaux (Truong *et al.*, 2007). Elle est présente dans les parois fongiques, et dans les structures exo squelettiques des invertébrés. Ce polymère est traditionnellement extrait à partir des carapaces des crustacés, pour des domaines d'application variés, tels que le domaine pharmaceutique, cosmétique, diététique et le traitement des eaux.

Si la chitine a été mise en évidence chez les hydrozoaires, les nématodes, les rotifères et les mollusques, c'est sans conteste chez les arthropodes (crustacés, arachnides, myriapodes, insectes) qu'elle est la mieux représentée. Chez ces derniers, la chitine complexée à des protéines confère des propriétés de rigidité ou de souplesse aux structures exo-squelettiques: cuticule, trachées, tube digestif (proctodeum, stomodeum et membrane péritrophique).

La chitine n'étant produite ni par les plantes ni par les vertébrés, son métabolisme constitue donc une cible d'intérêt pour la production de nouveaux composés antifongiques et insecticides ne présentant pas de toxicité pour les vertébrés. Sa synthèse ou sa dégradation constituent donc des cibles privilégiées dans la lutte contre les pathogènes et les ravageurs des cultures (Schwarz et Moussian., 2007).

Ce polymère serait le second le plus abondant sur terre, à la fois dans le milieu terrestre et marin derrière la cellulose. Sa production annuelle mondiale par les crustacés marins pour fabriquer le chitosane est estimée à $2,3 \times 10^9$ t (environ 1 g/an/m²) (Jeniaux *et al.*, 1993) dont : 90 % est imputée au zooplancton et au krill et 2×10^6 t/an aux grands décapodes (crabes et langoustes).

On estime que 75 000 t/an de chitine pourraient être fournies par les captures de crustacés à l'échelle mondiale (https://www.aquaportail.com/definition-1379_-chitine.html). La chitine précipitée est utilisée comme milieu de culture des bactéries. Son application concerne aussi la fabrication de bios films (Abdallah, 2002).

En 2006, environ 60 % de la chitine a été convertie en glucosamine. Ceci place la glucosamine au premier rang des volumes de ventes. Le second dérivé est le chitosan.

Les perspectives tendent vers une très légère diminution de la part des « autres dérivés » au profit de la glucosamine et du chitosan (GIA, 2010).

Plusieurs domaines d'utilisation de la chitine et son dérivé le chitosan existent: antimicrobien, antioxydant, structurant, texturant, émulsifiant, ajoutent arôme et couleur, fibres, hypocholestérolémiant, contre l'intolérance au lactose, réduction de l'absorption des lipides (Crini *et al.*, 2009).

IV. La consommation du criquet

Actuellement, 2086 espèces d'insectes sont consommées par environ 3071 groupes ethniques dans 130 pays du monde (Caparros *et al.*, 2015). Dans les pays de régions tropicales, Afrique, Asie, Australie et Amérique du Sud, l'entomophagie était traditionnellement développée dans les populations rurales, qui trouvaient dans les insectes récoltés dans la nature une source de protéines abondante et très bon marché (Barre, Caze-Subra *et al.*, 2014).

Le criquet, un insecte comestible déjà consommé dans de très nombreuses régions du globe : en Afrique, en Asie, en Australie ou tout au long du pourtour méditerranéen. En Thaïlande, les criquets frits se dégustent tels quels sur le marché alors qu'au Mexique, ils sont consommés additionnés de piments, d'ail et de jus de citron.

A Madagascar, au Congo et au Cameroun par-exemple en période de forte population, les criquets sont vendus pour être consommés. Au Lesotho, le criquet est principalement utilisé comme nourriture pour voyager. Il est rôti sur de la braise, après en avoir retiré la tête, ainsi que les pattes arrières. Puis il est écrasé à l'aide d'un pilon dans le but d'obtenir une poudre fine, qui peut être conservée pendant longtemps. Les criquets peuvent également être séchés pour une consommation ultérieure.

Entre intérêt nutritionnel et écologique, les raisons de pratiquer l'entomophagie ou plus particulièrement de manger des criquets ne manquent pas. En effet, les bienfaits des insectes sur notre environnement sont très nombreux ; que ce soit pour les ressources en eau en terres agricoles ou en nourriture. L'élevage d'insectes est bien plus intéressant que celui du bétail traditionnel.

Les insectes produisent nettement moins de gaz à effet de serre que l'élevage industriel des ruminants ce qui est un point à ne pas négliger, compte tenu du réchauffement climatique actuel auquel le bétail participe grandement. Enfin, d'un point de vue nutritionnel, les insectes

sont très riches en protéines, vitamines et divers minéraux et pauvres en matières grasses. De vrais atouts pour construire des repas sains et intéressants au niveau nutritionnel.

Le poids sec d'un criquet adulte ailé pèlerin par exemple se compose de 62% de protéines, de 17% de matières grasses et de nombreux minéraux (Cuivre, Fer, Magnésium, Calcium et Potassium) (Behmer, 2003).

D'après la FAO (2012), le criquet est aussi un insecte qui s'accommode facilement à de nombreuses recettes, ce qui vous permettra d'exprimer librement votre créativité. Les insectes séchés sont commercialisés en UE :

- entiers, en l'état pour le « snacking » ou incorporés dans des préparations de type biscuits,
- comme ingrédients, c'est-à-dire sous forme de farines, après broyage. Cette présentation permet : de faire en sorte que l'insecte n'est plus reconnaissable par le consommateur. Certains produits déshydratés commercialisés dans l'Union européenne sont conditionnés sous vide puis congelés pour ralentir les réactions d'oxydation ANSES (2015).

V. Les différents moyens de capture d'insectes :

Certains insectes sont saisonniers (comme *Lymantria dispar* (Régnière, 2009), d'autres sont dépendants de la météo (certains insectes apparaissent à la fin de la saison des pluies). La disponibilité d'un insecte varie également en fonction de la disponibilité de son hôte (comme exemple : *Rhynchophorus ferrugineus* et son palmier hôte *Metroxylon sagu*).

V.1. Méthode de récolte des criquets et sauterelles :

La très grande majorité des insectes est actuellement obtenu par capture dans le milieu naturel. La quantité obtenue dépend en premier lieu du type d'insecte lui-même et de sa biologie. Le criquet s'attrape plus facilement le matin car cet insecte est inactif à basses températures (Van Huis, 2003). Ce sont des espèces poïkilothermes (des animaux à sang froid) dont la température varie avec celle du milieu extérieur.

Le criquet taupe *Grylotalpa longipennis* se récolte également dans les champs cultivés. Avant semis, cette espèce qui vit sous terre se nourrit de racines de pousses de riz. Cet insecte est récolté quand les rizières sont labourées (Lavalette, 2013).

V.2. Avantages et inconvénients d'une récolte en milieu sauvage :

Récolter des insectes dans leur milieu naturel est aussi un moyen de lutter contre une trop forte utilisation de pesticides .L'espèce considérée comme nuisible est utilisée comme aliment, ce qui permet d'en diminuer sa prévalence, d'où un besoin moindre de pesticides. Cette technique a porté ses fruits en Corée du Sud avec la sauterelle *Oxya velox* qui ravage les rizières.

Dans les années 1960 à 1970, la forte utilisation de pesticides entraîna une diminution de consommation d *Oxya velox* ainsi qu'une diminution du nombre de spécimens. À partir de 1981, les rizières étant beaucoup moins traitées chimiquement, la quantité d *Oxya velox* s'est mise à augmenter de nouveau, permettant aux paysans de récolter cet insecte en labourant puis de le vendre sur les marchés comme aliment (Habou *et al.*, 2015).

Enfin, le fait de considérer l'insecte comme une ressource digne d'intérêt permet indirectement de sauvegarder son environnement et ainsi de protéger la biodiversité.

Cependant, la récolte d'insectes ne possède pas que des points positifs. En effet, ramasser des spécimens, même en pleine nature, n'empêche pas ceux-ci de s'être contaminés, que ce soit avec des pesticides (si l'insecte s'est par exemple nourri avec une plante traitée) ou avec une substance propre à la plante ingérée (Yen, 2009).

L'insecte peut être également contaminé avec des champignons ou des bactéries. Ainsi, la larve de *Bunaea alcinoe* (Lépidoptère trouvé au Niger) est contaminée avec des bactéries produisant des entéro-toxines qui sont détruites par la cuisson (Amadi *et al.*, 2005).

L'approvisionnement en insectes est souvent dépendant des saisons et des conditions météorologiques. De même, lors de la pleine saison, le fait de récolter une espèce en masse et de ne pas sélectionner les stades prélevés, empêche cette espèce de se renouveler correctement. Ce qui conduit à sa disparition et à son extinction progressive. La récolte en milieu sauvage peut donc nuire à la biodiversité.

VI. L'élevage d'insectes :

Si la collecte des insectes comestibles perdure encore dans les zones rurales, elle a fait place à une industrie de production en masse d'insectes comestibles, essentiellement localisée dans les zones périurbaines. D'abord développée dans des fermes de taille modeste, cette activité

de production et d'élevage d'insectes comestibles s'effectue maintenant dans des entreprises spécialisées, notamment en Thaïlande et dans d'autres pays d'Asie comme la Chine (Barre, Caze-Subra *et al.*, 2014).

La FAO a mis à disposition des informations sur les techniques d'élevage de différentes espèces d'insectes. La production d'insectes comestibles y constitue une activité industrielle reconnue, qui irrigue un marché intérieur fortement demandeur (consommation humaine essentiellement), et se tourne également de plus en plus vers l'exportation.

Des firmes commercialisent notamment des insectes en vrac ou conditionnés en sachets, et des produits dérivés (farines d'insectes, confiseries à base d'insectes, insectes sucrés, etc.). Ces différents produits sont disponibles auprès de grossistes répartiteurs, installés en Europe, notamment en France ANESES (2015).

VI .1. Définition d'un mini-élevage :

Le mini-élevage, est une notion qui a été introduite en 1984 par Noël Vietmeyer, puis en 1991 dans un ouvrage intitulé « *Microlivestock : littleknown small animals with a promising economic future* » (Kayisu, 2015).

Il s'agit d'un élevage qui concerne les espèces de petite taille, déjà utilisées par l'Homme par les récoltes ou le braconnage, afin d'aboutir à une production contrôlée et régulière. Cependant il est possible d'envisager cette activité comme un mini-élevage. Certains arthropodes sont déjà élevés à l'échelle industrielle, comme les scorpions comestibles en Chine.

D'autres, comme les grillons et les coléoptères aquatiques sont élevés à une échelle semi-industrielle. Dans les régions chaudes, les éleveurs produisent des insectes pour nourrir les reptiles et les primates. Aux Pays-Bas, trois producteurs d'insectes ont mis en place une production spéciale d'insectes pour la consommation humaine (figure 8).

Dans d'autres régions du monde, on a essayé de produire des insectes artificiellement comme les charançons, les chenilles mo pane (figure 9) et les guêpes et l'on peut dire que l'on maîtrise aujourd'hui les méthodes pour élever en série des asticots et des mouches soldats noires destinées à nourrir le bétail (figure 10).

De plus, ils sont cultivés afin de contribuer à l'élimination des problèmes de flux de déchets organiques produits par notre société (Hardouin et Mahoux., 2003). Le mini-élevage se pratique dans des régions où élever des espèces conventionnelles à grande échelle représenterait un coût trop important et aurait un impact négatif sur la biodiversité locale (Cerdea *et al.*, 2001).

Une condition indispensable à ce type d'élevage est de connaître totalement la biologie de l'espèce à produire afin d'optimiser et d'agir sur toutes les étapes du cycle de développement.

Le mini-élevage se pratique surtout dans les campagnes et on compte actuellement en grande majorité des espèces tropicales (Lavalette, 2013). Les types d'animaux utilisés peuvent être :

- Vertébrés : l'aula code (*Thryonomys* sp), le cobaye (*Cavia porcell s*), les grenouilles,
- Invertébrés : escargots géants d'Afrique, (*Achatina* sp), ver de terre (*Perionyx*



VI.2. Les différents types d'élevage d'insectes:

Il existe plusieurs types d'élevages d'insectes qu'il est possible de distinguer en élevages *in situ* et *ex situ*. L'élevage *in situ* s'effectue dans l'habitat naturel de l'insecte alors que

l'élevage *ex situ* consiste à se procurer un insecte et à l'élever dans des conditions différentes de son évolution naturelle. L'élevage sur place permet de subvenir aux besoins d'un petit nombre de gens, alors que l'élevage *ex situ* permet une production à grande échelle, plus intensive, de manière totalement contrôlée (Lavalette, 2013).

VI.3. Caractères d'insectes d'élevage :

Une espèce d'insecte doit remplir plusieurs conditions pour être considérée comme présentant un intérêt pour être élevée (Ramos-Elorduy, 2009).

- L'insecte doit être parfaitement connu sur le plan physiologique et biologique.
- Le cycle de développement de l'espèce choisie doit être maîtrisée afin d'optimiser les différents paramètres agissant notamment sur la vitesse de croissance des divers stades.
- L'insecte doit évidemment présenter un intérêt nutritionnel avec une forte teneur protéique et/ou énergétique.
- L'espèce est également sélectionnée en fonction de sa capacité à transformer sa nourriture en biomasse (Offenberg, 2011). C'est l'efficacité de conversion de la nourriture ingérée (ECI).

Cette notion est valable pour tous les animaux : quand un animal se nourrit, la proportion de nourriture ingérée qui est digérée permet de déterminer l'efficacité d'assimilation (AD ou « approximante digestibilité »). En effet, sur la totalité des nutriments absorbés, une partie est utilisée pour le métabolisme et la respiration, le reste est transformé en biomasse animale nette et exprimé comme l'efficacité de conversion des aliments digérés (ECD). L'efficacité de conversion de nourriture ingérée est la suivante : $ECI = ECD \times AD$ (Nguyen, 2010).

- L'insecte doit être capable de produire un grand nombre de générations par an et avoir un bon taux de reproduction.
- Il faut également que l'espèce choisie puisse se développer dans un espace réduit sans que l'efficacité de sa capacité de conversion en pâtesse (chez le ver à soie *Bombyx mori*, l'efficacité de conversion ne dépend pas de l'espace mais de la quantité de nourriture à disposition) (Yang *et al.*, 2009).

- L'élevage doit pouvoir se faire dans de très petites surfaces, en exploitant même la verticalité, c'est-à-dire en empilant les boîtes contenant les insectes. L'élevage peut être mis en place en utilisant des structures et des matériaux disponibles sur place.
- Enfin, il faut choisir des espèces capables de recycler des ressources, ce qui signifie que l'insecte est nourri avec des aliments « usagés » comme des déchets de table ou des sous-produits d'autres récoltes tout ce qui n'est pas consommable directement par l'Homme.

Les élevages actuellement les plus pratiqués concernent des orthoptères, des larves de lépidoptères, de coléoptères et de diptères. Trois exemples d'élevage sont décrits ci-dessous : vers de farine *Tenebrio molitor*, grillons domestiques *Acheta domesticus* et mouches domestiques *Musca domestica*

VI. 4. Stockage des insectes :

France Chitine a fait le choix d'ensiler et de saler les carapaces de crevettes et de crabes pour les conserver. Elles sont ensuite rincées à l'eau distillée jusqu'à obtenir la conductivité d'une eau pure, puis séchées à froid. Enfin elles sont cryo broyées à l'azote liquide (Le Roux, 2012). Cette méthode permet de stocker la matière première pour l'année, ce qui lisse les variations saisonnières.

De plus, les produits extraits auront une couleur plus blanche, comparé au produit obtenu après séchage au soleil.

VII. Matériel et Méthode :

VII.1. Matériel scientifique :

Le matériel utilisé dans la présente étude est récapitulé dans le tableau 2.

Tableau 2 : Matériel utilisé au laboratoire d'analyse

Matériel	Produits	La verrerie
Etuve	Acides sulfuriques	Les matras
Dessiccateur	La soude	Burette
Four à moufle	Acide borique	Les Creusés filtrants
Pompe à vide	Ether	Coupelles
Distillateur d'eau	Indicateurs colorés	Les fioles jaugées
Broyeur		Les béchers
Balance analytique		Les ballons longs
Digesteur de cellulose		
Minéralisateur		
La hotte Sorbonne		
Centrifugeuse		
Extracteur de matière grasse		

VII.2. Matériel animal et méthodes d'analyses :

Dans notre étude on a choisi le criquet pèlerin) (*Schistocerca gregaria* qui est considéré comme l'un des ravageurs féroces sur la base de :

VII.2.1. L'origine des criquets :

Le matériel biologique (les criquets) utilisé dans l'expérimentation est issu de l'élevage de l'INPV. Il est composé d'individus décédés récupérés régulièrement et conservés dans des boîtes de pétri au réfrigérateur à une température 5°C. D'autres sont venus de Batna.

VII.2.2. Préparation des échantillons.

Après la prise des paramètres biométriques on entreprend le séchage à l'étuve puis le broyage des échantillons pour obtenir une poudre fine prête pour les analyses.

VII.2.3. Détermination de la matière sèche (MS)

Elle est obtenue après une dessiccation de 3g d'échantillon broyé dans une étuve à une température de 105°C jusqu'à l'obtention de poids constant. La teneur en matière sèche est donnée par la relation :

$$\text{MS \%} = (x / y) 100$$

X : Poids de l'échantillon après dessiccation.

Y : Poids de l'échantillon humide

VI.2.4. Détermination de la matière minérale (MM)

Elle est obtenue après une incinération de l'échantillon auparavant étuvé, dans un four à moufle pendant quatre heures. Le protocole de température employé est le suivant :

- Durant 1h30 à 200°C
- Durant 2h30 à 550°C

La teneur en matières minérales (cendres totales) est obtenue.

$$\text{MM (\%MS)} = A / B / C \times 100 / \text{MS}$$

A : poids des cendres en g.

B : poids de l'échantillon séché en g.

C : poids de l'échantillon humide en g.

MS : teneur en matière sèche en pourcentage (%)

VI.2.5. La Matière organique :

Elle est obtenue par différence,

$$\text{MO (g)} = \text{MS (g)} - \text{MM (g)}$$

VI.2.6. Les matières azotées totales :

La détermination de l'azote totale selon la méthode de **KJELDHAL** qui se réalise en deux étapes :

➤ La minéralisation

Elle est réalisée sur 1 g d'échantillon pour avec l'acide sulfurique concentré (25ml) à chaud en présence d'un catalyseur pendant 3h, transformant ainsi l'azote organique en azote minéral.

➤ La distillation du minéralisât

L'azote ammoniacal libéré, par l'action d'une lessive de soude (20ml) est récupéré dans l'acide borique à 4% puis titré avec de l'acide sulfurique N/50. L'azote de l'échantillon est alors déterminé par l'expression :

$$N(g) = V \times 280.10^{-6} (g) \times 250/20 \times 100/y$$

V : descente de burette = volume d'H₂SO₄ N / 50 (ml).

Y : poids ou volume de l'échantillon

Les résultats sont alors exprimés en MAT :

$$MAT (g) = 6.25 \times N (g)$$

VI.2.7. Taux de la chitine

Les fibres considérées dans cette étude concernent la chitine et non pas la cellulose brute. Pour les fibres la méthode conventionnelle de Weende où les matières fibreuses constituent le résidu organique obtenu après deux hydrolyses successives à chaud :

- Une en milieu acide, consiste à introduire 1 g d'échantillon dans un ballon de 500 ml en ajoutant 100 ml d' H₂SO₄ (12,5g / L) et le chauffer pendant 30 minutes.
- Une en milieu alcalin, après centrifugation il faut éliminer le surnagent, rincer les tubes par 100 ml de NaOH (12,5 g / l), introduire le culot dans le même ballon et le faire bouillir durant 30 minutes.

Ensuite filtrer le résidu sur un creuset préalablement pesé puis le passer à l'étuve réglée à 105 ° C, jusqu'à poids constant.

Ce même résidu est incinéré au four à 550°C pendant 3heures nous permet de calculer la teneur en fibre :

$$\text{Teneur en fibre (\% MS)} = \frac{A - B}{C} \times 100 / \text{MS}$$

A : Poids du creuset + résidu après dessiccation.

B : Poids du creuset + résidu après incinération.

C : Poids de l'échantillon de départ.

MS : Teneur en matière sèche (en %)

VI.2.8.Teneur en matière grasse :

Pour l'analyse on prend 3 à 5g de matière broyé dans une cartouche d'extraction adéquate et la couvrir avec du coton ou ouate. Extraire pendant 2 à 3h avec de l'oxyde diéthylique ou n-hexane ou autre solvant dans un appareil de soxhlet avec un minimum de 10 siphonages l'heure avec un débit d'au moins 5 gouttes par seconde pour un appareil d'extraction continue.

Enlever la cartouche de l'appareil verser le contenu dans un mortier ajouter 10g de sable et triturer aussi finement que possible et reprendre l'extraction pendant 2 heures encore dans le même ballon.

Eliminer le solvant du ballon dans l'étuve réglée à (103 ± 2) jusqu'à masse constante une heure et demi puis 30 minutes pour s'assurer que le poids est constant. Refroidir au dessiccateur et peser.

$$\text{MG\%MS} = \frac{B - A}{C} * 100 * \text{MS}$$

A : Poids du ballon soxhlet sec

B : Poids du ballon + résidu après dessiccation

VIII. Résultats et discussion

VIII.1. La biométrie

Les paramètres biométriques portés dans le tableau 3 démontrent qu'il existe quatre couleurs chez les individus collectés, jaune, brun, beige et marron. Selon Duranto et Lecoq (1990), elle

varie en fonction de l'âge et de la phase. Elle est rose chez les imagos grégaires immatures jeunes, virant au rouge brunâtre chez les imagos immatures plus âgés, puis devenant jaune en période de maturité.

L'abdomen des femelles grégaires âgées devient plus ou moins violacé. Chez les solitaires la teinte ne varie pas chez les femelles ; les mâles, par contre, jaunissent légèrement en période de maturité sexuelle. Bruns ou grisâtres chez les mâles immatures solitaires.

La taille des larves varie entre 2,5 et 4cm. Les adultes enregistrent des dimensions qui varient entre 4 et 6,5cm selon le numéro de collecte et le lieu de collecte (tableau 3). Nos résultats sont inférieurs à ceux trouvés par Duranton et Lecoq (1990) qui mentionnent de grandes tailles. Les femelles mesurent de 70 à 90 mm de long, les mâles de 60 à 75 mm.

Selon, Launois-Luong et Lecop (1993), la différence de taille qui existe entre les mâles et les femelles est plus importante chez les solitaires que chez le grégaires. Même résultats est obtenu par Kaidi (2007) sur les criquets de la région d'Ahaggar. Les larves de quatrième stade ont une longueur moyenne : 3,3 cm (2,5 à 3,6 cm ; 2,5 à 3,8 cm) (Duranton et Lecoq, 1990).

Concernant le poids frais des individus varient entre 0,1380g et 0,776g chez les larves. Les adultes enregistrent un poids qui varie entre 1.115g et 12.9g (tableau 3). Selon Kaidi (2007) ce paramètre biométrique change avec le sexe et la saison de capture des individus, puisqu'elle enregistre en saison hiverno-printanière chez les mâles 0,74g à 3,39g et chez les femelles 1,78g à 5,64g ; en saison automno-hivernale 1,17g à 3,9g chez les mâles et chez les femelles 4,24g à 7,49g. Quel que soit la saison les femelles sont plus lourdes que les mâles.

Le séchage des individus à l'étuve (65°C) offre un poids sec chez les adultes qui varie entre 0,2528g à 7,6645g .Le poids des larves en sec varie entre 0,1189 g à 0,6311g (tableau 3). Ainsi, le taux d'humidité varie entre 24,27% et 76,44 % chez les adultes et entre 13,84% - 74,46% chez les larves. Le taux d'humidité dépend des facteurs intrinsèques et des facteurs extrinsèques : les facteurs intrinsèques c'est l'espèce animale, l'âge de l'animal et le sexe.

Les facteurs extrinsèques, l'alimentation, la saison, le milieu d'élevage et les conditions de stockage. L'élevage de l'INRA offre 36,1% d'humidité, INPV 24,66% et 44,30% pour les échantillons de Batna tous individus confondus (larves et adultes).

Tableau 3 : Biométrie et couleur des individus de criquet pèlerin analysés

Première collecte (Tamanrasset élevage INRA)						
individus	Couleurs	Poids frais (g)	Poids sec (g)	Humidité (g) % de MS₁	Taille cm	Stade de l'insecte
1	Jaune	0.1380	0.1189	0,0191g (86,16%)	3	Larve
2	Brun	0.6870	0.2598	0,4272g (37,38%)	4	
3	Beige	12.9053	6.2989	6,6064g (48,81%)	5.5	Adulte
4	Beige	9.8987	7.496	2,4027g (75,73%)	6	
5	Brun	10.7312	7.6645	3,0667g (71,42%)	6.5	
Deuxième collecte (INPV)						
1	Beige	0.499	0.1354	0,3636g (27,13%)	3	Larve
	Beige	0.488	0.1845	0,3035g (37,81%)	4	Adulte
2	Jaune	1.641	0.7923	0,8487g (48,28%)	5.5	Adulte
	Beige	1.115	0.3998	0,715g (35,86%)	6	Adulte
	Beige	1.120	0.6126	0,5074g (54,70%)	6	Adulte
3	Noire	0.562	0.1437	0,4163g (25,57%)	3	Larve
	Noire	0.332	0.1216	0,2104g (36,63%)	3	Larve
	Noire	0.776	0.1982	0,5778g (25,54%)	4	Larve
Troisième collecte (Batna)						
1	Beige	2.573	0.7512	1,8218g (29,19%)	4.3	Adulte
2	Beige	1.761	0.9627	0,7983g (54,67%)	4.5	Adulte
3	Beige	2.300	0.9263	1,3737g (40,27%)	4	Adulte
4	Beige	2.638	1.0128	1,6252g (38,39%)	4.5	Adulte
5	Beige	1.073	0.2528	0,8202g (23,56%)	3.5	Adulte
6	Marron	1.303	0.4067	0,8963g (31,21%)	3	Adulte
7	Beige	2.354	0.7133	1,6407g (30,30%)	5	Adulte
8	Beige	0.611	0.2854	0,3256g (46,71%)	3.5	Larve
9	Beige	0.782	0.6311	0,1509g (80,70%)	3.5	Larve
10	Beige	0.558	0.2839	0,2741g (50,88%)	3.5	Larve
11	Beige	0.368	0.2946	0,0734g (80,05%)	3.5	Larve
12	Beige	0.555	0.4934	0,0616g (88,90%)	3	Larve
13	Beige	0.181	0.1374	0,0436g (75 ,91%)	3.5	Larve
14	Beige	0.564	0.2081	0,3559g (36,90%)	2.5	Larve

VIII.2. La composition chimique :

Si l'on veut promouvoir l'utilisation des insectes en faveur de l'alimentation animale, un des outils qui devrait être la base de cette sélection c'est leurs compositions chimiques.

VIII.2.1. La teneur en matière sèche résiduelle et en matière minérale :

La teneur en matière sèche résiduelle est importante (tableau 4), ainsi que celle des minéraux totaux. Cette dernière varie entre les individus adultes de 7,5% MS à 19,65%MS, ce qui concorde avec les résultats trouvés chez *Acanthacris ruficornis* qui sont de $10,08 \pm 2,02$ % et le résultat trouvé chez *Kraussaria. angulifera* $7,53 \pm 0,33$ % (Badanaro, 2016).

Par conséquent la teneur de la matière organique est supérieure à 80,2% (tableau 4). Selon Hervey (2019), les cendres de ces criquets contiennent également des quantités adéquates d'iode, de phosphore, de fer, de thiamine, de riboflavine, de niacine, ainsi que des traces de calcium, magnésium et de sélénium.

La teneur en minéraux varie, elle-aussi, en fonction de l'espèce d'insectes, de son stade de développement et de son régime alimentaire (Rumpold et Schluter 2013a ; Rumpold et Schlüter 2013b; van Huis, van Itterbeeck *et al.*, 2013).

Tableau 4 : Teneur en matière sèche et en cendre de quelques individus de criquet pèlerin

individus	MS ₂ %	MO%	MM% MS	1/3MO=CT
03	97,57	87,16	10,41	29 ,05
03	96 ,97	93 ,02	3 ,95	30,70
05	99,85	80,2	19,65	26 ,47
05	97,16	90,67	6 ,49	29,92
04	98,21	90,71	7,50	29,93
04	97 ,27	92,52	4 ,75	30 ,53

MS₂ : matière sèche résiduelle CT : chitine

VIII.2.2. La teneur en matière grasse :

La teneur en matière grasse varie entre 48,93% de matière sèche et 50,43%MS, la moyenne des échantillons est de 49,46 % (tableau 5). Une étude chinoise montre des variations très fortes du contenu lipidique des insectes, entre 7 et 77g/100g de poids sec, en fonction de

l'espèce considérée et de leur régime alimentaire (Chen Feng *et al.*, 2009), ce qui concorde avec nos résultats.

Le taux lipidique serait plus important dans les larves et les nymphes que dans les insectes adultes (Chen Feng *et al.*, 2009) et EHA (2015) ont trouvé de faibles résultats qui vont de (19 à 20%).

Selon Harvey (2019), le pourcentage des lipides dans les criquets pèlerins est inférieur à leur pourcentage de protéines, mais reste une source raisonnable, à près de 12%. Nos résultats concordent puisque la teneur en protéine est supérieure à celle des matières grasses par contre la valeur de 12% est inférieure aux valeurs que nous avons trouvés.

Une autre valeur inférieure est trouvée par Habou *et al* (2015) chez le criquet pèlerin soit un taux de 9,80%. Comparés à la volaille et au poisson, les insectes seraient plus riches en acides gras poly-insaturés (AGPI) (DeFoliart ,1991). Les pourcentages d'acides gras saturés et insaturés sont respectivement de 44% et 54%.

Les acides palmitique, oléique et linoléique sont les acides gras les plus abondants. Cependant, les chercheurs ont noté que la teneur en cholestérol des criquets est élevée, environ 286 milligrammes pour 100 grammes, ce qui est supérieur à celui trouvé dans la viande ou la volaille (Harvey, 2019).

La composition en cholestérol varie également avec le régime alimentaire des insectes (Ritter, 2010). En effet, ceux-ci sont incapables de produire leurs propres stérols ce qui leur impose d'en obtenir dans leur nourriture. On doit leur choisir la nourriture dans les élevages.

Le corps gras, de couleur jaune à jaune-orangé, est un tissu graisseux tapissant la cavité abdominale et entourant le tube digestif et les organes génitaux du criquet. Il augmente progressivement avec l'âge et constitue des réserves pour la formation du vitellus ; il est aussi une source d'énergie pour le vol.

Les jeunes imagos venant de muer en possèdent très peu. La quantité de corps gras renseigne ainsi sur l'âge physiologique et les possibilités pour l'insecte d'entreprendre des déplacements importants (ou sur le niveau d'épuisement des réserves après un long vol migratoire).

On notera :

- 0 pour l'absence de corps gras,
- 1 pour un peu de corps gras
- 2 pour beaucoup de corps gras (Habou *et al.*, 2015).

Tableau 5 : Teneur en matière grasse des individus de criquet pèlerin

Individus	MG (% MS)	Moyenne par individus (%MS)
03	49,35	49,24
	49,13	
05	50,43	49,68
	48,93	
Moyenne des individus	49,46	49,46

VIII.2.3. La teneur en chitine

Les résultats de cette étude montrent que la teneur en fibres alimentaires (chitine) de cette espèce se situe entre 5,81 et 6,62% pour le stade larvaire et de 5,32 et 5,53% pour le stade adulte (tableau 6), ce qui concorde avec les résultats réalisés sur d'autres espèces *Acanthacris ruficornis* ($8,63 \pm 0,30$ %) et *Kraussaria angulifera* ($5,60 \pm 0,40$ %) (Badanaro *et al.*, 2015) et à celle d'EHA (2015) qui varie de 14 % à 17% .

Selon d'autres auteurs Mathur et Narang, (1990) et Shahidi, (2002) la teneur de la chitine chez les arthropodes peut varier de 2 à 72% de MS. La chitine représente généralement 1/3 du poids total de la MO pour une espèce donnée quel que soit l'endroit de prélèvement de la cuticule (Bodergat, 1983). Selon ce même auteur le taux de chitine de nos individus varierait entre 29,05% et 30,70% (tableau 4).

Alors qu'après analyses on a trouvé des résultats inférieurs (tableau 7) qui varient entre 5,3 et 6,62%.

Tableau 6 : Teneur en fibres des individus de criquet pèlerin

individus	Creuset vide (g)	Poids de l'échantillon (g)	Après étuve Ech+creust (g)	Après four Ech+creust (g)	CT%MS
01	30.4662	1.0027	30.53	30.47	5,81
02	30.1942	1.0028	30.3	30.20	6,62
03	30.6671	1.0072	30.72	30.70	5,53
04	30.6133	1.0281	30.70	30.61	5,32

Le mucopolysaccharide polymère chitine ([1/•4-2]-acétamido-2-désoxy-/-D-glucane) dans les exosquelettes des crustacés représentent une source d'énergie potentielle et de glucides pour les prédateurs marins (Anderson *et al.*, 1978).

Selon Harvey (2019) les niveaux de glucides sont très faibles chez les criquets, ce qui en fait un bon candidat pour les régimes. La chitine retrouvée dans la cuticule des arthropodes est la chitine alpha dans laquelle les chaînes de chitine sont reliées de manière antiparallèle par des liaisons hydrogène (Jeuniaux, 1982).

Pour sa digestibilité chez les invertébrés, et notamment chez les insectes la chitinase sécrétée est accompagnée toujours par la chitobiase, tandis que chez les vertébrés qui se nourrissent des proies à tégument chitineux secrètent de la chitinase au niveau de la muqueuse gastrique ou par le pancréas mais ne secrètent pas (ou très peu) de chitobiase (Jeuniaux, 1961, 1963).

Seulement 700 espèces connues de champignons entomopathogènes pénètrent dans leur hôte en perçant la cuticule. Les preuves s'accroissent à l'effet que la capacité des champignons à dégrader les protéines pourrait les assister à envahir et à pousser dans cette structure complexe et ordonnée (Raymond, 1995). On suppose ils existent quelques-unes d'entre elles dans le rumen des ruminants qui peuvent assurer la dégradation de la chitine (la digestibilité au niveau du rumen).

VIII.2.4. La teneur en protéines :

Les résultats montrent des valeurs extrêmement élevées 94,35 et 119,71% (tableau.7). Ce qui est largement supérieur aux valeurs trouvées par Habou *et al* (2015). Celles-ci diffèrent avec le

sexe. Chez le mâle, elle est de 54,50% et chez la femelle elle est de 86,60% (Lange, 2015). Selon ANESES (2015), les protéines représentent la principale composante de la matière sèche des insectes, entre 45 et 75g/100g de poids sec, suivant les espèces.

Le criquet pèlerin et sautereaux peuvent contenir jusqu'à plus de 50% de protéines alors la viande de bœuf ne peut en contenir que 22%. Selon le livre "Insectes" de Steve Parker, la teneur en protéines des espèces de criquets varie d'environ 50 pour cent du poids sec à près de 60 pour cent, ce qui les rend plus denses en protéines que les vaches. Cependant, la protéine de certaines espèces de criquets n'est pas considérée comme complète car il lui manque l'acide aminé essentiel méthionine, qui ne peut pas être fabriqué par les êtres humains, ce qui est rarement le cas des viandes (ANSES, 2015 ; Harvey, 2019).

Aussi, la valeur nutritionnelle protéique du criquet pèlerin est considérée comme inférieure à la caséine, qui est la principale protéine des produits laitiers (Harvey, 2019). La cuticule des insectes possède plus de protéines cuticulaires (les arthropodines, les sclérotines et les résilines), que la chitine (Jeuniaux, 1961, 1963).

L'endocuticule ne contient pas de protéines tannées. Elle est plus épaisse que l'épicuticule (10 à 20 μ), élastique, incolore, et très riche en chitine (50%) et en protéines diverses dont l'arthropodine et la résiline. Elle est feuilletée d'une manière régulière et striée verticalement par de fins canaux qui joignent les cellules épidermiques à l'épicuticule où ils s'ouvrent par des pores (Youcef, 2010).

Tableau 7 : Teneur en matière azotée totale des individus de criquet pèlerin

Individus	Poids d'échantillon (g)	Volume de H ₂ SO ₄ (ml)	MAT (%MS)
01	0.1071	4 + 6,3 + 6,3 = 5,3	94,35
02	0.2462	16,3 + 17,3 = 16,8	119,71

Notre étude s'est basée sur les paramètres biométriques de trois échantillonnages effectués dans trois régions différentes du pays du criquet pèlerin ; mais de deux élevages (INRA et INPV).

Afin de déterminer la composition chimique de certains individus qui ont prouvé une teneur protéique élevée et une teneur en sucre faible. Ce qui est intéressant pour l'alimentation des ruminants

Cette étude confirme la possibilité d'utiliser cette espèce d'Orthoptère dans l'alimentation des ruminants. Les analyses chimiques de *shistocerca gregaria* montrent que cette espèce présente un intérêt nutritionnel à l'égard de sa composition chimique. Elle constitue une source importante de substances organiques (Protéines, lipides) et minérales.

La matière grasse de cette espèce est importante aux farines d'insectes utilisés pour l'alimentation des ruminants où leur teneur en lipides dépasse 36 % ce qui nécessite un dégraissage préalable selon certain auteurs

En outre, le taux de protéines de l'espèce est plus élevé que celui enregistré dans certains aliments classiques comme le tourteau de soja 51,52% et farine de poisson avec 65,4% considéré comme sources de protéines pour l'alimentation des ruminants.

Cependant, des essais d'alimentation animale devraient permettre de préciser la qualité des protéines d'insectes, tant du point de vue de la digestibilité que de l'efficacité de conversion du contenu en acides aminés.

Comme indiqué précédemment, les compositions en nutriments des insectes comestibles sont sujettes d'une façon générale à d'importantes variations. Des facteurs externes comme le climat, la nourriture, l'habitat, la préparation (par exemple insectes grillés ou bouillis) ou encore la méthode d'analyse sont aussi à prendre en compte.

Afin de pallier ces variations, en cas d'intégration des insectes dans l'alimentation animale mais surtout humaine (particulièrement dans celle de personnes atteintes de certains désordres métaboliques), des standards de quantification, des pratiques d'élevages ou encore des compositions de régimes alimentaires doivent être créés et mis à la disposition des éleveurs d'insectes.

Très peu d'études existent sur l'impact environnemental de l'élevage des insectes. Le développement d'une nouvelle filière d'insectes durable devra prendre en compte l'empreinte environnementale au même titre que les aspects économiques et sociétaux.

Quantifier l'empreinte écologique d'un élevage par le biais d'une analyse cycle de vie (ACV). Qui a pour objectif d'évaluer l'impact environnemental d'un système, en analysant tous les processus liés au cycle de production (fabrication et transport des aliments, engrais, énergie, etc.) et seront régies par les normes ISO.

Enfin la quantité et la qualité des nutriments de cet orthoptère peuvent contribuer à améliorer l'état nutritionnel du ruminant et ils peuvent s'intégrer bien dans une perspective agro-écologique, sans concurrence avec l'alimentation humaine.

La promotion de cette ressource alimentaire traditionnelle mérite une attention particulière de la part des gouvernements nationaux dans des programmes de coopération pour son développement. Elle peut s'intégrer bien dans une perspective agro-écologique, sans concurrence avec l'alimentation humaine.

Abdallah, R. A. H. A. L. I. (2020). Dépollution des eaux urbaines par les nanochitosanes et les biofilms, thèse de Doctorat, université abdelhamid ibn badis mostaganem

Amadi, E. N., Ogbalu, O. K., Barimalaa, I. S., & Pius, M. (2005). Microbiology and nutritional composition of an edible larva (*Bunaea alcinoe* Stoll) of the Niger Delta. *Journal of food safety*, 25(3), 193-197.

Anderson C. G., Depablo N., and C. R. Romo.(1978). Antarctic krill (*Euphausia superba* Dana) as a source of chitin and chitosan. Pages 5-10 in *Proceedings of the First International Conference on Chitin/ Chitosan* (R. A. A. Muzzarelli and E. R. Pariser, Eds.). Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusett

ANSES, (2015). Avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à « la valorisation des insectes dans l'alimentation et l'état des lieux des connaissances scientifiques sur les risques sanitaires en lien avec la consommation des insectes» 42p.

Appert, J., & Deuse, J. (1982). Les ravageurs des cultures vivrières et maraîchères sous les tropiques. Maisonneuve et Larose, 420 p. (Techniques agricoles et productions tropicales, 31) ISBN 2-7068-0814-4

Atia, F.,Mansouri M.(2018). Contribution à l'étude des orthoptères dans le sud-est algérien (cas de la région de oued souf) université de Echahid Hamma Lakhdar d'El-oued. Faculté des sciences de la nature et de la vie.

Badanaro, f. d. (2016). les orthoptères peuvent-ils contribuer à la sécurité alimentaire au Togo. *sciences de la vie, de la terre et agronomie*, 3(1).

Barre, A., Caze-Subra, S., Gironde, C., Bienvenu, F., Bienvenu, J., & Rougé, P. (2014). Entomophagie et risque allergique. *Revue Française d'Allergologie*, 54(4), 315-321.

Behmer ST., Cox, E., Raubenheimer D., Simpson S.J. (2003). La distance alimentaire et son effet sur l'équilibre des nutriments chez un insecte herbivore mobile. *Comportement animal*, 66 (4), 665-675.

Benkenana, N. (2006). Analyse bio systématique, écologique et quelques aspects de la biologie des espèces acridiennes d'importance économique dans la région de Constantine, Thèse Magister en Entomologie, Université de Constantine, 169 pp

Benrima, A. G., Duranton, J. F., Mitiche, B. D. (2010). Préférences alimentaires de *Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775) à l'état solitaire dans les biotopes du Sud Algérien. Journal of Orthoptera Research, 7-14.

Bissad, F. Z., & Youcef, M. et Doumandji-Mitiche B. (2010): Effet d'un champignon entomopathogène *Metarhizium anisopliae* Var. *Acridum* sur la cuticule du criquet pèlerin (*Schistocerca gregaria*, Forskäl, 1775). European Journal of scientific research, 45(1), 55-33.

Bodergat, A. M. (1983). Les ostracodes, témoins de leur environnement: approche chimique et écologie en milieu lagunaire et océanique. Travaux et Documents des Laboratoires de Géologie de Lyon, 88(1), 3-246.

Caparros Megido, R., Alabi, T., Larreché, S., Alexandra, L., Haubruge, É., & Francis, F. (2015), May. Risques et valorisation des insectes dans l'alimentation humaine et animale. In Annales de la Société entomologique de France (NS) (Vol. 51, No. 3, pp. 215-258). Taylor & Francis.

Cerda, H., Martínez, R., Briceño, N., Pizzoferrato, L., Manzi, P., Ponzetta, M. T., ... & Paoletti, M. G. (2001). Palm worm:(*Rhynchophorus palmarum*) traditional food in Amazonas, Venezuela—nutritional composition, small scale production and tourist palatability. Ecology of food and nutrition, 40(1), 13-32.

Chaouch, A. (2009). Etats phasaires de *dociostaurus maroccanus* thunberg, 1815 (acrididae, gomphocerinae). thèse de Doctorat.

Chapman R.F. (1972). The insects. Structures and function. Ed .The. English Universities. Press New.York, 819p.

Chen, X., Feng, Y. et Chen, Z. (2009). Insectes comestibles communs et leur utilisation en Chine. Recherches entomologiques , 39 (5), 299-303.

- Chopard L. (1943)**– Orthoptéroïde de l’Afrique du nord. Ed. Librairie Larousse,
- Cirad . (2007).** Les criquets ravageurs. Les criquets un fléau mondial
<http://locust.cirad.fr/index.htm>
- Crini G., Badot PM., Guibal E: Chitine et Chitosane.(2009)** .Du polymère à l'application: Presses universitaires de Franche-Comté. Coll 'Faune de l’empire français' ; T.I, Paris, 450p
- Dajoz R. (1971).** Précis d’écologie. Ed Dunod .Paris, 434p.
- Defaut B. (2001).** Actualisation taxonomique et nomenclaturale du « synopsis des orthoptères de France » Matériaux Entomocénologiques, 6 : pp 107-112 pp
- DeFoliart, G. R. (1991).** Insect fatty acids: similar to those of poultry and fish in their degree of unsaturation, but higher in the polyunsaturates. The Food Insects Newsletter, 4(1), 1-4
- Didier S. (2004)** .Questions sur une invasion, les criquets. Journal, RFI, Publié le 7-9 2004,http://www1.rfi.fr/actufr/articles/057/article_30323.asp
- .
- Doumendji S. & Doumendji –Mitiche B. (1994):** Criquets et sauterelles (Acridologie).ed.OPU,Alger,pp 99.
- Durantou J F et Lecoq M. (1990)** – Le criquet pèlerin au Sahel. Collection Acridologie Opérationnelle N° 6 –PRIFAS / CIRAD. 85 p
- Durantou J.F ., Launois M., Launois-Luong M .H et Lecoq M. (1982).** Contribution à l'inventaire faunistique des Acridiens de l'Archipel du Cap-Vert [Orth.] In: Bulletin de la Société entomologique de France, volume 88 (3-4), Mars-avril 1983. Livre du Cent Cinquantenaire. Premier congrès international des entomologistes d'expression française. Paris, 6-9 juillet 1982. Comptes rendus des travaux. II. pp. 197-224
- Elhadj, M. O. (2001).** Etude du régime alimentaire de cinq espèces d'acridiens dans les conditions naturelles de la cuvette d’Ouargla (Algérie). sciences & technologie. a, sciences exactes, 73-80.

FAO/IAEA [Internet]. (2001). Available from : <http://www.fao.org/docrep/005/y1390e/y1390e00.htm>

Fatima, A., Zohra, T. F., Ghania, T. H., & Fairouz, S. (2017). Effets des traitements avec le Green muscle® en milieu naturel (Nord-Ouest de l'Algérie) sur les larves de *Dociostaurus maroccanus* (Thunberg, 1815) et sur l'histologie du tégument. *Algerian Journal of Natural Products*, 5(3), 530-540.

GIA (Global Industry Analysts) Chitine et chitosan. (2010). Un Rapport De Gestion Stratégique Global. Global Industry Analysts; MCP-2039, 2010: 230.

Greathead D.J., Kooyman C., Launois-Luong M.H., Popov G.B. (1994). Les ennemis naturels des criquets du Sahel. Ed. Cirad/Prifas, 'Collection Acridologie Opérationnelle, 8, Montpellier, 147p.

Habou, Z. A., Tougiani, A., Seydou, R., & Toudou, A. (2015). Une évaluation de Criquets comestibles au Niger: *Ornithacris turbida cavroisi* (Finot, 1907), *Anacridium melanorhodon* (Walker, 1870) et *Accanthacris ruficornis citrina* (Serville, 1838). *Journal of Applied Biosciences*, 90, 8348-8354

Hadj, O. E. (1991). Bioécologie des sauterelles et des sautereaux dans trois zones d'étude au Sahara. thèse de Doctorat, Thèse Magister, Int. Nat. Agro., El Harrach.

Hardouin, J., & Mahoux, G. (2003). Zootechnie d'insectes-Elevage et utilisation au bénéfice de l'homme et de certains animaux. Bureau pour l'Echange et la Distribution de l'Information sur le Mini, Élevage (BEDIM) livre p 164

Harvey Richard, (2019). La valeur nutritive des criquets. *OffRoa dHealth Int J Adv* 4(1):144–148

Jeuniaux C. (1961). Chitinase: An addition to the list of hydrolases in the digestive tract of vertebrates. *Nature (Lond.)* 192:135.

Jeuniaux C. (1963). Chitin et chitinolyse, un chapitre de la biologie moléculaire. Masson, Paris.18p

Jeuniaux C., Voss-Foucart, M. F., Bussers, J. C. (1993). La production de chitine par les crustacés dans les écosystèmes marins . Aquatic Living Resources, 6(04), 331-341.

Jeuniaux C., (1982). La chitine dans le règne animal. Société Zoologique de France, Institute Oceanographique.

Kaidi N., (2007). Bioécologie de *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) (Orthoptera ,Cyrtacan ,Thacridinae) dans la région de l’Ahaggar , essais de lutte biologique au moyen de champignons entomopathogènes : *Beauveria bassiana* et *Metarhizium anisopphae* Var .thèse de Magister INA , 138p.

Kayisu Kalenga, I. F. A. Y. B. I. (2015). Faculté des bioingénieurs Biodiversity Research Centre Earth and Life Institut Université Catholique de Louvain .thèse de doctorat, 216p.

Kemassi A., Gundouz-Benrima A., Allal-Benfekih E L., Ould El Hadj M., Didi A. (2014). Etat phsaire et régime alimentaire de *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) (Orthoptera-Acrididea) dans les cultures céréalières irriguées sous pivots dans la région de Ouargla (Sahara septentrional Est algérien),pour la Revue ElWahat pour les recherches et les Etudes : 37 – 48 ISSN : 1112 -7163 Vol.7n°2 (2014). <http://elwahat.univ-ghardaia.dz>

Labbé V. (2019). Étude pratique du Criquet (Arthropodes : Insectes). Classe préparatoire TB • SVT • Partie 2 • TP 2.3. © Tanguy JEAN. Les textes et les figures originales. Document produit en novembre 2017 • Dernière actualisation : novembre 2019. Contact : Tanguy.Jean4@gmail.com Adresse detéléchargement:<http://tanguyjean.businesscatalyst.com/>

Launois-Luong M.H., Lecoq M. (1993).Manuel explicatif du code OMM de transmission des informations sur les criquets ravageurs. Ed .Org.Météo.Mond.Et.org .Islam.Educt Scien.Cult., Genève.30p

Lavalette, M. (2013). Les insectes: une nouvelle ressource en protéines pour l'alimentation humaine. Sciences pharmaceutique, Université de Lorraine, p89.

Le Roux K., (2012). Purification de la chitine par hydrolyse enzymatique à partir de coproduits de crevette *Penaeus vannamei*. Caractérisations des produits et optimisation du procédé. Université de Nantes faculté des sciences et des techniques. Thèse de doctorat, 203p

Mathur N.K., Narang C.K., (1990). Chitin and chitosan, versatile polysaccharides from marine animals. Journal of chemical education, 67(11):938

Medane A. (2013). Etude bioécologique et régime alimentaire des principales espèces d'orthoptères de la région d'Ouled Mimoun (Wilaya de Tlemcen). Mémoire de master II, Filière : Sciences biologiques biodiversité et environnement orthoptira research, 19(1) :7-14.2010.

Mohamed, E. H. (2015). Determination of nutritive value of the edible migratory locust *Locusta migratoria*, Linnaeus, 1758 (Orthoptera: Acrididae).

Morelli L., Capurso L., (2012). Directives FAO/OMS sur les probiotiques : 10 ans plus tard. Journal de gastro - entérologie clinique , 46 , S1-S2.

Nguyen, M. N. (2010). Adaptation de la tordeuse des bourgeons de l'épinette *Choristoneura fumiferana* clem. à la résistance de l'épinette blanche *Picea glauca* (Moench) Voss.

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

Raccaud-Schoeller S. (1980). Les insectes. Physiologie et développement. Ed.Masson, Paris, 296p

Rafiei B., Ghadamyari M., Imani S., Hosseinimareh V. & Ahadiat A., (2016): Purification and characterization of α -amylase in moroccan locust *Dociostaurus maroccanus* Thunberg (Orthoptera ,Acrididea) and its inhibition by inhibitors from *Phaseolus vulgaris* L .Toxin review 35(3-4), 90-97.

Ramos-Elorduy J., Moreno J. M. P., Prado E. E., Perez M. A., Otero, J. L., et De Guevara O. L., (1997). Nutritional value of edible insects from the state of Oaxaca, Mexico. *Journal of food composition and analysis*, 10(2), 142-157.

Ramos-Elorduy JB, Pino Moreno JM, Martínez Camacho VH, (2012), Could Grasshoppers Be a Nutritive Meal? *Food and Nutrition Sciences*, 3, 164-175

Ramos-Elorduy, j. (2009). anthropo-entomophagy: cultures, evolution and sustainability. *entomological research*, 39(5), 271-288.

Ravindran, V., Blair, R., (1992): Feed resources for poultry production in Asia and the Pacific region. II. Plant protein sources. *World's Poult. Sci. J.* 48, 205-231.

Ravindran, V., Blair, R., (1993): Feed resources for poultry production in Asia and the Pacific region. III. Animal protein sources. *World's Poult. Sci. J.* 49, 219-235

Raymond J., Stlege R., Lokesh-Josh I., Michael J., Bidochka M.J., Donald W., (1995). Protein synthesis in *Metarhizium anisopliae* growing on host cuticule. *Mycol. Res.*, vol.99, 9 (1995) 1034-1040.

Reguia B. E. N. S. A. L. E. M., et Randa, S. E. B. B. A. N. E. ,(2019). Contribution à l'inventaire de la faune acridienne (Orthoptera, Caelifera) dans la région de Bordj Bou Arreridj, Algérie. thèse de Doctorat.

Régnier F., Masullo A. (2009). Obésité, goûts et consommation. *Revue française de sociologie*, 50(4), 747-773.

Ritter, (2010). Insect and cholesterol. *Food Insects Newsletters*. 3:1–6

Rouget C. (1859). Des substances amylicées dans le tissu des animaux, spécialement les articles (Chitine). *Compt Rend*, 48, 792.

Rumpold BA, Schlüter OK. (2013b). Potential and challenges of insects as an innovative and challenges of insects as an innovative source for food and feed production *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, **17**: 1-11

Schwarz H., Moussian, B., (2007). Electron-microscopic and genetic dissection of arthropod cuticle differentiation. In A. Méndez-Vilas, J. Díaz (Eds.). *Modern Research and Educational Topics in Microscopy* (Vol. 3). Badajoz, Spain: Formatex Research Center *tetranychus urticae* koch. Dans les Biotopes du Sud Algérien. 319-32

Shahidi F. (2002) .Nutraceuticals and bioactives from seafood byproducts. In: *Advances in seafood byproducts, Conference proceedings*. Edited by Bechtel PJ. University of Alaska, Fairbanks: Alaska Sea Grant Program; 2002: 247-263

Symmons P. M., Cressman, K.,(2001). Desert Locust Guidelines 5. Campaign organization and execution. Food and Agriculture Organization.

Tankaridan et badjo, (2001), In Benkenana, N.,2006. Analyse biosystématique, écologique et quelques aspects de la biologie des espèces acridiennes d'importance économique dans la région de Constantine.

Truong, TO, Hausler, R., Monette, F., & Niquette, P. (2007). Valorisation des résidus industriels de pêches pour la transformation de chitosane par technique hydrothermo-chimique. *Revue des sciences de l'eau/journal of Water Science* , 20 (3), 253-262.

Uvarov B. P.,(1921). A revision of the genus *Locusta*, L.(= *Pachytylus*, Fieb.), with a new theory as to the periodicity and migrations of locusts. *Bulletin of entomological Research*, 12(2), 135-163.

Van Huis A., (2003). Les insectes comme nourriture en Afrique sub-saharienne. *Journal international de la science des insectes tropicaux*, 23 (3), 163-185.

Yang, Y., Tang, L., Tong, L., & Liu, H. (2009). Silkworms culture as a source of protein for humans in space. *Advances in Space Research*, 43(8), 1236-1242.

Yen, S. H., Wu, S., & Chen, Y. L. (2009). Biota Taiwanica: Hexapoda: Lepidoptera, Drepanoidea, Drepanidae, Cyclidiinae. National Sun Yat-Sen University & National Science Council.

Youcef, M. (2010). Essai du champignon entomopathogène *Metarhizium anisopliae* sur la cuticule des larves L5 de *Schistocerca gregaria* (Acrididae, Cyrtacanthacridinae). thèse de Doctorat, ENSA.

Zakaria, O., & Sagnia, S. B. (2003). Lutte intégrée contre les sautériaux et les locustes: importance du biopesticide Green Muscle. Ed. Agrhymet, Niamey, 5(3), 15.

Zohra, B. F., Mahmoud, Y. O. U. C. E. F., Farid, B. O. U. N. A. C. E. R. U. R., & Bahia, D. M. (2012). Activité biologique d'un biopesticide le Green muscle sur le tégument du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) (Orthoptera, Acrididae). Nature & Technology, (6), 51.

Résumé :

La présente étude a pour objectif d'étudier une espèce d'orthoptère « *shistocerca gregaria* » pour l'intégrer dans l'alimentation des ruminants. Ainsi nous avons abordé l'influence de quelques paramètres biométriques (la couleur, la taille, le poids frais et sec) et le stade biologique sur la composition chimique de l'espèce. Cette composition chimique est étudiée à deux stades différents pour évaluer leurs valeurs nutritionnelles.

Nos analyses indiquent que la matière organique de *shistocerca gregaria* est en moyenne de 80,64%. Les deux constituants organiques varient de 97 à 119% pour les protéines et de 30,22 à 49,19% pour la matière grasse.

La composition en substances minérales (cendres) ne présente pas une très grande variabilité 6,31 à 7,31%, la teneur en fibre quant à elle varie de 5,46 à 6,45%.

La quantité élevée de protéines, de matière grasse, fibres tolérable et minéraux de ce criquet pourraient contribuer à le prendre comme aliment alternative à d'autres aliments utilisés dans l'alimentation des ruminants.

Abstract :

The objective of the present study is to study a species of orthoptera "*shistocerca gregaria*" to integrate it into the diet of ruminants. Thus we have discussed the influence of some biometric parameters (color, size, fresh and dry weight) and the life stage on the chemical composition of the species. This chemical composition is studied at two different stages to assess their nutritional value.

Our analyzes indicate that the organic matter of *shistocerca gregaria* is on average 80.64%. The two organic constituents vary from 97 to 119% for proteins and from 30.22 to 49.19% for fat.

The composition of mineral substances (ash) does not exhibit a very great variability 6.31 to 7.31%, the fiber content for its part varies from 5.46 to 6.45%.

The high amount of protein, fat, tolerable fiber and minerals in this locust may help to take it as an alternative feed to other feeds used in ruminant feed.

الملخص :

الهدف من هذه الدراسة هو دراسة نوع orthoptera "*shistocerca gregaria*" لدمجها في النظام الغذائي من

للحيوانات المجترّة. وهكذا ناقشنا تأثير بعض المتغيرات البيومترية (اللون والحجم والوزن الطازج والجاف) ومرحلة الحياة على التركيب الكيميائي للأنواع. تمت دراسة هذا التركيب الكيميائي في مرحلتين مختلفتين لتقييم قيمهما الغذائية.

تشير تحليلاتنا إلى أن المادة العضوية من *shistocerca gregaria* تبلغ في المتوسط 80.64%.
المكونات العضوية يختلفان من 97 إلى 119% للبروتينات ومن 30.22 إلى 49.19% للدهون.

لا يُظهر تكوين المواد المعدنية (الرماد) تبايناً كبيراً للغاية من 6.31 إلى 7.31%، ويتراوح محتوى الألياف من جانبه من 5.46 إلى 6.45%.

قد تساعد الكمية العالية من البروتين والدهون والألياف والمعادن التي يمكن تحملها في هذا الجراد على تناوله كعلف بديل للأعلاف الأخرى المستخدمة في علف الحيوانات المجترّة.