

Effet du bio pesticide « Green Muscle » (Metarhizium anisopliae var acridum IMI 330189) sur la reproduction du criquet pèlerin Schistocerca gregaria (Forsk., 1775) (Acrididae, Cyrtacanthacridinae) en conditions contrôlées.

Présenté par : M Samia HEMOUR

Promotrice : Mme DOUMANDJI-MITICHE B (Professeur I.N.A., El-Harrach)

Soutenu : le 03/02/09

Devant le jury : Président : Mr DOUMANDJI S. (Professeur I.N.A., El-Harrach) Examinatrices :
Mme MOUHOUCHE F. (Maître de conférence I.N.A., El-Harrach) Melle HALOUANE F. (Maître de
conférence Univ. Boumerdes) Melle BISSAAD F. (Chargé de cours Univ. Boumerdes)

Table des matières

Dédicace . . .	6
REMERCIEMENTS . . .	7
Résumé . . .	8
Abstract . . .	9
ص خ لم . . .	10
Listes des abréviations . . .	11
INTRODUCTION GENERALE . . .	12
chapitre I : Synthèse bibliographique . . .	14
I. Données bibliographiques sur le criquet pèlerin <i>Schistocerca gregaria</i> . . .	14
I.1. Présentation de l'espèce <i>Schistocerca gregaria</i> . . .	14
I.2. Répartition géographique . . .	16
I.3. Description générale et cycle biologique . . .	16
I.4. L'activité reproductrice. . .	20
I.5. L'alimentation chez le criquet pèlerin . . .	28
I.6. Dégâts et importance économique . . .	31
I.7. La lutte contre le criquet pèlerin . . .	32
II. Données bibliographiques sur le Green Muscle® (<i>Metarhizium anisopliae var acridum</i>). . .	34
II.1. Généralités sur le développement du Green Muscle® . . .	34
II.2. Présentaion et identification de la matière active du Green Muscle® : <i>Metarhizium anisopliae var acridum</i> . . .	35
II.3. Gamme d'hôtes . . .	35
II.4. Mode d'action . . .	36
II.5. Formulation et application . . .	38
II.6. Conditionnement . . .	38
II.7. Efficacité du Green Muscle® en plein champ . . .	39
CHAPITRE II : Matériel et méthodes . . .	41
1. Etude du développement ovarien du criquet pèlerin au laboratoire. . .	41
1.1. Elevage des criquets . . .	41
1.2. Dissection des femelles et préparation des ovaires. . .	43
1.3. Détermination des étapes du développement ovarien (Mesure des ovocytes de base). . .	46
2. Etude de l'effet du champignon entomopathogène <i>Metarhizium anisopliae var acridum</i> sur quelques paramètres biologiques et physiologiques liés à la reproduction de <i>Schistocerca gregaria</i> . . .	46
2.1. Souche fongique . . .	46
2.2. Mise en culture et purification du <i>Metarhizium anisopliae var acridum</i> . . .	46
2.3. Traitements des individus. . .	47
2.4. Paramètres étudiés . . .	49
2.5. Traitement des données . . .	54
CHAPITRE III : RESULTATS . . .	55

1. Résultats obtenus de l'étude du développement ovarien de <i>Schistocerca gregaria</i> au laboratoire. . .	55
2. Résultats obtenus de l'étude de l'effet du champignon entomopathogène <i>Metarhizium anisopliae var acridum</i> sur quelques paramètres biologiques et physiologiques liés à la reproduction de <i>Schistocerca gregaria</i> . .	59
2.1. Résultats obtenus de l'effet du <i>Metarhizium anisopliae var acridum</i> sur la mortalité cumulée des ailés de <i>Schistocerca gregaria</i> . .	59
2.2. Résultats obtenus de l'effet du <i>Metarhizium anisopliae var acridum</i> sur l'activité alimentaire des ailés de <i>Schistocerca gregaria</i> . . .	67
2.3. Résultats obtenus de l'étude de l'effet du <i>Metarhizium anisopliae var acridum</i> sur le fonctionnement ovarien des adultes de <i>Schistocerca gregaria</i> . .	83
2.4. Résultats obtenus de l'effet du <i>M. anisopliae var acridum</i> sur la maturation sexuelle des imagos de <i>S. gregaria</i> . . .	87
2.5. Résultats obtenus de l'effet du <i>M. anisopliae var acridum</i> sur le taux des protéines hémolymphatiques des ailés de <i>S. gregaria</i> . . .	93
CHAPITRE IV : DISCUSSIONS . .	99
1. Discussion des résultats de l'étude du développement ovarien de <i>Schistocerca gregaria</i> au laboratoire. . .	99
2. Discussion des résultats de l'étude de l'effet du champignon entomopathogène <i>Metarhizium anisopliae var acridum</i> sur la reproduction de <i>Schistocerca gregaria</i> . .	100
2.1. Discussion des résultats de l'effet du <i>Metarhizium anisopliae var acridum</i> sur la mortalité cumulée des ailés de <i>Schistocerca gregaria</i> . .	100
2.2. Discussion des résultats de l'effet du <i>Metarhizium anisopliae var acridum</i> sur l'activité alimentaire de <i>Schistocerca gregaria</i> . .	102
2.3. Discussion des résultats de l'effet du <i>Metarhizium anisopliae var acridum</i> sur le fonctionnement ovarien des adultes de <i>Schistocerca gregaria</i> (résorption ovocytaire) . .	104
2.4. Discussion des résultats de l'effet du <i>M. anisopliae var acridum</i> sur la maturation sexuelle des imagos de <i>S. gregaria</i> . . .	105
2.5. Discussion des résultats de l'influence du <i>Metarhizium anisopliae var acridum</i> sur la fécondité et la fertilité de <i>Schistocerca gregaria</i> . .	106
2.6. Discussion des résultats de l'effet du <i>M. anisopliae var acridum</i> sur le taux des protéines hémolymphatiques des ailés de <i>S. gregaria</i> . . .	107
Conclusion générale et perspectives . .	109
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES . .	111
ANNEXES . .	120
Annexe n°1 : Analyse de la variance de la mortalité cumulée des adultes. . .	120
Annexes n°2 : Analyse de la variance de la mortalité cumulée des imagos. . .	120
Annexes n°3 : Analyse de la variance de la moyenne pondérale quotidienne des femelles adultes. . .	120
Annexes n°4 : Analyse de la variance de la moyenne pondérale quotidienne des mâles adultes. . .	121
Annexes n°5 : Analyse de la variance de la moyenne pondérale quotidienne des adultes. . .	121
Annexes n°6 : Analyse de la variance de la moyenne pondérale quotidienne des femelles imagos. . .	121
Annexes n°7 : Analyse de la variance de la moyenne pondérale quotidienne des mâles imagos. . .	121

Annexes n°8 : Analyse de la variance de la moyenne pondérale quotidienne des imagos. ..	122
Annexes n°9 : Analyse de la variance de la moyenne journalière de la quantité de matière sèche de l'aliment ingéré par les adultes. . .	122
Annexes n°10 : Analyse de la variance de la moyenne journalière du poids sec des fécès des adultes . .	122
Annexes n°11 : Analyse de la variance de la moyenne journalière de la quantité de matière sèche de l'aliment ingéré par les imagos. . .	122
Annexes n°12 : Analyse de la variance de la moyenne journalière du poids sec des fécès des imagos. . .	123
Annexes n°13 : Analyse de la variance de la moyenne quotidienne du E.C.I. des adultes. ..	123
Annexes n°14 : Analyse de la variance de la moyenne quotidienne du A.D. des adultes. ..	123
Annexes n°15 : Analyse de la variance de la moyenne quotidienne du E.C.D. des adultes. ..	123
Annexes n°16 : Analyse de la variance de la moyenne quotidienne du E.C.I. des imagos. ..	124
Annexes n°17 : Analyse de la variance de la moyenne quotidienne du A.D. des imagos. ..	124
Annexes n°18 : Analyse de la variance de la moyenne quotidienne du E.C.D. des imagos. ..	124
Annexes n°19 : Analyse de la variance de la moyenne quotidienne du taux de résorption ovocytaire durant la première semaine. . .	125
Annexes n°20 : Analyse de la variance de la moyenne quotidienne du taux de résorption ovocytaire durant la deuxième semaine. . .	125
Annexes n°21 : Analyse de la variance de la moyenne quotidienne du taux de résorption ovocytaire durant la troisième semaine. . .	125
Annexes n°22 : Analyse de la variance de la moyenne de l'évolution du nombre de pontes émises par les adultes. . .	125
Annexes n°23 : Analyse de la variance de la moyenne de l'évolution de la taille de l'ovocyte de base des imagos . .	126
Annexes n°24 : Analyse de la variance de la moyenne de l'évolution du nombre de pontes émises par les imagos durant la semaine 3. . .	126
Annexes n°25 : Analyse de la variance de la moyenne de l'évolution du nombre de pontes émises par les imagos durant la semaine 4. . .	126
Annexes n°26 : Analyse de la variance de la moyenne de l'évolution du nombre de pontes émises par les imagos durant la semaine 5. . .	127
Annexes n°27 : Analyse de la variance de la moyenne de l'évolution du nombre de pontes émises par les imagos durant la semaine 6. . .	127
Annexes n°28 : Analyse de la variance de la moyenne de l'évolution du nombre de pontes émises par les imagos durant la semaine 7. . .	127
Annexes n°29 : Analyse de la variance des moyennes quotidiennes du taux des protéines hémolymphatiques des adultes de <i>S. gregaria</i> . .	127
Annexes n°30 : Analyse de la variance des moyennes quotidiennes du taux des protéines hémolymphatiques des femelles imagos de <i>S. gregaria</i> . .	128
Annexes n°31 : Analyse de la variance des moyennes quotidiennes du taux des protéines hémolymphatiques des mâles imagos de <i>S. gregaria</i> . .	128
Annexes n°32 : Analyse de la variance des moyennes quotidiennes du taux des protéines hémolymphatiques des imagos de <i>S. gregaria</i> . .	128

Dédicace

Dédicaces A mes parents, pour leur amour si cher, leur dévouement, leurs soutien et encouragements A mes frères Fawez et Tahar, mes sœurs Maha et Yasmine, mon neveu Hani, mon beau frère Omar, pour leur tendresse, leur union si importante, leur soutien permanent. A mes amis Reda, Nadera, Houda, Hanane, Yasmine, Hakima, Hayet, Samou, Assia et yasmina pour leur amitié si grande, leur présence, leur soutien et leurs encouragements A tous ceux qui sont proches de mon cœur. Imène

REMERCIEMENTS

A l'issue de ce modeste travail de recherche, mes reconnaissances respectueuses vont d'abord à ma promotrice Mme DOUMANDJI-MITICHE B. professeur à l'Institut National d'Agronomie d'El-Harrach, pour ses enseignements, ses orientations, sa gentillesse et son soutien permanent.

C'est avec honneur et respect que je j'adresse mes remerciements à Mr DOUMANDJI S. professeur à l'Institut National d'Agronomie d'El-Harrach, pour avoir accepté de présider le jury de cette thèse ainsi que pour ses précieux conseils et ses encouragements.

Je tiens à remercier Mme MOUHOUCHE F. maître de conférence à l'Institut National d'Agronomie d'El-Harrach, pour avoir bien accepté d'examiner mon travail.

Mes vifs remerciements vont à Melle HALOUANE maître de conférence et chef de département de biologie à l'Université des sciences de Boumerdes, pour m'avoir facilité l'accès à son département et d'examiner mon travail.

Je suis profondément reconnaissante à Melle BISSAD F. chargé de cours à l'Université de Boumerdes, pour l'intérêt porté à ce travail, sa serviabilité, sa disponibilité et de m'avoir ouvert les portes de son laboratoire et aidé à réaliser la partie microbiologique de ce travail

Je tiens à remercier particulièrement Mr MANSOURI D. chargé de cours à l'Institut National d'Agronomie d'El-Harrach, pour son aide, ses orientations si précieuses, sa gentillesse et sa sympathie.

Il m'est agréable de remercier M^{me} BENZARA F. et M^{me} SAADA N. bibliothécaires du département de zoologie agricole et forestière pour leur serviabilité et leur sympathie.

Je remercie également Mr LAZAR M. chef du département de la lutte antiacridienne de l'Institut National de Protection des Végétaux d'El-Harrach pour m'avoir autorisé à accéder à son laboratoire ainsi que Mme HAMDI du département de Mycologie de ce même institut pour sa disponibilité et ses précieux conseils.

Je ne saurais remercier Mr ALLOUACHE R. pour l'intérêt porté à ce travail, sa disponibilité et son soutien.

Ma profonde gratitude s'adresse également à Melle KHERBOUCHE Y., Melle MEAMICHE H., Mr DJEZZAR M., Mr LAHIMANA C., Melle KAIDI N., Melle OUDJIANE A., Melle TIRCHI N. et Melle OUTTAR F. pour leur aide si précieuse et esprit d'équipe. Leur soutien, présence, inquiétude et amitié resteront pour moi un très beau souvenir.

Enfin, que tous ceux qui d'une manière ou d'une autre ont contribué à la réalisation de ce travail soient sincèrement remerciés.

Résumé

Effet d'un bio pesticide « Green Muscle » (*Metarhizium anisopliae* var. *acridum* IMI 330189) sur la reproduction du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* Forskål (1775) (Acrididae, Cyrtacanthacridinae) en conditions contrôlées.

Ce travail a porté sur l'étude de l'effet du *Metarhizium anisopliae* var *acridum* sur la reproduction des individus du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* qui s'est traduit par une forte activité d'oviposition chez les femelles traitées à l'état mature et d'une augmentation du taux de résorption ovocytaire chez ces dernières. Les imagos traités ont montré une réduction de la période pré reproductive et une fécondité précoce mais faible de même que la fertilité. Ces criquets infectés ont présenté une baisse de protéinémie hémolympatique ainsi qu'une activité alimentaire caractérisée par une baisse de poids et d'une augmentation de la prise de nourriture

Mots clés : *Schistocerca gregaria*, *Metarhizium anisopliae* var. *acridum*, reproduction, mortalité, activité alimentaire, protéines

Abstract

Effect of bio pesticide “Green Muscle” (*Metarhizium anisopliae* var. *Acridum* IMI 330189) on the reproduction of the Desert locust *Schistocerca gregaria* Forskål (1775) (Acricidae, Cyrtacanthacridinae) under controlled conditions.

This work has focused on studying the effect of *Metarhizium anisopliae* var *acridum* on reproduction of individuals of the Desert Locust *Schistocerca gregaria* resulting in a strong oviposition activity in females treated at the mature state and an increase in the rate of oocyte resorption among them. Immature individual's treaties have shown a reduction in pre reproductive and early fecundity but low as fertility. These infected locusts have presented a decrease of protein in hemolymph and an activity food characterized by lower weight and increased food intake.

Key words: *Schistocerca gregaria*, *Metarhizium anisopliae* var. *acridum*, reproduction, mortality, food activity activité, protein

ص خ لم

دراسة اثر (**Green Muscle**) (*Metarhizium anisopliae* var. *Acridum* IMI 330189) على تكاثر الجراد الصحراوي (*Schistocerca gregaria* Forskål (1775) في الظروف المتحكممة للمخبر. ركز هذا العمل على دراسة أثر *Metarhizium anisopliae* var. *Acridum* على تكاثر أفراد الجراد الصحراوي *Schistocerca gregaria* الذي أدى إلى نشاط قوي في التبييض عند الإناث المعالجة في مرحلة التضج مع زيادة في معدل إنتاج البيض. أما بالنسبة للإناث الحوراء المعالجة ، فقد تبين قصورة مرحلة ما قبل الانجاب وظهور مبكر للتبييض لكن بنسبة منخفضة مثلما هو الحال لمعدل الخصوبة . هذا الجراد المصاب بالفطر أظهر أيضا نقصا في البروتين الموجود بالصل مع نشاط غذائي مميز لإنخفاض وزن الافراد وزيادة الاستهلاك الغذائي. كلمات المفتاح: *Schistocerca gregaria*, *Metarhizium anisopliae* var. *Acridum* ، التكاثر ، نشاط غذائي ، نسبة الوفيات ، البروتين.

Listes des abréviations

C.N.L.C.P. : Centre National de Lutte contre le Criquet Pèlerin (Mali).

U.S.A.I.D. : United State Agency for International Development (l'Agence des Etats-Unis pour le développement international).

E.C. : Emulsion Concentrated (concentré émulsionnable).

U.B.V. : Ultra Bas Volume.

O.F. : Oil Formulation (formulation huileuse).

S.U. : La lettre S désigne la suspension dans laquelle la matière active est mélangée, plutôt que dissoute; la lettre U désigne une formulation à utiliser dans un pulvérisateur UBV.

INTRODUCTION GENERALE

Le Criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forskäl, 1775) est un des plus anciens fléaux des cultures connus de l'homme. Sa capacité à causer de grands ravages pendant les années d'infestation massive en font l'ennemi des cultures le plus important de son aire d'activité ; entravant de ce fait le développement agricole de régions où une croissance économique continue et accélérée est essentielle (BULLEN, 1969). De par sa situation géographique, l'Algérie occupe une place importante de l'aire d'habitat de ce locuste.

L'utilisation de produits chimiques pendant les situations d'urgence s'avère incontournable pour juguler le phénomène en raison de la rapidité d'action de ces derniers. Cependant, il est évident que pour se prémunir durablement contre les invasions de ce locuste il paraît impératif de privilégier la lutte préventive. Dans le souci de préserver l'environnement des effets néfastes des pesticides chimiques, le projet LUBILOSA a mis au point un bio pesticide appelé « Green Muscle » à base de spores du champignon *Metarhizium anisopliae* var *acridum* (IMI 3330189) dans le cadre d'une lutte intégrée contre ce criquet. En effet son application à grande échelle a montré qu'il était possible de maintenir ou de réduire les populations à un seuil inférieur de nuisibilité. De nombreuses recherches ont été menées à ce sujet afin de déterminer l'effet de ce bio pesticide sur la dynamique de ces populations en suivant l'influence des traitements sur la biologie et la physiologie de ces insectes.

Parmi les travaux ayant fait l'objet de ces études dans le monde, citons ceux réalisés par BATEMAN et al. (1998), GILLESPIE et al. (1999), ARTHURS & THOMAS (2000), BLANFORD & THOMAS (2001), SEYMOUN et al. (2002), OUEDRAOGO et al. (2004), VAN DER VALK (2007). En Algérie, un certain nombre d'auteurs ont également suivi l'efficacité ainsi que l'action de la matière active de ce bio pesticide sur les perturbations physiologiques chez le criquet pèlerin tels que HEMOUR (2005), OUTTAR (2006), KAIDI (2007) et DJEZZAR (2007).

C'est dans ce contexte que nous avons réalisé ce présent travail dans lequel une dose sub létale du *Metarhizium anisopliae* var *acridum* a été utilisée afin de nous permettre de suivre l'effet de cet entomopathogène sur la reproduction du criquet pèlerin dans des conditions contrôlées de laboratoire. Pour cela nous avons considéré les deux phases de maturation (pré reproductrice et reproductrice) du stade ailé de cet acridien. Nous avons jugé utile de prendre en considération également lors de cette étude l'influence de l'infection sur certains facteurs biologiques liés à la reproduction à savoir la longévité, l'activité alimentaire et le taux de protéinémie hémolympatique des individus.

Ce document comporte 4 chapitres, le 1^{er} consiste en une synthèse de quelques données bibliographiques sur l'espèce acridienne étudiée *Schistocerca gregaria* ainsi que quelques généralités sur le bio pesticide « Green Muscle ». Le 2^{ème} résume la méthodologie adoptée pour la réalisation de notre expérimentation. Quant au 3^{ème} chapitre, il contient deux principales parties. En effet dans un premier temps nous nous sommes intéressés aux résultats obtenus de l'étude de l'ovogenèse du criquet pèlerin au laboratoire avant de passer à la deuxième partie qui réunit les résultats obtenus de l'influence du

Metarhizium anisopliae var *acridum* sur la reproduction de cet acridien. Enfin, le 4^{ème} chapitre concerne les discussions de nos résultats.

chapitre I : Synthèse bibliographique

I. Données bibliographiques sur le criquet pèlerin *Schistocerca gregaria*

La première partie de ce chapitre est consacrée aux données bibliographiques de l'espèce acridienne qui a fait l'objet de notre étude.

I.1. Présentation de l'espèce *Schistocerca gregaria*

Schistocerca gregaria (Forskäl, 1775) est communément appelé «Criquet pèlerin» ou « Criquet du désert» (Desert locust en anglais). Cet acridien est considéré depuis l'antiquité comme l'un des principaux fléaux de l'humanité dans l'ancien monde. Il constitue la huitième plaie d'Egypte dans la bible. Ses ravages s'étendent à la majorité des pays arides et semi-arides de la côte Ouest de l'Afrique à l'Inde (DURANTON et *al.*, 1982a).

I.1.1. Position taxonomique

Le Criquet pèlerin, *Schistocerca gregaria* fait partie de l'ordre des Orthoptères et du sous-ordre des Caelifères. Le genre *Schistocerca* se rattache à la sous-famille des *Cyrtacanthacridinae* qui appartient à la famille des *Acrididae*. (DIRSH, 1965b, UVAROV, 1966 cités par LATCHININSKY et LAUNOIS- LUONG, 1997).

I.1.2. Caractéristiques morphologiques de l'insecte

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 (DURANTON et LECOQ, 1990). La tête porte des antennes filiformes, des yeux avec 6 à 7 stries selon le nombre de stades larvaires accomplis (5 à 6). Le tubercule prosternal est arrondi, mince, à apex émoussé et légèrement incliné vers l'arrière. On remarque également la présence d'une ligne claire médiane sur le vertex de la tête qui longe la carène médiane du pronotum. Ce dernier est comprimé dans la prozone et anguleux à son bord extérieur. Les élytres et les ailes sont longs, dépassant nettement l'extrémité abdominale et les genoux postérieurs. Les élytres sont ornés de nombreuses cellules brunes constituant une maculature diffuse. Les ailes sont hyalines ; elles deviennent jaunâtres à la base avec l'âge et surtout lors de la maturation sexuelle, chez les mâles comme chez les femelles. La face externe du fémur postérieur porte une bande noire continue. Les cerques sont courts et rectangulaires, la plaque sous génitale est incisée (MESTRE, 1988 ; CNLCP, 2008) (fig. 1).

La coloration du Criquet pèlerin est très variable, elle dépend de l'état phasaire et de la maturation sexuelle (DURANTON et LECOQ, 1990).

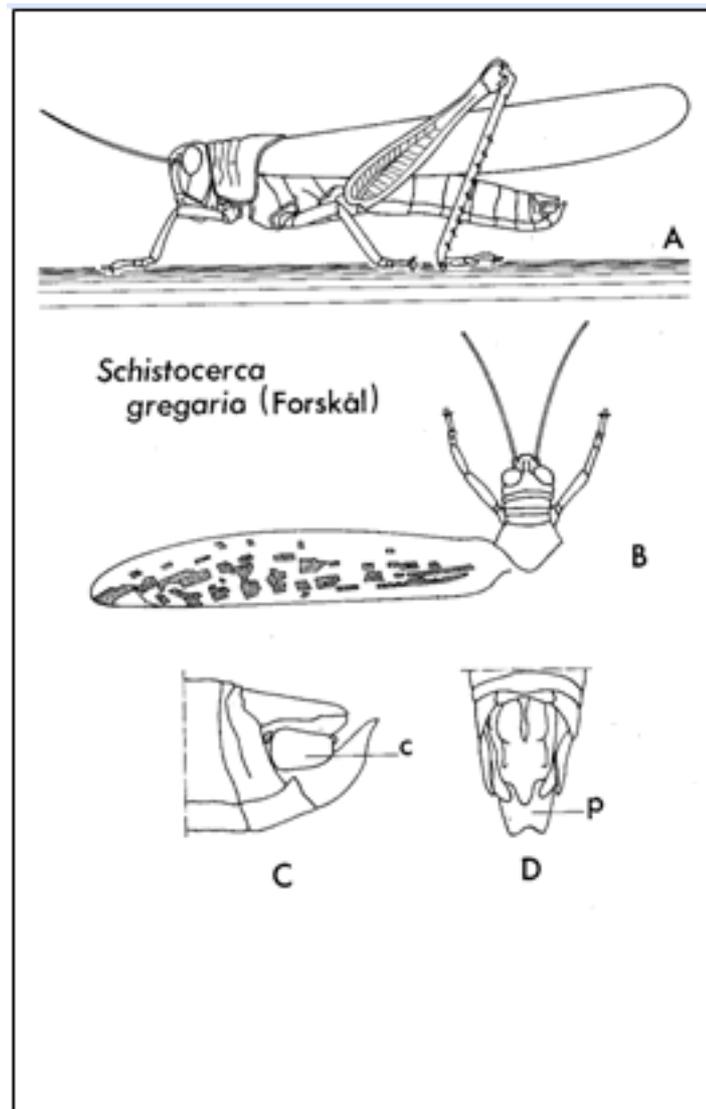


Figure 1 : Aspect morphologique de *Schistocerca gregaria* (d'après LAUNOIS, 1978 cité par DURANTON et al., 1982a)

A : vue générale, profil gauche.

B : tête, pronotum et élytre gauche en vue dorsale.

C : extrémité abdominale mâle en vue latérale gauche.

D : extrémité abdominale mâle en vue dorsale.

C : cerques larges en lamelles, p : plaque sous-génitale mâle bilobée.

I.1.3. Polymorphisme phasaire

Schistocerca gregaria appartient au groupe des acridiens grégariaptés, encore appelés locustes, qui ont la particularité de se présenter sous la forme solitaire ou sous la forme grégaire selon certaines circonstances. Le passage d'une forme à l'autre se fait par un processus de transformation phasaire. Cette transformation est réversible et se fait de manière progressive. Le Criquet pèlerin fait partie des espèces les plus sensibles aux effets

de la densité qui varie selon certaines conditions biologiques et écologiques telles que les vents convergents, la topologie de l'habitat, le taux de pluviométrie, le distribution de la nourriture ainsi que les sites de pontes (LATCHININSKY & LAUNOIS-LUONG, 1997 ; BASHIR et *al.*, 2000) .

Les caractères qui différencient les solitaires des grégaires sont extrêmement complexes et variés, ils sont d'ordre éthologique, biologique (développement et fécondité), physiologique, morphologique et pigmentaire. Certains caractères des deux phases tels que le comportement de grégarisation et l'émission de certaines phéromones de grégarisation changent rapidement sous l'effet de la densité. D'autres par contre prennent plusieurs générations pour apparaître tels que les caractères morphométriques (LATCHININSKY & LAUNOIS-LUONG, 1997 ; BASHIR et *al.*, 2000 ; IBRAHIM et *al.*, 2000) .

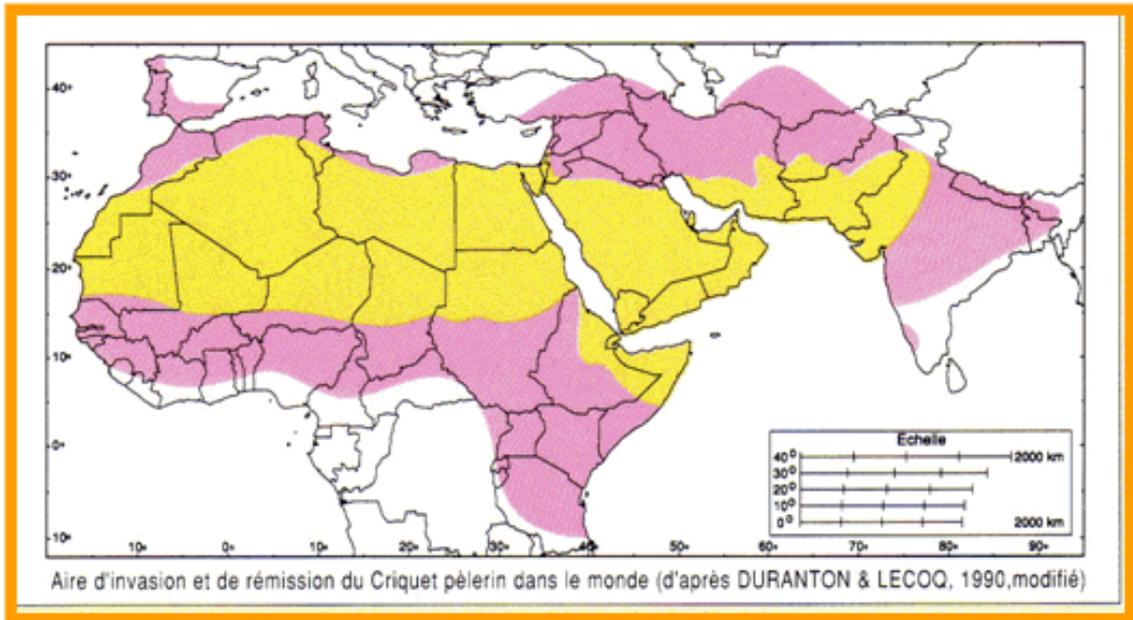
I.2. Répartition géographique

Le criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forskål) se reproduit généralement à l'état solitaire dans les régions arides ou semi-arides de l'Afrique du Nord, du Sahel (Burkina Faso, Tchad, Mali, Mauritanie, et le Niger), de la Péninsule arabique (Arabie Saoudite, Oman et Yémen) et de l'Asie du Sud Ouest (Afghanistan, Iran, Inde, et Pakistan) (STEEDMAN, 1988). L'aire de rémission couvre environ 16 millions de km² (VAN HUIS, 1995).

L'aire grégarigène inclut la région sub-saharienne de la Tanzanie à la Guinée, le Sud de l'Europe et le Bangladesh et comporte ainsi une superficie de 29 millions de km² répartie sur 65 pays. (PEDGLEY, 1981; STEEDMAN, 1988; VAN HUIS, 1995) (Fig. 2).

I.3. Description générale et cycle biologique

Au cours de l'année, le Criquet pèlerin peut développer 2 à 3 générations (STOROZHENKO, 1991 cité par LATCHININSKY & LAUNOIS-LUONG, 1997) en passant par trois états successifs, l'œuf, la larve et l'imago (VAN HUIS, 1995) (fig n3).



— Aire de rémission
— Aire d'invasion

Figure 2 : Répartition géographique du criquet pèlerin dans le monde en périodes de rémission et d'invasion (CNLCP, 2008)

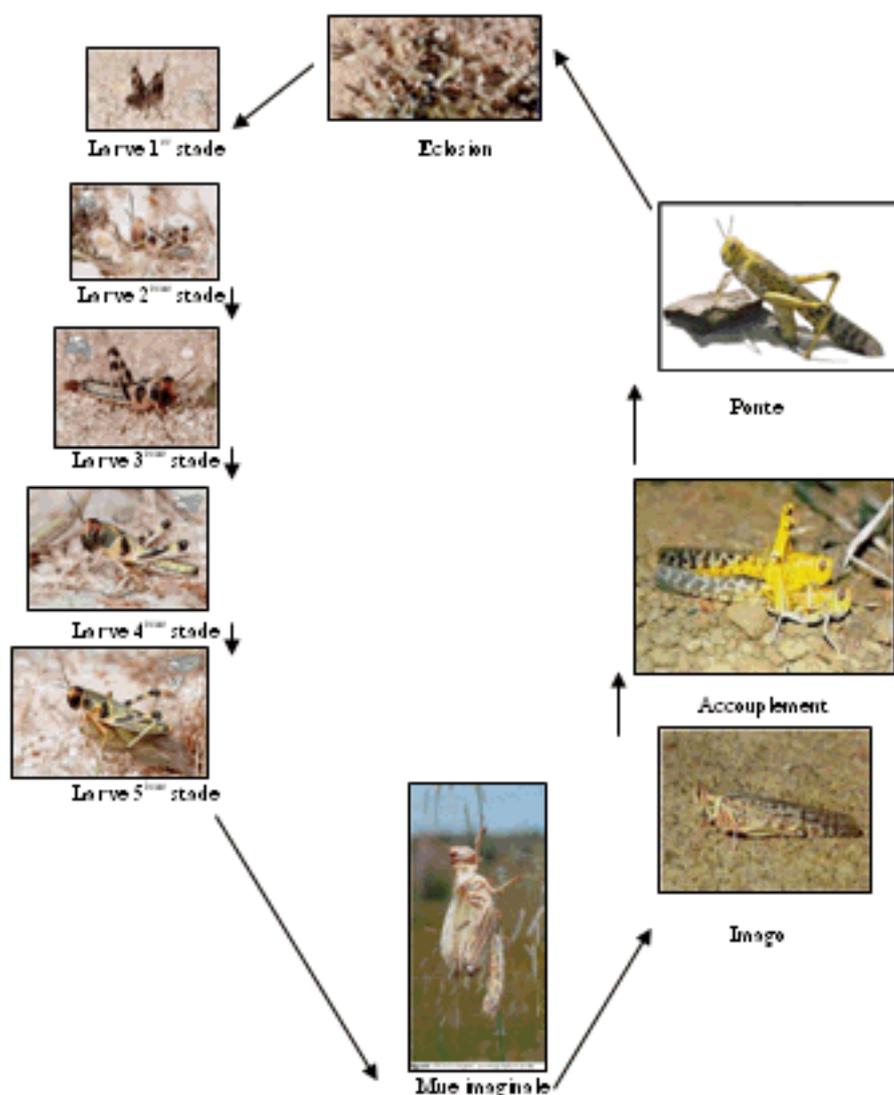


Figure 3 : Cycle biologique grégaire de *Schistocerca gregaria* (DURANTON et LECOQ, 1990 ; BIOCONTROLE, 2007)

I.3.1. Développement embryonnaire

Au moment de la ponte, les œufs qui constituent la masse ovigère sont jaunes mais virent au brun dans le sol. Peu après la ponte, l'œuf s'hydrate et augmente de volume. Il doit absorber environ son propre poids d'eau dans les cinq premiers jours pour se développer correctement (DURANTON et LECOQ, 1990).

I.3.2. Développement larvaire

Les larves de Criquet pèlerin passent, de l'éclosion à l'état imaginal, par plusieurs stades. Leur nombre est variable en fonction de la phase : 5 stades chez les grégaires et 6 le plus fréquemment chez les solitaires. Le stade supplémentaire se situe entre le troisième et le quatrième stade. Le stade le plus bref est le premier, le dernier est le plus long (DURANTON et LECOQ, 1990).

Jusqu'au 3ème stade, les larves solitaires sont vertes ; par la suite, elles peuvent éventuellement devenir brunes. Par contre, toutes les larves grégaires sont noires durant les deux premiers stades puis jaunes avec une maculature noire (CNLCP, 2008)

La durée de vie larvaire est minimale (36 jours) quand les conditions de développement sont optimales. La durée d'incubation des oeufs dans les mêmes conditions est de 12 jours; soit une durée de 48 jours entre la ponte et l'apparition d'un nouvel ailé. (RACHADI, 1991).

I.3.3. Développement imaginal

Avec la mue imaginale s'achève l'état larvaire et commence l'état imaginal. Le développement imaginal se décompose en différentes étapes : durcissement cuticulaire, maturation sexuelle, accouplement et ponte suivie d'une brève période post-reproductive précédant la mort (LATCHININSKY et LAUNOIS-LUONG, 1997).

En fonction des conditions écologiques, la longévité des imagos est comprise entre 34 jours si les conditions sont bonnes et 230 jours si elles sont mauvaises (POPOV, c.p. in DURANTON et LECOQ, 1990) ; la durée totale d'une génération varie de 50 à 332 jours pour les grégaires et de 58 à 310 jours pour les solitaires.

I.3.3.1. Stades imaginaires

D'après DURANTON et LECOQ (1990), le terme imago correspond à l'insecte ailé alors que le terme adulte est réservé à l'imago en période de maturité sexuelle. Ce même auteur a rangé les imagos du Criquet pèlerin en plusieurs classes d'âges dont les critères de définition sont différents pour les femelles et les mâles :

- Stades imaginaires des femelles (**DURANTON et LECOQ, 1990**)

On distingue 5 classes d'âge différentes chez les femelles :

- Classe 1 - Femelles à téguments mous.
- Classe 2 - Femelles immatures : Elles sont de teinte générale rose chez les grégaires et les *transiens*. Chez les solitaires, la coloration ne peut être utilisée pour les femelles. On doit alors examiner l'état des ovaires qui sont en prévitellogénèse.

Les classes suivantes sont facilement reconnaissables à la teinte générale jaune du tégument chez les grégaires alors que chez les solitaires, seuls les mâles jaunissent légèrement et ce critère de couleur ne peut donc être utilisé pour les femelles.

- Classe 3 - Femelles matures nullipares : Chez les grégaires et les *transiens*, ce stade est facilement reconnaissable à la teinte jaune du tégument. Les ovaires sont en cours de vitellogénèse.
- Classe 4 - Femelles matures pares : Les ovaires sont en cours de vitellogénèse. Les femelles ont pondu d'après l'aspect des valves de l'oviscapte qui présentent des traces de matière spumeuse et un tranchant plus ou moins émoussé. Les téguments restent d'aspect jeune.
- Classe 5 - Femelles âgées : Cette catégorie est constituée de vieux individus aux téguments plus ou moins abîmés ; ailes déchirées, macules pigmentaires thoraciques et abdominales, usures et mutilations diverses du corps.

- Stades imaginaires des mâles (DURANTON et LECOQ, 1990)

Les imagos mâles du criquet pèlerin peuvent être séparés en 4 classes différentes :

- Classe 1 - Mâles à téguments mous.
- Classe 2 - Mâles immatures : Les téguments sont durs, roses chez les grégaires et les *transiens*, bruns ou grisâtres chez les solitaires.
- Classe 3 - Mâles mâtures : Les téguments jaunissent fortement chez les grégaires, très légèrement chez les solitaires.
- Classe 4 - Mâles âgés : Vieux individus aux téguments abîmés (mêmes critères que chez les femelles).

D'après ces mêmes auteurs, certaines situations exceptionnelles sont parfois difficiles à classer dans les catégories précitées. On peut citer le cas de jeunes imagos grégaires qui ont amorcé leur maturation sexuelle dans de bonnes conditions puis ont subi des conditions adverses très accusées (basses températures, par exemple) entraînant au niveau des ovaires un cycle complet et précoce de régression ovocytaire associée à un déclenchement de quiescence imaginale. Ces imagos sont de couleur rouge brunâtre.

I.4. L'activité reproductrice.

L'activité reproductrice de l'insecte doit s'exercer à des périodes pendant lesquelles le milieu offre des conditions favorables. En Algérie, les individus du criquet pèlerin à l'état solitaire (ou faiblement *transiens*) se répartissent essentiellement dans la zone désertique. Deux reproductions sont possibles en fonction de la pluviosité annuelle; une printanière au Sahara central (la plus abondante) et une deuxième automnale au Sahara méridional. Durant les périodes d'invasion, le criquet pèlerin envahit les zones méditerranéennes où il effectue au moins deux générations. Les reproductions, au nombre de deux, sont essentiellement observées en zone méditerranéenne jusqu'aux régions côtières, l'une est automno-hivernale et l'autre (la plus fréquente) hiverno-printanière (RACCAUD-SCHOELLER, 1980 ; GUENDOUZ-BENRIMA, 2005).

I.4.1. Anatomie et fonctionnement des appareils reproducteurs

La reproduction chez les acridiens est de type sexuée. L'appareil reproducteur adulte est toujours d'un seul sexe, il est mâle ou femelle (DURANTON et *al.*, 1982a).

I.4.1.1. Appareil reproducteur mâle.

L'appareil reproducteur mâle est constitué de deux testicules plus ou moins soudés ; Chaque testicule renferme des tubes séminifères à la base desquels s'ouvrent deux canaux déférents qui conduisent les spermatozoïdes jusqu'au canal éjaculateur où débouchent également les canaux des glandes accessoires et celui de la vésicule séminale (DURANTON et *al.*, 1982a ; CHARA, 1995).

L'imago mâle éclot avec des testicules mûrs contenant des spermatozoïdes prêts à fonctionner (GRASSE, 1977).

I.4.1.2. Appareil reproducteur femelle

L'appareil génital femelle des acridiens, de type panoistique, est formé de deux ovaires accolés et placés au dessus et de part et d'autre du tube digestif. Chaque ovaire est composé du même nombre d'ovarioles qui sont disposées en arrangement pectiné sur un calice. Celui-ci est prolongé vers l'avant en glandes accessoires et se transforme vers l'arrière du corps en un oviducte latéral de chaque côté du tube digestif. Les deux oviductes

latéraux fusionnent ensuite en un oviducte commun dont l'extrémité forme une poche, le vagin, débouchant sur un orifice génital vers l'extérieur. La partie antérieure de l'ovaire se termine par un filament suspenseur qui se prolonge en un filament médian attaché au niveau de l'aorte (fig.4) (DURANTON et *al.*, 1982a ; LAUNOIS-LUONG, 1978) . Les sécrétions émises par les glandes accessoires auraient un rôle dans la fécondation des œufs et la ponte. Les calices et les oviductes ont aussi des fonctions sécrétoires utiles à la formation de la matière spumeuse. Une autre glande annexe qui est la spermathèque ou réceptacle séminal est ancrée au dessus du vagin. Cette dernière conserve vivants les spermatozoïdes après l'insémination de la femelle (DURANTON et *al.*, 1982a) .

L'ovariole est l'unité de structure et de fonctionnement de l'ovaire (LAUNOIS-LUONG, 1978). Les cellules reproductrices empilées par ordre d'apparition et de croissance dans l'ovariole sont des ovocytes. Le plus près de l'oviducte, chez les femelles immatures, est l'ovocyte de 1er ordre ou ovocyte I. l'ovocyte II est au-dessus et ainsi de suite jusqu'au germarium d'où ils s'individualisent (LAUNOIS, 1972). On peut donc observer différentes zones dans l'ovariole, en progressant de l'apex vers la base (fig.5):

- Le germarium ou zone germinative qui contient les ovogonies ou cellules germinales primordiales.
- Le prévitellarium qui contient les ovocytes primaires.
- Le vitellarium où les cellules se chargent en vitellus blanc, puis jaune, avant de s'envelopper d'une fine pellicule protectrice qui est le chorion.
- Le pédicelle à la base des ovarioles par lequel glisse l'ovocyte mûr vers le calice lors de l'ovulation (DURANTON et *al.*, 1982a).

Chaque ovocyte est enveloppé d'un épithélium folliculaire limité extérieurement par la *tunica propria*. L'ensemble de la file de cellules germinales est entouré d'une gaine conjonctive feutrée de trachées et de trachéoles (LAUNOIS, 1972).

L'aspect général des ovarioles diffère chez les jeunes femelles et chez celles qui ont pondu de nombreuses fois (plus de 3 pontes). Chez ces dernières, la gaine conjonctive est distendue, les ovocytes en prévitellogenèse sont plus gros que ceux observés chez les jeunes reproductrices et leur nombre est faible. Le pédicelle de l'ovariole est gonflé et déformé par l'entassement des traces de pontes et des corps de résorption successifs (DURANTON et *al.*, 1982b ; LAUNOIS-LUONG, 1978).

DURANTON et *al.*, 1987 mentionne que le nombre d'ovarioles par ovaire chez les femelles grégaires se trouve réduit en phase grégaire.

Effet du bio pesticide « Green Muscle » (*Metarhizium anisopliae* var *acridum* IMI 330189) sur la reproduction du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775) (Acrididae, Cyrtacanthacridinae) en conditions contrôlées.

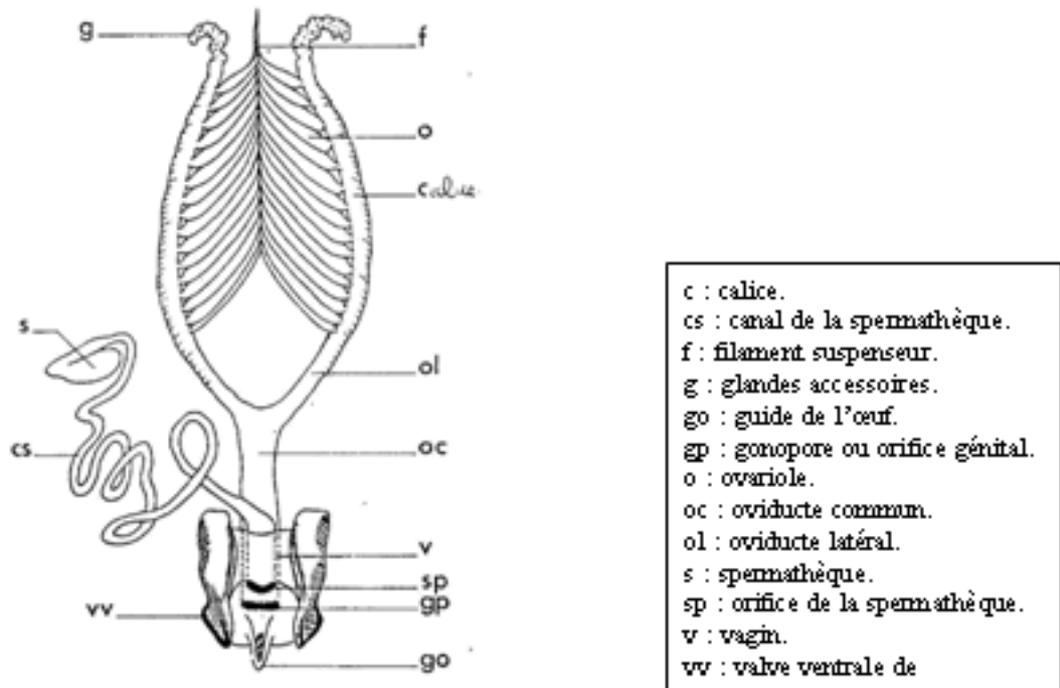


Figure 4 : Schéma de l'appareil génital d'une femelle d'un acridien (DURANTON et al, 1982 a)

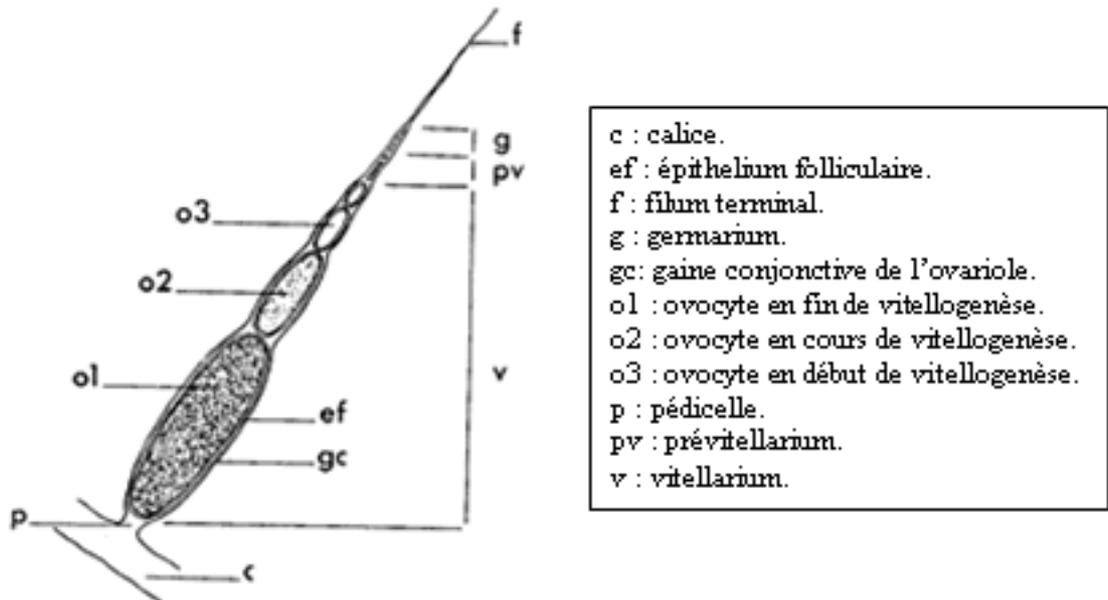


Figure 5 : Schéma d'un ovariole d'une femelle n'ayant pas encore pondu (DURANTON et al, 1982 a)

1.4.1.3. Fonctionnement ovarien

Chez les mâles, la fonction de reproduction est encore peu étudiée. Le fonctionnement des ovaires d'acridiens a fait l'objet d'un plus grand nombre de recherches, à cause de la nécessité de connaître la production des œufs pour estimer le potentiel d'expansion d'une espèce en milieu naturel (DURANTON et al., 1982a).

I.4.1.3.1. Ovogenèse (développement ovarien)

Les ovaires des femelles venant de muer sont petits et blancs (fig.6). Il est souvent difficile de distinguer les ovarioles à cause de l'importance de l'arbre trachéen et trachéolaire. Pendant la phase d'accumulation du corps gras, les ovocytes évoluent lentement. La croissance s'accélère pendant la vitellogenèse et l'aspect global des ovaires change considérablement (fig.7). La mise en place des réserves vitellines jaunes commence par l'ovocyte situé le plus près de l'oviducte qui se produit simultanément dans tous les ovarioles des deux ovaires. L'ovocyte sus-jacent ne commence généralement sa vitellogenèse que lorsque l'ovocyte basal a presque achevé la sienne, la hiérarchie des croissances se conserve tout au long de l'ovariole. Lorsque la vitellogenèse s'achève, l'ovocyte a environ sept millimètres de long. Les cellules folliculaires secrètent le chorion. Il y a ovulation, transit dans les canaux, puis expulsion des œufs en une première ponte. Le deuxième ovocyte de chaque ovariole poursuit sa croissance pour former les œufs de la ponte suivante (LAUNOIS, 1972 ; LAUNOIS-LUONG, 1978).

Chez les acridiens, tous les ovocytes d'un même rang participent en principe au même cycle de vitellogenèse. Ce n'est que dans des cas exceptionnels de désynchronisation du fonctionnement ovarien (virginité prolongée des femelles, variations brusques des conditions d'environnement) que des ovocytes d'ordre différent peuvent, par le jeu complexe de résorption et de rattrapage de croissance, aboutir à des œufs émis dans une même ponte (DURANTON et al., 1982a).

I.4.1.3.2. Ovulation et corps résiduel

L'ovulation est provoquée par les contractions des oviductes latéraux. Elle se produit dès que l'ovocyte a un chorion. La tunique folliculaire se détache à sa base, la cellule reproductrice est expulsée dans le calice à travers le pédicelle distendu. Privée de support central, la tunique folliculaire se rétracte jusqu'à former une petite boule opalescente, blanchâtre. Cette dernière caractérise l'ovulation car elle constitue une véritable trace de ponte (fig.8). La trace de ponte est appelée également « corps résiduel » car elle représente la dépouille de l'ovocyte (RACCAUD-SCHOELLER, 1980 ; LAUNOIS, 1972).



Figure 6 : Ovaire d'une femelle au stade juvénile G×10 (ORIGINALE).



Figure 7 : Ovaire d'une femelle au stade vitellogénèse Gx10 (ORIGINALE).

D'après PAPILLON et LAUVERJAT (1975) cités par LAUNOIS-LUONG (1978), la persistance des follicules vides chez *Schistocerca gregaria* est de courte durée 3 à 5 jours. Une synthèse de lipides se poursuit dans ces cellules vides, de sorte que leur cavité s'emplit de triglycérides associés à un pigment orangé. Les lipides sont ensuite résorbés et le pigment se cristallise ce qui justifie la couleur jaune orangé (LUSIS, 1963).

1.4.1.3.3. Dégénérescence et corps de résorption

La vitellogenèse peut être interrompue par la résorption ovocytaire qui est un processus d'adaptation à des situations défavorables en donnant une chance aux femelles de produire quelques œufs dans le cas justement où la vitellogenèse de tous les ovocytes ne peut aboutir (LAUNOIS-LUONG, 1978).

Chez *Schistocerca gregaria*, ce phénomène peut affecter un ovocyte à n'importe quel stade de son évolution, mais se produit de préférence à l'une ou l'autre extrémité de l'ovariole. Certaines cellules folliculeuses « lécitholytiques » envahissent l'ovocyte, résorbent le vitellus glycoprotéique et se chargent d'enclaves avant de dégénérer elles-mêmes. Le vitellus lipidique est également résorbé. L'ovocyte se fripe puis se tasse en une boule appelée « corps de résorption » qui est de petite taille et de couleur ocre orange (fig. 8). La résorption s'accompagne d'une diminution considérable de la taille du follicule qui se vide de sa plus grande partie de ses réserves et d'une apparition de pigments qui proviendraient de la cristallisation du carotène (dissous dans les inclusions de triglycérides) (LUSIS, 1963 ; MARTOJA, 1966 cité par GRASSE, 1977).

La taille et le degré de coloration des corps de résorption sont proportionnels à la quantité de vitellus déjà déposé dans l'ovocyte au moment de sa régression. Les corps de résorption définitifs ont une coloration rouge vif (DESCAMPS & WINTREBERT, 1961 cités par LAUNOIS, 1972; GRASSE, 1977).

1.4.1.3.4. Action de l'hormone juvénile sur le développement ovarien

Le développement ovarien nécessite des quantités importantes de matériaux protéiques et lipidiques. L'hormone juvénile peut intervenir en stimulant la synthèse ou l'assimilation de ces matériaux en provoquant la mobilisation et le transport des réserves accumulées dans le corps gras vers les ovocytes par pynocytose. Parmi les substances ainsi mises à la

disposition de l'ovaire, la plus importante semble la vitellogénine (désignée comme protéine sexuelle) qui est une glycoprotéine que l'on rencontre dans l'hémolymphe des femelles en vitellogenèse.

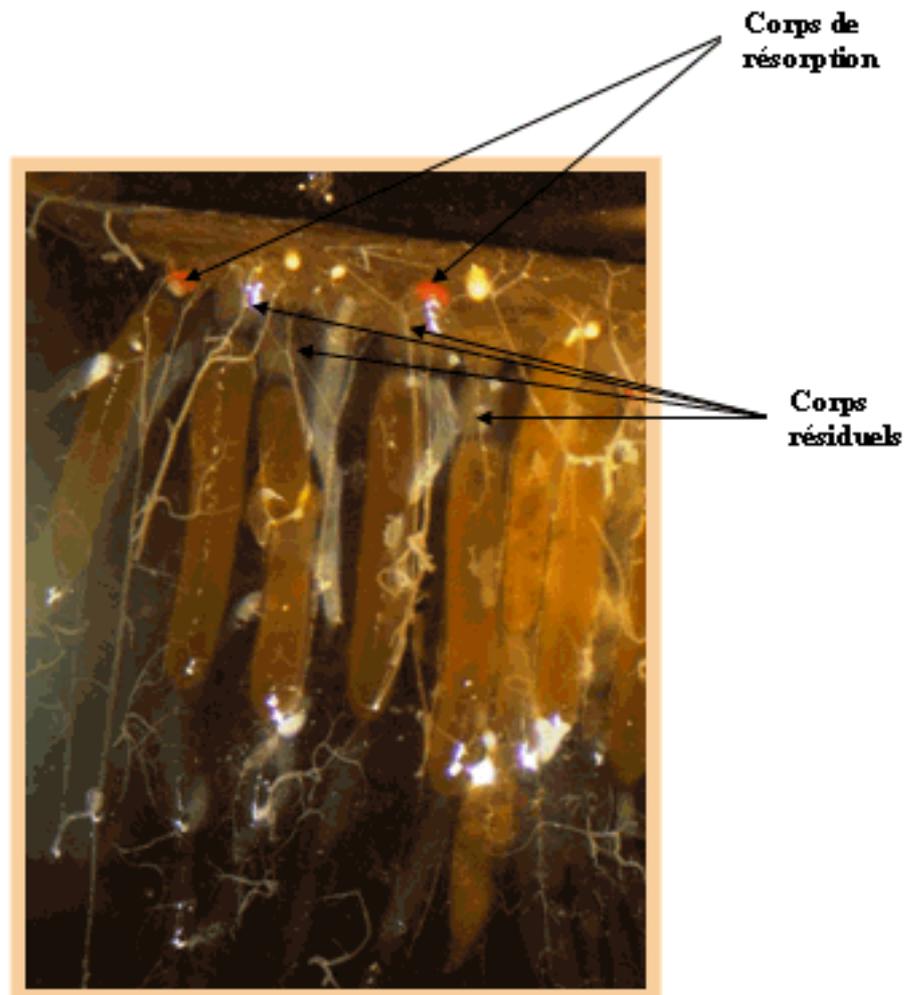


Figure 8 : Corps résiduel et corps de régression chez le criquet pèlerin G×10 (ORIGINAL)

Cette dernière n'existe pas ou alors à un taux très faible dans l'hémolymphe des mâles, des larves ou des femelles immatures (GRASSE, 1977; GIRARDIE, 1991)

I.4.2. Maturation sexuelle

L'insecte parvenu au stade imaginal n'est le plus souvent pas encore apte à se reproduire et doit encore subir une maturation avant que son système reproducteur ne soit apte à fonctionner (GRASSE, 1977).

Dès que le Criquet pèlerin rencontre des conditions favorables à la reproduction, les populations deviennent sexuellement matures. Cette acquisition de la maturité sexuelle peut se faire très rapidement ou après un délai de quiescence plus ou moins long si des conditions favorables n'ont pas été découvertes immédiatement. Les criquets mâles commencent leur maturation les premiers. Ils dégagent des substances chimiques (phéromones) qui déclenchent la maturation des femelles en stimulant leur système

endocrinien et aussi celui des mâles dont la maturation n'a pas encore commencé (DURANTON et LECOQ, 1990 ; FERENZ & SEIDELMANN, 2003).

Chez les individus grégaires, les mâles matures dégagent par les ailes et les pattes une phéromone sexuelle appelée phenylacétonitrile ou benzylcyanide qui serait responsable de l'accélération de la vitellogenèse et de la maturation des imagos mâles immatures. Cette phéromone joue également un rôle important dans la grégarisation chez le criquet pèlerin (FERENZ & SEIDELMANN, 2003 ; SEIDELMANN et *al.*, 2003).

Le déclenchement de la maturation sexuelle du criquet pèlerin solitaire sur le terrain coïncide avec l'éclatement des bourgeons de certaines plantes du désert (HASSANALI et *al.*, 2005).

I.4.2.1. Conditions écologiques liées à la maturation

La maturation sexuelle est en fonction de certaines conditions écologiques telles que la pluviosité, la température, la disponibilité de nourriture et la photopériode.

D'après SYMMONS et *al.* (2003), les conditions favorables à la maturation sont généralement associées à la pluie. Si la végétation est abondante, les températures journalières maximales égales ou supérieures à 35°C et que les précipitations permettent la croissance de la végétation, les ailés pourront probablement pondre leurs œufs trois semaines après la mue imaginale. A l'inverse, dans des conditions sèches, les ailés peuvent survivre à l'état immature pendant six mois ou plus. BENHALIMA et *al.* (1983) indiquent également que les saisons sèches empêchent ou gênent la reproduction des acridiens en bloquant le fonctionnement ovarien.

ALBRECHT (1967) signale que la maturation de *S. gregaria* est conditionnée par le régime des pluies d'une manière indirecte car la chute des pluies provoque l'éclatement des bourgeons et l'accroissement de la teneur des buissons en substances aromatiques qui provoquent l'accélération du processus de maturation de cette espèce. Des essais au laboratoire ont été réalisés récemment dans ce sens : en effet l'exposition des imagos immatures de *Schistocerca gregaria* aux substances aromatiques de certaines plantes du désert a provoqué l'apparition précoce de la teinte jaune et le début de l'activité reproductrice des mâles. Les femelles ont montré également une accélération de l'ovogenèse et de l'oviposition (VAN HUIS, 1995 ; ASSAD et *al.* 1997; HASSANALI et *al.*, 2005).

PREDTETCHENSKY (1935) cité par LATCHININSKY et LAUNOIS-LUONG (1997) mentionne que la période d'accumulation des réserves de corps gras et de maturation sexuelle est amplement dépendante des conditions thermiques. Un autre facteur influant sur la maturation sexuelle est l'alimentation car des imagos, insuffisamment nourris, élevés à 35-40°C sont restés roses et immatures (TELENGA, 1930 cité par LATCHININSKY et LAUNOIS-LUONG, 1997).

I.4.3. Accouplement

La période d'accouplement chez *Schistocerca gregaria* commence lorsque la femelle débute sa vitellogenèse. Elle se termine avec l'oviposition. En effet les femelles acceptent de s'accoupler uniquement durant cette période. Pour cela, ces dernières manifestent certains comportements ou alors dégagent une phéromone sexuelle (acide pentanoïc) produite durant l'ovogenèse qui stimule le comportement sexuelle des mâles mûres (FERENZ & SEIDELMANN, 2003).

Le mâle mûre de *S. gregaria* pratique l'embuscade en s'agrippant à la femelle en position chevauchée lorsque celle-ci passe à proximité. Il se cramponne au dos de cette dernière par ses deux premières paires de pattes et glisse son abdomen sous celui de sa partenaire. La troisième paire reste disponible pour chasser un mâle intrus ou pour striduler (fig. 9). (DURANTON et al., 1982a).

Lorsque la densité des criquets est importante, la compétition spermatique devient plus préoccupante que les possibilités de ré accouplement pour les mâles. Contrairement au criquet migrateur, le criquet pèlerin ne possède pas la faculté de déposer un spermatophore ou un tampon obturateur dans les voies génitales femelles qui bloquerait le système gonadotrope de cette dernière lui évitant ainsi un éventuel ré accouplement avant la prochaine ponte. C'est pourquoi, la mâle tente de rester le plus longtemps possible agrippé à la femelle (après l'accouplement) jusqu'à l'oviposition pour lui servir de protection contre les autres mâles et s'assurer ainsi que les œufs pondus seront fécondés par son liquide séminale (FERENZ & SEIDELMANN, 2003).

Le mâle grégaire de *S. gregaria* dégage de ce fait une quantité considérable de phénylacétonitrile lorsqu'il devient mature pour attirer d'une part la femelle et pour éviter d'autre part le phénomène d'homosexualité et de rivalité notamment avec les autres mâles. La quantité de phénylacétonitrile dégagee augmente en fonction du nombre de mâles se trouvant dans le même périmètre que ce dernier (FERENZ & SEIDELMANN, 2003).

I.4.4. Fécondation

La fécondation a lieu immédiatement après l'ovulation. Lors de la descente des ovocytes le long des voies génitales, quelques spermatozoïdes quittent la spermathèque et pénètrent ensuite dans l'œuf par les micropyles (RACCAUD-SCHOELLER, 1980). Le délai de conservation des spermatozoïdes dans la spermathèque est déterminé par le délai habituel entre la copulation et la ponte (GRASSE, 1977).



Figure 9 : Accouplement de *Schistocerca gregaria* et détail de la patte antérieure du mâle agrippant le pronotum de la femelle (DURANTON et al., 1982a).

I.4.5. Oviposition

Une femelle prête à pondre est agitée. Les valves de l'oviscapte s'ouvrent et se referment alternativement. Des tentatives de forages sont effectuées jusqu'à ce que la reproductrice trouve un lieu de ponte favorable. Les valves génitales et les cerques sont équipés de

sensilles capables d'apprécier les qualités physiques, chimiques, et physico-chimiques du substrat (DURANTON et *al.*, 1982a).

Afin de réaliser le trou de ponte par forage du sol, la distension de l'abdomen de la femelle peut atteindre trois fois sa taille au repos. Suite à cela, cette dernière commence par déposer de la matière spumeuse produite par les glandes accessoires, les calices et les oviductes avant d'émettre les œufs par disposition symétrique. La ponte se termine par un deuxième dépôt spumeux plus important que le précédant pour former le bouchon spumeux. (DURANTON et *al.*, 1982a).

Généralement, les femelles de Criquet pèlerin pondent peu de fois dans la nature. Trois à quatre pontes chez les solitaires, deux à trois seulement chez les grégaires. Le nombre moyen de ponte par femelle diminue avec le vieillissement de cette dernière (DURANTON et LECOQ, 1990).

I.4.5.1. Conditions écologiques et phasaires liées à la ponte

La ponte a lieu lorsque la femelle se trouve dans des conditions écologiques déterminées. Elle se produit à n'importe quel moment du jour ou de la nuit dans un sol suffisamment humide entre 5 et 15 cm de profondeur pour assurer à la fois le développement des oeufs et la croissance de la végétation dont se nourriront ultérieurement les larves et les jeunes imagos issus de ces pontes. Dans la nature, les femelles évitent de pondre dans les sols très argileux, rocailleux et les sols salins. Si toutefois ces dernières n'arrivent pas à trouver un site approprié, elles conservent pleinement leurs œufs durant trois jours mais pas au delà (GRASSE, 1977; DURANTON et LECOQ, 1990; ROFFEY & MAGOR, 2003).

Chez le criquet pèlerin solitaire, la ponte s'effectue dans un sol humide à proximité de certaines plantes du désert. Des études ont été réalisées dans ce sens au Soudan et ont montré que la plupart des œufs émis par les femelles ont été retrouvés à côté d'*Heliotropium* *sp* et *Pennisetum americanum* (BASHIR et *al.*, 2000).

Les criquets grégaires par contre, effectuent leur ponte dans des sites humides caractérisés par une végétation dense. L'oviposition chez ces derniers constitue la manière principale de transmission des caractères grégarigènes à leur descendance. Et cela, d'une part par le biais de la matière spumeuse qui contient le facteur grégarisant et d'autre part par le regroupement des oothèques dans le même site ce qui favorise le phénomène de cohésion des individus issus de ces pontes (fig.10) (HASSANALI et *al.*, 2005 ; MOUMEN et BEN HAMOUDA, 2001).

Deux hypothèses ont été faites à ce sujet, les femelles grégaires auraient tendance à pondre leurs oothèques dans le même sites soit sous l'effet de la densité due à l'hormone masculine « Phenylacetonitrile » responsable de la grégarisation ou alors sous l'effet d'une autre phéromone dégagée par les femelles lors de la ponte qui reste imprégnée sur la matière spumeuse (VAN HUIS, 1995 ; BASHIR et *al.*, 2000 ; HASSANALI et *al.*, 2005).

Les femelles solitaires répondent fortement à la présence des oothèques des individus grégaires en effectuant leur ponte à côté de ces dernières plutôt qu'à proximité de leurs plantes préférées du désert (BASHIR et *al.*, 2000 ; HASSANALI et *al.*, 2005).

I.5. L'alimentation chez le criquet pèlerin

La nourriture ingérée par l'insecte doit lui assurer ses besoins nutritionnels et énergétiques essentiels à l'entretien de ses organes pour une croissance et une reproduction normales.

L'acridien trouve dans son régime phytophage habituel les éléments nécessaires à cela (RACCAUD-SHOELLER, 1980 ; DURANTON *et al.*, 1982a ; BEHMER, 2004).

Selon DURANTON *et al.*, 1982a, 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 nourriture suivie d'ingestion.

1.5.1. La quête alimentaire

L'acridien repère les plantes dont il peut se nourrir par l'utilisation de la vision ou de l'odorat pour les faibles distances grâce aux chimiorécepteurs. En effet, dès que l'acridien touche une plante, les mécanorécepteurs et les chimiorécepteurs de contact entrent en action. Les stimuli physiques et les stimuli chimiques renseignent l'insecte sur la nature de la plante qu'il va mordre (DURANTON *et al.*, 1982a).

1.5.2. Le choix des aliments

D'après LOUVEAUX *et al.* (1983), la valeur énergétique globale est un élément d'appréciation de la qualité de l'aliment.



Figure 10 : Regroupement des oothèques dans le même champs de ponte chez les grégaires (ANONYME, 2008a)

Le choix de la nourriture chez les criquets est conditionné par plusieurs facteurs entre autres : l'abondance de la plante hôte, la teneur en eau de la plante et l'état d'hydratation de l'insecte. (LEGALL, 1989).

STCHERBINOVSKY (1952) cité par LATCHININSKY & LAUNOIS- LUONG, 1997), rappelle que le régime alimentaire influe sur les performances génésiques du Criquet pèlerin. Nourries avec du chou, les femelles pondent en moyenne 6 fois, avec du maïs elles

ne produisent plus que 1,7 à 3,7 pontes par femelle. Avec *Aerva javanica*, la plupart des femelles sont restées stériles avec une moyenne de 0,4 oothèque.

1.5.2.1. Les plantes appétantes

Selon STCHERBINOVSKY (1952) cité par LATCHININSKY & LAUNOIS- LUONG, 1997), le nombre d'espèces végétales consommées par le criquet pèlerin approche de 400. Le criquet pèlerin se nourrit d'une grande variété de plantes, depuis les petites herbes et graminées jusqu'au grandes arbres. Ainsi, des plantes cultivées, aussi différentes que les céréales et les citronniers peuvent être l'objet de ses attaques (ROFFEY, 1963 cité par GUENDOUZ-BENRIMA, 2005).

REGNIER (1931) cité par TAIL (1998) signale que malgré sa polyphagie, *S. gregaria* présente une préférence marquée pour les crucifères, les graminées, les légumineuses ainsi que pour les jeunes pousses de l'olivier.

De nombreuses observations, faites sur le terrain concernant le spectre alimentaire du Criquet pèlerin, signalent qu'en phase solitaire *S. gregaria* consomme parfaitement certaines Crucifères comme *Farsetia ramosissima* (Hochst), *Farsetia aegyptiaca* (Turra), *Malcomia aegyptiaca* (Spreng), *Morettia canescens* (Boiss), *Schouwia purpurea* (Forsk). La consommation de ces plantes serait en rapport avec leur teneur en sinigrine(thioglucoside caractéristique des Crucifères)(ASPIROT et LAUGE, 1981).

ASSAD et al. 1997 et BASHIR et al. (2000) notent que sur la cote soudanaise, les individus solitaires de cette espèce manifestent une préférence marquée pour *Heliotropium ramossisimum*. D'autres auteurs associent la présence de *S. gregaria* à la présence de *Schouwia thebaica* et *Tribulus terrester* (GUENDOUZ-BENRIMA, 2005).

DESPLAND et SIMPSON (2005) ainsi que SIMPSON et al. (2002) signalent que les imagos grégaires auraient tendance à se nourrir de manière alternative de certaines plantes pauvres en alcaloïdes et d'autres riches en hyosciamine. En effet les individus grégaires adoptent cette stratégie de défense pour se prémunir des attaques des prédateurs car ces derniers ont la possibilité de sentir la substance toxique d'hyosciamine. Cet effet répulsif leur est indiqué également par la couleur jaunâtre.

1.5.2.2. Les plantes répulsives

Le refus de consommation par un grand nombre d'insectes à l'égard de certaines plantes hôtes est dû à la présence de substances naturelles allélochimiques répulsives et/ou toxiques. Ces composés permettent aux plantes de se prémunir contre les attaques dévastatrices des ravageurs. Cette stratégie de défense adoptée par les plantes hôtes est toutefois détournée par certains herbivores qui, en parallèle, ont développé des pouvoirs chimiques de neutralisation de ces substances toxiques (OULD AHMEDOU et al., 2001).

Plusieurs espèces végétales sont connues pour leur pouvoir insecticide parmi lesquelles, le neem: *Azadirachta indica* et *Melia volkensii* ont fait preuve d'une action remarquable sur plusieurs insectes nuisibles dont en particulier le criquet pèlerin. D'autres espèces végétales telles que *Citrillus colocynthis*, *Cestrum parquii* et *Glinus lotoides* se distinguent par un pouvoir répulsif vis à vis des criquets dont les extraits provoquent également des mortalités sur les larves du criquet pèlerin (DURANTON et al., 1982a ; BARBOUCHE et al., 2001; OULD AHMEDOU et al., 2001).

Lors des recrudescences des populations du criquet pèlerin en 1995 dans le Sud Marocain, ABBASSI et al. (2003a) et ABBASSI et al. (2003b) ont noté que trois espèces

végétales ont été épargnées par les attaques de cet acridien ; il s'agit de *Peganum harmala*, *Calotropis procera* et *Zygophyllum gaetulum*. Ces auteurs ont démontré par la suite que les extraits des feuilles de ces plantes étaient toxiques, anti-appétants et réduiraient la fécondité et la fertilité des femelles de *S. gregaria*.

I.5.3. La prise de nourriture et l'ingestion

Dans la mesure où le criquet n'est pas dissuadé par la plante avant morsure, ce dernier poursuit son investigation en mordant la feuille, la fleur ou la graine (DURANTON *et al.*, 1982).

S. gregaria module sa consommation en fonction du caractère plus ou moins phagostimulant de l'aliment (ASPIROT et LAUGE, 1981).

Les acridiens ajustent leur prise de nourriture en assurant un équilibre entre les protéines et les hydrates de carbone. Lorsque une plante est d'une faible valeur nutritive et ne contient pas de substances toxiques, les insectes augmentent leurs prises de nourritures, pour compenser les déficiences de celles-ci en éléments nutritifs (BEHMER *et al.*, 2001 ; SIMPSON *et al.* 2002 ; VAN DER ZEE *et al.*, 2002 BEHMER & JOERN, 2008).

Les stimuli chimiques perçus par les récepteurs sensoriels préoraux, non seulement guident les insectes dans la reconnaissance de la plante hôte, mais contrôlent aussi la quantité de nourriture prise (ASPIROT et LAUGE, 1981).

L'eau est par ailleurs, considérée comme un phagostimulant, mais son excès dans l'aliment influence, comme son insuffisance, la prise de nourriture et peut même constituer un facteur limitant ou affecter la croissance (BENHALIMA *et al.*, 1983).

La température et l'humidité relative sont parmi les facteurs qui influencent la prise de nourriture (GHAOUT, 1990).

Chez le Criquet, les repas durent quelque minutes en continu séparés par des intervalles de repos d'une heure et plus. S'il n'est pas perturbé, ce dernier mange jusqu'à ce que son jabot soit plein, ce qui représente environ 15% du poids du corps. Il utilise de 20 à 80% des aliments consommés, le surplus ou les éléments non digestibles sont rejetés à l'extérieur du corps (DURANTON *et al.*, 1982a).

La quantité de nourriture absorbée dépend donc de la taille mais aussi de l'âge physiologique des individus. Chez le très jeune ailé, la quantité ingérée est importante durant la période de durcissement cuticulaire et du développement des muscles du vol, des gonades et du corps gras ; elle diminue ensuite avec l'âge. (MORDUE and HILL, 1970).

I.6. Dégâts et importance économique

Le criquet pèlerin est l'un des ravageurs les plus redoutables à l'échelle planétaire. Des chroniques médiévales certifient que ses ravages ont continué de façon ininterrompue, sous forme de crises successives (GUENDOZ-BENRIMA, 2005).

Les invasions de criquet pèlerin ont été reconnues comme une menace pour la production agricole en Afrique et en Asie occidentale pendant des milliers d'années. Ces dernières ont même été à l'origine de certaines épidémies pour l'homme telles que le choléra (à cause de quantités massives de cadavres de criquets pèlerins en décomposition qui s'accumulent sur les plages après s'être noyés dans la mer) (SHOWLER, 1996).

Quatre facteurs donnent à cet acridien une importance particulière ; il s'agit de sa grande mobilité, son aire d'invasion très vaste, sa voracité et sa polyphagie en phase grégaire (LECOQ, 1999).

Un essaim de criquet pèlerin comporte un à plusieurs milliers d'individus par m². Ce nombre peut atteindre les 80 millions par km² avec un degré d'infestation supérieur à 1000 km² (STEEDMAN, 1988). D'après ce même auteur, les ailés de *S. gregaria* sont capables de sillonner 100 km par jour tandis que les larves parcourent environ 1,5 km/jour.

SHOWLER (2002) signale qu'une invasion généralisée comporte des centaines voir des milliers d'essaims.

Sachant qu'un individu de criquet pèlerin arrive à consommer approximativement son propre poids (2 mg) de végétation fraîche par jour, l'estimation des dégâts sur culture d'un petit essaim de 10 km² serait de l'ordre de 1000 tonnes de végétation dévastée par jour (VAN HUIS, 1995).

Depuis 1880, les invasions du criquet pèlerin ont sévi pendant près de 80 années, soit une moyenne de 2 années sur 3. Huit invasions majeures ont eu lieu entre 1860 et 1990 dont la durée a varié entre 3 à 22 années. L'avant dernière invasion 1986-1989 qui a affecté la majeure partie de l'Afrique a nécessité le traitement de 26 millions d'hectares dans les régions d'Afrique du Nord et du Sahel par l'utilisation de pesticides. La campagne de lutte a coûté 315 millions \$US. Concernant la dernière invasion 2003-2005, environ 100 million \$EU ont été octroyés par les bailleurs de fonds et près de 200 millions \$EU dépensés par les pays concernés sur leurs propres budgets. Les superficies entre octobre 2003 et mai 2005 avoisinent les 13 millions d'hectares (VAN HUIS, 1995 ; BENHALIMA, 2006).

I.7. La lutte contre le criquet pèlerin

Le meilleur objectif à fixer pour les interventions contre les invasions du criquet pèlerin devrait être de les empêcher de se reproduire. Il convient donc d'admettre que pour se prémunir durablement contre ces invasions il faut privilégier la lutte préventive. (RACHADI, 1991)

I.7.1. La lutte préventive

La première ligne de défense de la lutte antiacridienne contre les invasions doit comprendre les interventions préventives. En effet La prévision des zones de départ des invasions et le traitement de ces zones avant que les insectes n'atteignent des niveaux dévastateurs sont les meilleures pratiques. Pour cela, il est essentiel d'avoir des informations exactes sur les lieux et les périodes de développement et d'augmentation des populations (USAID, 2001).

Des technologies de télédétection sont utilisées pour les programmes de planification et de surveillance de la désertification, de la végétation, des caractéristiques de la surface au sol et d'autres indicateurs d'invasions. Ces technologies qui sont en cours de développement comprennent l'utilisation de radars et des systèmes d'informations géographiques. Les systèmes de positionnement global (GPS) fournissent les coordonnées précises des lieux et zones de reproduction et d'invasions (LOUNIS, 1995 ; USAID, 2001).

La seconde ligne de défense est d'appliquer un traitement localisé par des applications au sol. Cette stratégie implique des mesures importantes en personnel pour pouvoir

s'attaquer directement aux sites d'invasion durant les stades précoces du cycle de vie de l'insecte. (USAID, 2001).

En 1994, le directeur général de la FAO a initié le programme EMPRESS (système de prévention et de réponse rapide contre les ravageurs et maladies transfrontières des animaux et des plantes) qui a pour objectif global la mise en place d'une stratégie de lutte préventive efficace sur l'ensemble de l'aire d'habitat permanent du criquet pèlerin. Ce programme vise à renforcer :

- Une réponse rapide : par des capacités de lutte précoce efficaces (personnel bien formé et équipements adéquats) et respectueuses de l'environnement.
- Une recherche opérationnelle : ayant pour objectif de développer toutes les méthodes et techniques utiles à l'amélioration de la prévention du fléau (BENHALIMA, 2006).

I.7.1.1. Produits utilisés en lutte préventive

La longue persistance d'action de la dieldrine sur la végétation capable de tuer les larves plusieurs semaines après l'application en UBV (en barrières) a rendu possible la stratégie de lutte préventive et permis de maintenir le fléau en période de rémission pendant trente ans jusqu'aux années 1980 où le produit a été jugé trop dangereux pour l'homme et l'environnement d'où l'arrêt définitif de son usage. Suite à la création du programme EMPRESS, cet insecticide a été remplacé par un autre acridicide « le Fipronil » qui possède les mêmes avantages de rémanence sans en présenter les inconvénients de la dieldrine (RACHADI, 1991 ; VAN HUIS, 1995 ; ROY, 2001).

De nombreuses recherches ont été entreprises dans le but de remplacer ou de réduire l'utilisation des pesticides chimiques par des solutions alternatives respectueuses de l'environnement. Plusieurs agents biologiques ont été testés à cet effet au laboratoire et sur terrain parmi lesquels on peut citer les champignons entomopathogènes (*Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Metarhizium flavoviride*), des extraits végétaux (*Melia azedarach* et *Azadirachta indica*), les phéromones, les dérégulateurs de croissance tels que le téflubenzuron ou Dart et l'hexaflumuron ou Consult (JOHNSON et al., 1991 ; KRALL & NASSEH, 1991 ; SHOWLER, 2002 ; USAID, 2001).

Des résultats prometteurs ont été obtenus suite à des expérimentations à grande échelle avec l'entomopathogène *Metarhizium anisopliae* var. *acridum*, et des essais à plus petite échelle avec l'hormone phénylacétonitrile (PAN), qui affecte le comportement de grégarisation du criquet (WADE, 2007).

I.7.2. La lutte curative

Une fois le fléau acridien déclaré, il n'y a plus d'autre alternative que la lutte curative. Le combat doit être organisé en situation d'urgence soit sur des sites précis, soit plus généralement sur des aires très vastes et discontinues. Quand le risque d'invasion généralisée est évident, tous les moyens nationaux et internationaux doivent être coordonnés et mis en oeuvre à bon escient, afin de diminuer les effectifs acridiens en circulation pour ramener la situation sous contrôle et la conduire vers un état de rémission (LAUNOIS-LUONG et RACHADI, 1988 ; RACHADI, 1991).

La lutte curative repose sur une utilisation exclusive de produits acridicides. Ces produits appartiennent aux classes chimiques suivantes : organophosphorés, carbamates et pyréthrénoïdes de synthèse (MOUMEN, 1995 ; DOBSON, 2001).

L'application des pesticides implique au préalable la délimitation de l'espace où évoluent les populations acridiennes. Pour cela l'utilisation de la prospection antiacridienne s'avère impérative.

Selon RACHADI (1991), il est évident que la priorité doit être donnée à la destruction des bandes larvaires sachant que cent hectares de bandes larvaires non traitées peuvent se transformer en deux mille hectares infestés d'ailés. Les ailés, très mobiles en conditions habituelles de température, ainsi que les oeufs dissimulés dans le sol, sont difficiles à atteindre.

La méthode de la lutte antiacridienne la plus fréquemment utilisée est la pulvérisation. Concernant les larves, le choix de ces méthodes se fait en fonction de vocation agricole et la topographie des zones écologiques infestées (EC ; UBV). Les ailés sont traités au sol, c'est-à-dire perchés sur la végétation, soit le matin avant leur envol, soit en fin d'après midi lorsqu'ils se posent de nouveau au sol (DOBSON, 2001).

II. Données bibliographiques sur le Green Muscle ® (*Metarhizium anisopliae* var *acridum*).

Dans cette deuxième partie du 1^{er} chapitre, quelques données bibliographiques sont apportées sur le produit Green Muscle ® par lequel nous avons pu obtenir la souche du champignon entomopathogène *Metarhizium anisopliae* var *acridum* utilisée lors de notre projet de recherche.

II.1. Généralités sur le développement du Green Muscle ®

Le projet LUBILOSA « Lutte Biologique contre les Locustes et les Sauteriaux » a été lancé en 1989 en réponse aux lourdes préoccupations environnementales qui ont suivi l'utilisation intensive des insecticides chimiques au cours de l'invasion de criquet pèlerin de 1986 à 1989. Le but principal de ce projet était de développer un bio pesticide à base de micro-organismes (agents pathogènes) qui pouvait être commercialisé par la suite (LANGEWALD, 1999).

Le projet LUBILOSA a été motivé par la découverte faite par Chris PRIOR qui a montré que les spores fongiques mélangées à du pétrole plutôt qu'à de l'eau gardent non seulement leur pouvoir germinatif plus longtemps dans les conditions climatiques sèches mais aussi sont beaucoup plus infectieux et tuent les insectes dans un délai de temps plus court.

D'autres raisons initiales ont permis à LUBILOSA d'identifier les champignons comme étant l'agent de lutte biologique le plus prometteur. En effet ces derniers, étant une cause fréquente de mortalité dans les populations d'insectes, possèdent le grand avantage par rapport aux autres agents d'infecter leurs hôtes par envahissement direct par le biais de la cuticule sans être ingérés. Bénéfiques également, ces micro-organismes ont l'avantage de pouvoir être produit en culture artificielle en grande quantité et être appliqué à l'aide de l'équipement de pulvérisation ordinaire (PRIOR and GREATHEAD 1989 ; MILNER, 2000 ; DOUTHWAITE et al., 2001).

Deux genres de champignons ont été sélectionnés au départ à cet effet en raison de leur forte pathogénicité vis-à-vis des insectes. Il s'agit du genre *Beauveria* et celui de

Metarhizium. L'équipe de LUBILOSA a choisi *Metarhizium anisopliae var. acridum* en raison de sa présence très répandue en Afrique sahélienne, où il a coévolué avec les sauteriaux et les criquets, de telle sorte que les souches sont spécifiques aux hôtes et que le risque d'infecter les insectes non visés est minimisé. Il s'est avéré également que *Metarhizium anisopliae var acridum* était presque toujours la souche la plus virulente (DOUTHWAITE et al., 2001 ; BIOCONTROLE, 2007).

Les propriétés biologiques et physiques de ce champignon ont donc fait de lui le candidat idéal pour la lutte biologique contre les criquets et les sautéiaux en Afrique. C'est ainsi que LUBILOSA a développé un bio pesticide sous le nom de «Green Muscle® » à base de formulation huileuse de spores de cet entomopathogène. Ce produit est maintenant homologué en Afrique du Sud, dans plusieurs pays ouest africains et au Soudan (LOMER et al., 1999 ; BIOCONTROLE, 2007).

II.2. Présentation et identification de la matière active du Green Muscle® : *Metarhizium anisopliae var acridum*.

Metarhizium est un genre du groupe des champignons anamorphes, autrefois appelés Fungi Imperfecti ou Deuteromycotina mitosporiques. Ce groupe a été créé pour des champignons qui se reproduisent presque toujours asexuellement. L'espèce *Metarhizium anisopliae* est cosmopolite, elle est plus commune dans les zones tropicales et subtropicales et vit saprophytiquement dans la plupart des types de sol comme un pathogène facultatif d'insectes. Les souches qui infectent les criquets sont parmi les plus spécifiques. Sous des conditions naturelles elles infectent presque exclusivement les orthoptères aux antennes courtes (Acridomorpha). Pour cette raison elles ont été classifiées dans une variété séparée, *Metarhizium anisopliae var. acridum* (KOOYMAN, 2007).

Parmi 50 souches de *M. a. var. acridum* On a pu établir que la souche la plus efficace contre un éventail de sauteriaux et d'autres criquets du Sahel était l'isolat IMI 330189. LUBILOSA a donc sélectionné cet isolat comme étant la matière active du bio pesticide Green Muscle® (DOUTHWAITE et al., 2001 ; BIOCONTROLE, 2007).

La taxonomie classique du champignon est basée sur la taille et la forme de la spore; cependant, cela avait semé la confusion par le passé et aujourd'hui, les méthodes moléculaires sont de plus en plus utilisées pour caractériser les micro-organismes. Pour les champignons filamenteux, la méthode privilégiée est la séquence du ribosome de l'ADN (rADN) qui contient les séquences conservées et variables. Avec cette méthode, la souche de LUBILOSA IMI- 330189 est passée du *M. flavoviride* au *M. anisopliae var acridum* (LOMER, 1999).

II.3. Gamme d'hôtes

IMI- 330189 a été isolée du sauteriau *Ornithacris cavroisi* près de Niamey au Niger en 1989. Après être choisi comme l'isolat idéal, il a été testé sur beaucoup d'espèces de criquets ce qui a dévoilé que ce dernier infecte quasiment toutes les espèces acridiennes des familles Acrididae et Pyrgomorphidae, notamment *Schistocerca gregaria*, *Locusta migratoria*, *Locustana pardalina*, *Nomadacris septemfasciata*, *Oedaleus senegalensis* et d'autres espèces du complexe des criquets sahéliens (KOOYMAN, 2007).

Effet du bio pesticide « Green Muscle » (*Metarhizium anisopliae* var *acridum* IMI 330189) sur la reproduction du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775) (Acrididae, Cyrtacanthacridinae) en conditions contrôlées.

La souche IMI- 330189 a également été testée sur les hommes, le bétail, les oiseaux, les lézards, les poissons, les invertébrés aquatiques et terrestres, les abeilles, et d'autres insectes utiles aucun inconvénient particulier n'a été trouvé (LOMER, 1999).

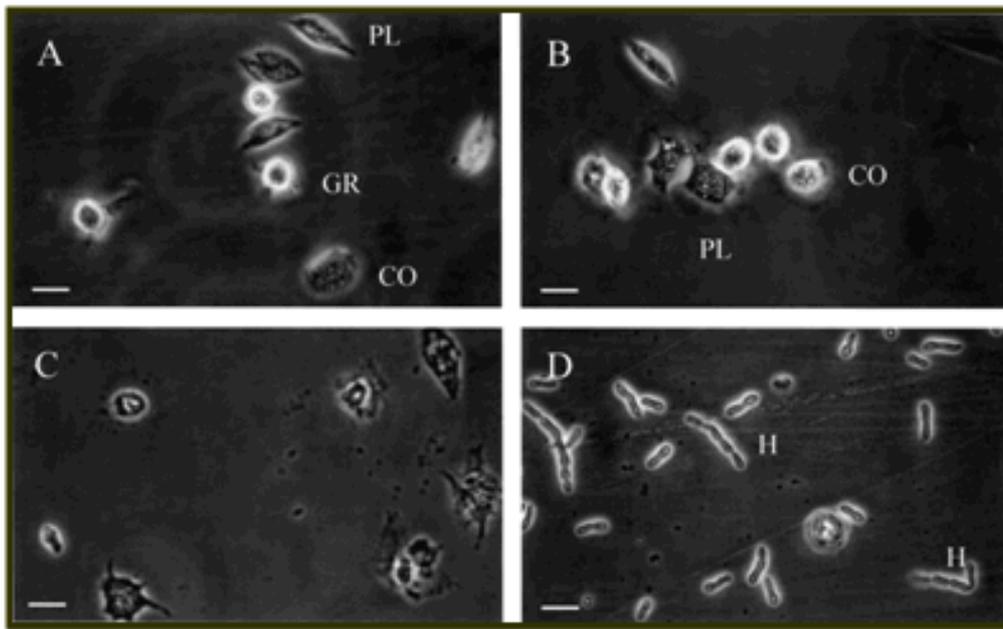
II.4. Mode d'action

Les microchampignons entomopathogènes sont des agents de lutte très intéressants du fait de leur aptitude à infecter l'hôte par ingestion ou par simple contact rendant tous les stades, œuf, larve et adulte sensibles (KOUASSI, 2001).

Les spores qui tombent sur la cuticule de l'insecte ou qui sont ramassées de la végétation, germent après 24 heures (fig. 11). Les hyphes sortant pénètrent la cuticule à l'aide d'enzymes et se désintègrent ensuite en corpuscules hyphales qui se répandent à travers le corps de l'insecte. Ce dernier essaie d'enkyster ces cellules fongiques (surtout quand leur développement est arrêté par une température élevée). Cependant, la plupart sont capables de se libérer au moment où la température devient favorable à nouveau. Les corpuscules hyphales concurrencent alors l'insecte en nutriments, au fur et à mesure que la biomasse fongique augmente (KOOYMAN, 2007). D'après GILLESPIE (1999), le développement des hyphes peut être observé dans l'hémolymphe des criquets à partir du 3^{ème} jour d'inoculation. Ce développement commence à s'intensifier à partir du 4^{ème} jour suivant l'infection accompagné d'une réduction considérable du nombre d'hémocytes (fig. 12). Du mycelium pousse ensuite dans les tissus, lors de ce processus la cuticule rougit ce qui est dû à la production de l'oosporéine par le champignon. Après la mort de l'insecte, du mycélium blanc commence par sortir des articulations. Au bout d'un certain temps, le champignon fructifie et le cadavre devient vert (fig. 13). L'animal est plus ou moins transformé en matière pulvérulente gris-vert et se dissémine peu à peu dans le sol pour infecter d'autres criquets (AMOURIQ, 1973 ; KOUASSI, 2001 ; KOOYMAN, 2007).



Figure 11: Germination des spores de Metarhizium anisopliae var. acridum (KOOYMAN, 2007)



A : Témoin (jour : 0).
B : 1 jour après l'infection.
C : 2 jours après l'infection.
D : 3 jours après l'infection.
CO : coagulocytes
GR : granulocytes.
PL : plasmotocytes.
H : hyphes (développement hyphal).

Figure 12 : Développement du *Metarhizium anisopliae* var *acridum* dans l'hémolymphe de *Schistocerca gregaria* (GILLESPIE, 1999).

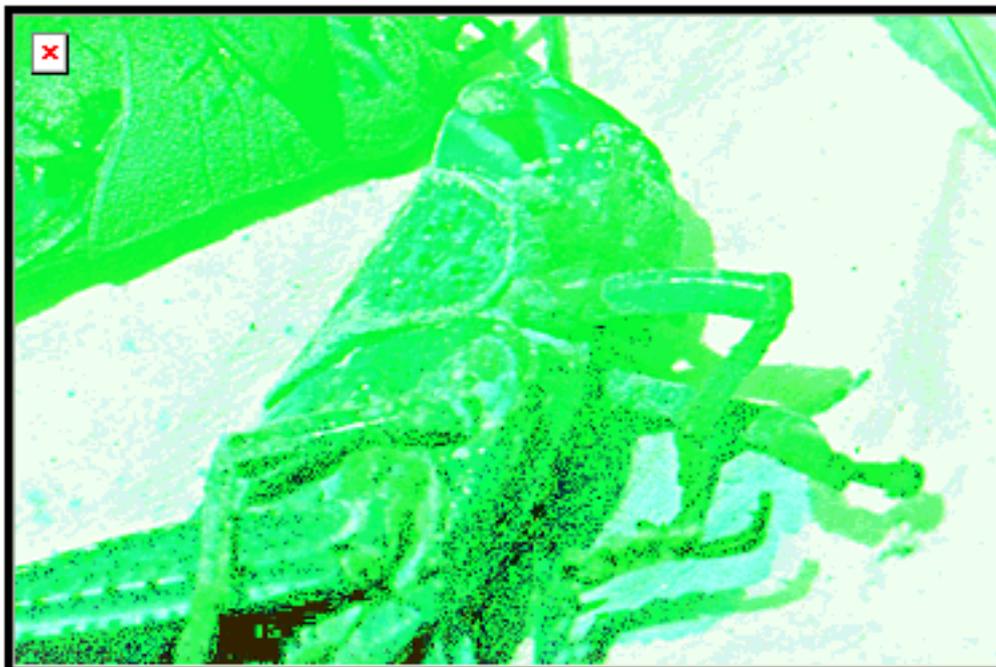


Figure 13 : Larve du criquet nomade couverte par les spores de *Metarhizium anisopliae* var. *acridum* (KOOYMAN, 2007).

II.5. Formulation et application

Le produit Green Muscle ® existe sous forme de poudre de spores sèches en technique concentrée (TC) dans des sachets laminés en aluminium ou alors en concentré liquide et miscible à de l'huile (formulation OF) qui contient 500g/l dans une base huileuse (fig. 14) (LANGEWALD, 1999).

Green Muscle ® est conçu pour être utilisé par la méthode ULV, les spores du *M. a. var. acridum* doivent donc être suspendues dans une huile de formulation (SU : formulation diluée) pour être appliquées à l'aide des pulvérisateurs à disque rotatif de divers types: à main, monté sur un véhicule ou sur un avion. (LOMER, 1999)

Les formulations SU sont toujours huileuses, plutôt qu'aqueuses. Les conidies de champignons sont faciles à conserver et à transporter sous forme de poudres sèches. Ces composants de la formulation SU peuvent être:

Deux sortes de préparation de la formulation peuvent être utilisées pour la suspension et la pulvérisation des spores de *Metarhizium* :

- Technique "standard" (huile minérale): 50% de Shellsol T: 50% d'huile Ondina EL
- Technique "adaptée" (huile végétale): 70% de "paraffine": 30% d'huile d'arachide.

Le kérosène peut être remplacé par le Diesel et l'huile d'arachide par celle du maïs. Le volume d'application est de 0,5 - 2 l / ha ce qui est équivalent à un taux de 100g de spores/ha (LANGEWALD, 1999).

II.6. Conditionnement

Trois facteurs influent sur la dégradation des conidies pendant la conservation et déterminent donc le choix du matériel de conditionnement : humidité, lumière UV, température.



Figure 14 : Bidon de Green Muscle® en formulation OF' (KOOYMAN, 2007)

L'amélioration des formulations a permis d'augmenter la durée d'entreposage des spores jusqu'à quatre ans (BIOCONTROLE, 2007).

II.7. Efficacité du Green Muscle® en plein champ

D'après VAN DER VALK (2007), 32 études portant sur l'efficacité de l'isolat IMI- 330189 du *Metarhizium anisopliae var acridum* contre les acridiens en formulation huileuse ont été réalisées en plein champs. Parmi 9 études concernant le criquet pèlerin réalisées entre 1995 et 2005 en Mauritanie, Niger, Soudan et en Algérie, seuls 6 étaient suffisamment détaillées pour pouvoir être examinées :

La dose actuellement recommandée pour le criquet pèlerin est de $2,5 \times 10^{12}$ conidies/ha ou 50g/ha. La comparaison avec d'autres espèces confirme la vraisemblance de l'efficacité à cette dose cependant les essais effectués à ce jour n'ont pas permis de mettre clairement en évidence la relation dose – effet (MAGOR, 2007)

La température joue le rôle le plus significatif parmi les facteurs déterminants de la virulence du *Metarhizium*. Le plein effet correspondant à une mortalité de 70 à 90 % est normalement atteint entre 14 à 20 jours, le délai étant plus court sous un ciel nuageux et plus long dans des conditions chaudes et ensoleillées (BIOCONTROLE, 2007 ; VAN DER VALK, 2007).

La dose de $2,5 \times 10^{12}$ conidies/ha ou 50g/ha appliquée sur terrain est obtenue par la dilution de 1/10 du produit Green Muscle® en formulation Of qui est concentrée à

Effet du bio pesticide « Green Muscle » (*Metarhizium anisopliae* var *acridum* IMI 330189) sur la reproduction du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775) (Acrididae, Cyrtacanthacridinae) en conditions contrôlées.

$2,5 \times 10^{13}$ conidies/ha (équivalent de 500g/l). Cette dilution se fait par l'utilisation du Diesel (le rapport Green Muscle : Diesel est de 1 :9) (FAO, 2007)

CHAPITRE II : Matériel et méthodes

1. Etude du développement ovarien du criquet pèlerin au laboratoire.

Dans un premier temps, nous nous sommes intéressés à l'étude de la vitellogenèse chez le criquet pèlerin afin d'avoir une idée sur la durée de cette dernière dans les conditions contrôlées de laboratoire.

1.1. Elevage des criquets

Afin d'obtenir le nombre d'individus de *S. gregaria* nécessaire à la réalisation de nos bio essais, un élevage intensif de cette espèce a été conduit au niveau du laboratoire du département de zoologie agricole et forestière à l'Institut National Agronomique d'El-Harrach, Alger.

1.1.1. Elevage des adultes

Les individus sont placés dans deux cages parallélépipédiques de dimensions différentes (100cm×65cm×63cm), fabriquées à partir d'un cadre en bois recouvert d'un grillage en plastique à mailles fines. Une vitre coulissante est placée sur la face de chaque cage afin de faciliter le nettoyage et le renouvellement de la nourriture. Le support des cages (qui est en bois contre-plaqué) comporte des ouvertures circulaires où sont placés les pondoires; ces derniers sont conçus à partir de demi bouteilles en plastique de 25cm de hauteur, remplis de sable stérilisé et humide (fig.15). L'élevage est maintenu à une température comprise entre 25°C et 32°C à l'intérieur de la cage et une humidité relative qui varie de 35% à 75%. Quant à la photopériode qui est de 12h de lumière sur 12h d'obscurité, elle est assurée par une ampoule fixée en haut de chaque cage et reliée à une prise minuterie.

L'alimentation de ces insectes est constituée essentiellement à base de gazon (*Pennisetum dichotomum*), sorgho (*Sorghum vulgare*) et d'un complément protéique à base de son de blé.

Le renouvellement de la nourriture et le nettoyage de la cage sont effectués toutes les 48 heures. Concernant le remplacement des pondoires ayant reçus des pontes ainsi que leur humidification, ils se font quotidiennement.

1.1.2. Récupération des pontes

Les pontes récupérées sont laissées telles qu'elles dans les pots afin d'éviter de trop les manipuler et de détruire le bouchon spumeux (ce dernier en effet va servir à protéger les oeufs et faciliter l'éclosion) (fig.16). Après les avoir recouvertes d'une toile moustiquaire, ces dernières sont laissées en incubation jusqu'à l'éclosion des larves. Le contrôle de l'humidité du sable de ces pots se fait quotidiennement.



Figure 15 : Cage d'élevage des adultes (ORIGINALE).



Figure 16 : pondoires contenant des oothèques (récupération des pontes) (ORIGINALE).

1.1.3. Eleavage des larves.

Les larves de premier stade sont placées dans des cages de plus petites dimensions (62cm×37cm×39cm et 54cm×34cm×40cm), conçues à partir d'un cadre en bois recouvert par de la soie de blutter à mailles très fines. Une ampoule est placée également en haut de chaque cage. Le renouvellement de la nourriture ainsi que le nettoyage de la cage (qui s'effectue toutes les 48h également) sont assurés grâce à une fermeture éclair placée sur la face de chaque cage (fig17).

Les larves vont effectuer tous leurs stades larvaires dans ces deux cages jusqu'au stade ailé et vont servir par la suite soit à la réalisation de nos essais ou alors à renforcer le nombre d'individus se trouvant dans les cages des reproducteurs jusqu'à maturation.

L'élevage des larves est soumis aux mêmes conditions contrôlées que celles des criquets adultes.

1.2. Dissection des femelles et préparation des ovaires.

L'étude des ovaires ne peut se faire que sur des insectes tués récemment. La mise à mort est effectuée par amputation de ces derniers de leur tête et de leurs appendices (DURANTON et *al.*, 1982b). Une ouverture longitudinale allant du thorax jusqu'à l'extrémité abdominale est réalisée par la suite dorsalement à l'aide d'une fine paire de ciseaux. La cuticule est écartée par la suite de part et d'autre en utilisant deux pinces fines. L'appareil génital est alors soulevé délicatement pour être dégagé du reste du contenu abdominal et enfin on coupe les oviductes latéraux au niveau de leur base pour libérer la masse ovarienne.

Les deux ovaires ainsi récupérés sont placés dans une boîte de Pétri en verre contenant de la paraffine recouverte d'un plastique noir et remplie avec du liquide physiologique de Ringer. La séparation de ces derniers se fait en tirant progressivement les extrémités des deux oviductes en sens opposé (fig.18). La fixation de chaque ovaire sur la paraffine s'effectue sous une loupe binoculaire, en éclairage épiscopique, à l'aide de deux épingles entomologiques placées des deux cotés du calice de façon à étaler ce dernier légèrement pour pouvoir différencier les ovarioles les uns des autres.

Effet du bio pesticide « Green Muscle » (*Metarhizium anisopliae* var *acridum* IMI 330189) sur la reproduction du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775) (Acrididae, Cyrtacanthacridinae) en conditions contrôlées.



Figure17: Cage d'élevage des larves (ORIGINALE).

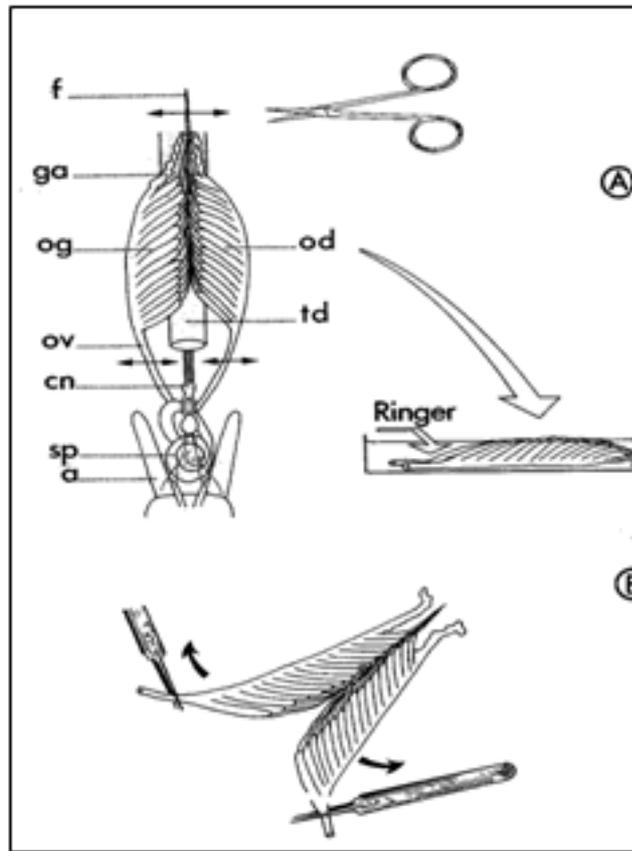


Figure 18: Méthode de préparation des ovaires (DURANTON et al., 1982 b).

A : extraction des ovaires.

B : séparation des ovaires droit et gauche.

a : apodèmes des valves de l'oviscapte.

cn : chaîne nerveuse.

f : filament suspenseur.

ga : glades accessoires.

od : ovaire droit.

og : ovaire gauche.

ov : oviduce.

sp : spermathèque.

td : tube digestif.

Lorsque l'appareil génital appartient à une femelle en phase pré reproductive, il est nécessaire de débarrasser les deux ovaires de la gaine conjonctive enrichie de trachées et de trachéoles (susceptibles de gêner l'observation) afin de pouvoir examiner les ovarioles.

Préparation du liquide de Ringer :

Le liquide de Ringer est préparé selon la formule suivante :

H₂O : eau.....1000g

NACL : chlorure de sodium.....	6,5g
KCL : chlorure de potassium.....	0,15g
CACL2 : chlorure de calcium.....	0,12g
CO3NaH : bicarbonate de sodium.....	0,20g (DURANTON et <i>al.</i> , 1982a).

1.3. Détermination des étapes du développement ovarien (Mesure des ovocytes de base).

Afin de suivre le développement ovarien des imagos de *S. gregaria*, des dissections ont été réalisées sur des femelles depuis le 1er jour suivant l'émergence jusqu'à la maturation complète de ces dernières (à raison de 4 femelles par jour). Nous avons pu déterminer ainsi la durée de chaque stade de développement à savoir le stade juvénile, le stade prévitellogenèse et le stade vitellogenèse. Pour cela, nous avons mesuré la longueur de cinq ovocytes de base pour chaque ovaire à l'aide d'un micromètre oculaire et en notant également la présence et la couleur du dépôt de vitellus.

Concernant la détermination de l'âge des femelles, nous avons procédé au marquage de ces dernières avec un numéro noté sur la face ventrale du pronotum en utilisant un feutre indélébile. Ce numéro correspond en effet à la date d'émergence.

2. Etude de l'effet du champignon entomopathogène *Metarhizium anisopliae* var *acridum* sur quelques paramètres biologiques et physiologiques liés à la reproduction de *Schistocerca gregaria*

La méthodologie adoptée pour l'étude de l'effet du *Metarhizium anisopliae* var *acridum* sur la reproduction des femelles de *Schistocerca gregaria* est résumée dans cette deuxième partie du chapitre II.

2.1. Souche fongique

La souche de *Metarhizium anisopliae* var *acridum* (isolat IMI: 330189) a été isolée à partir de la solution huileuse du "Green Muscle" obtenue au laboratoire de lutte antiacridienne de l'Institut National de Protection des végétaux d'El-Harrach en 2005.

2.2. Mise en culture et purification du *Metarhizium anisopliae* var *acridum*

Après centrifugation de la suspension huileuse en spores "Green Muscle" pendant 10 minutes afin d'éliminer les huiles contenues dans ce produit (fig.19), une petite quantité du précipité obtenu (la masse en spores) est prélevée à l'aide d'une pipette Pasteur à proximité d'un bec benzène pour êtreensemencée sur un milieu nutritif P.D.A. (Potatoes Dextros

Agar) contenu dans des boites de Pétri stériles à moitié remplies. Après les avoir scellées avec du para film, ces dernières sont mises dans une étuve réglée à 24°C.

Au bout de 3 jours d'incubation du champignon et apparition du mycélium, le repiquage de ce dernier est effectué sur d'autres boites de Pétri stériles contenant le même milieu de culture (P.D.A.) dans le but de purifier la souche.

Toutes les manipulations mycologiques à commencer par l'écoulement du milieu de culture dans les boites de Pétri jusqu'à la purification de la souche fongique doivent être effectuées évidemment dans un milieu stérile en travaillant de préférence sous une hôte et à proximité d'un bec benzène.

Enfin, les cultures du *M. anisopliae var acridum* ainsi obtenues sont laissées en incubation à 24±1°C dans l'étuve jusqu'à atteindre un âge qui se situe entre 1 à 3 semaines pour être utilisées dans nos bio essais (fig. 20).

2.3. Traitements des individus.

Le traitement des criquets nécessite la réalisation de certaines étapes telles que la préparation et la détermination de la concentration de la solution entomopathogène ainsi que le choix de la dose utilisée et du mode de traitement.

2.3.1. Préparation de la solution entomopathogène

A l'aide d'une spatule stérile, de petits fragments du champignon en fructification dans les boites de Pétri sont prélevés par grattage de la surface de la boite pour être introduits dans un Erlen Meyer contenant un volume d'eau distillée stérile connu. La solution ainsi obtenue est mise en agitation pendant 15 minutes pour une libération maximale des spores.

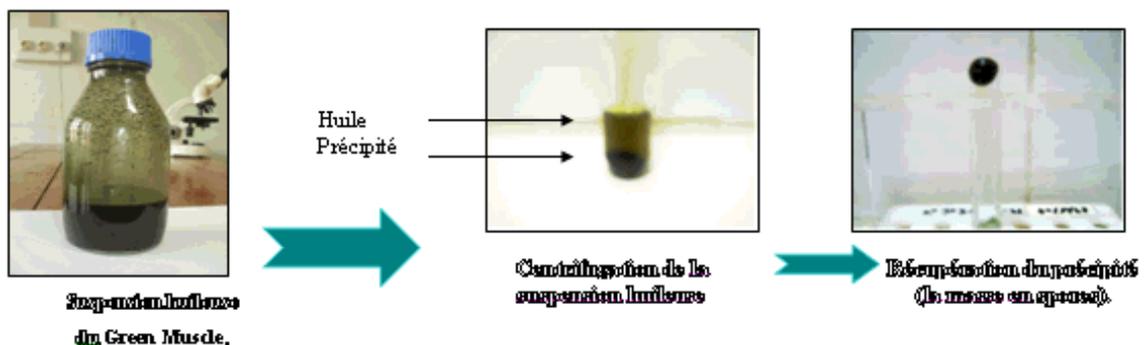
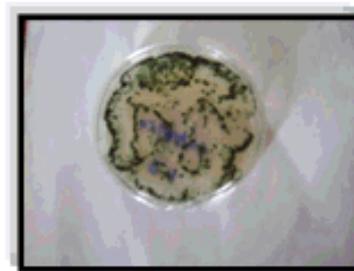


Figure 19 : Centrifugation de la suspension huileuse du produit « Green Muscle » (ORIGINALE).

Effet du bio pesticide « Green Muscle » (*Metarhizium anisopliae* var *acidum* IMI 330189) sur la reproduction du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775) (Acrididae, Cyrtacanthacridinae) en conditions contrôlées.



Colonies âgées de 20 jours

Figure 20 : Développement du Metarhizium anisopliae var acidum sur milieu P.D.A. (ORIGINALE).

2.3.2. Détermination de la concentration de la solution entomopathogène.

La concentration de la solution entomopathogène est évaluée à l'aide d'une cellule hématimétrique "cellule de Malassez". Le principe consiste à compter sous microscope le nombre de spores se trouvant dans les dix carreaux qui constituent les deux diagonales de la cellule. La concentration de la solution est alors déduite selon le fait que 100 spores correspondent à une concentration de 10^6 spores/ml.

$$\text{Concentration de la solution } X = \frac{\text{Nombre de spores comptées} \times 10^6 \text{ spores/ml}}{100 \text{ spores}}$$

2.3.3. Choix de la dose de traitement utilisée

Une dose subléthale du *M. anisopliae* var *acidum* fixée à 1×10^5 spores/ml a été retenue pour le traitement des adultes et des imagos de *S. gregaria* afin de nous permettre de suivre l'effet de cet entomopathogène sur les paramètres biologiques et physiologiques étudiés durant au moins 3 semaines.

Afin d'obtenir cette dose de traitement, nous avons effectué des dilutions de la solution mère (solution entomopathogène obtenue) en se basant sur la formule suivante:

$$C1V1 = C2V2$$

C1 : Concentration de la solution mère.

V1 : Volume de la solution mère.

C2 : Concentration choisie.

V2 : Volume d'eau distillée pour obtenir C2

2.3.4. Mode de traitement

Le traitement des individus a été réalisé par injection de la solution entomopathogène à travers la membrane dorsale, entre les deux premiers segments abdominaux, à l'aide d'une seringue Hamilton (fig.21). Le volume injecté est de 4 μ l/ insecte, le même volume d'eau distillée est injecté aux individus témoins. Étant donnée que la dose de la solution mycologique utilisée est fixée à 1×10^5 spores/ml, la quantité de spores injectée à chaque individu est donc estimée à 4×10^3 .

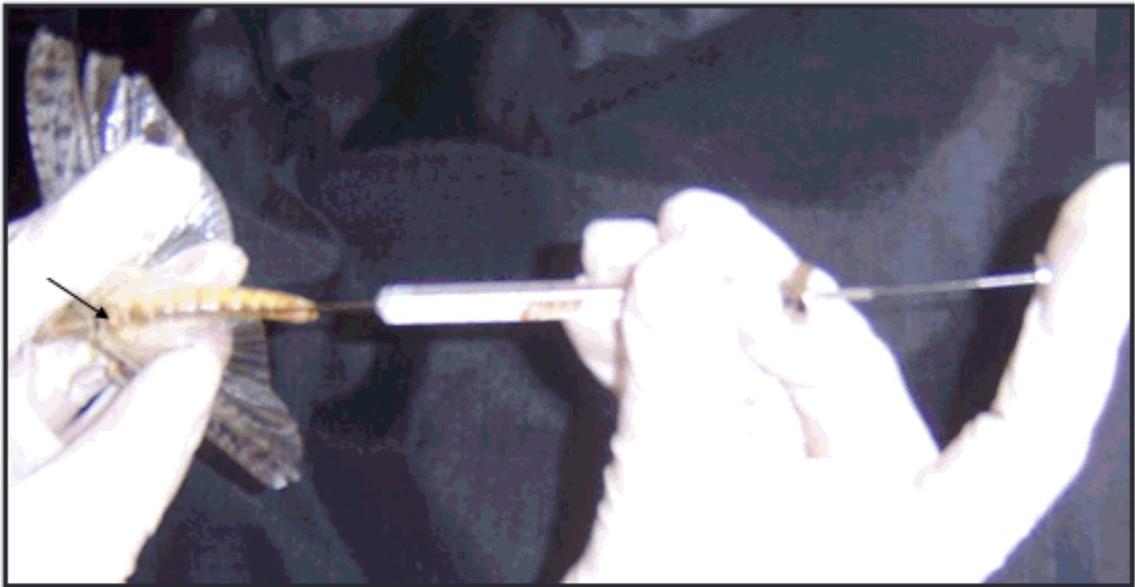


Figure21: Traitement d'un criquet par injection (ORIGINALE).

2.3.5. Description du dispositif expérimental

Le dispositif expérimental utilisé lors de notre étude est constitué par 5 blocs pour chaque stade. Les 2 premiers ont servi de témoins (tem1: individus ayant été injectés par de l'eau distillée, tem 2: individus n'ayant pas été injectés par de l'eau distillée), le reste comme répétitions pour les individus traités. Chaque bloc est représenté par une cage (15cm×30cm×30cm) construite en bois et recouverte avec de la toile moustiquaire. A la base de chaque cage, un pondoir a été placé pour recevoir les oothèques.

Le nombre de couples par bloc a été fixé à 7 couples pour les adultes et 12 couples pour celui des imagos. Les témoins ainsi que les traités ont été soumis aux mêmes conditions photo-thermopériodiques ($30 \pm 2^\circ\text{C}$, 12h de lumière/12h d'obscurité).

2.4. Paramètres étudiés

Afin d'étudier l'effet du *M. anisopliae* sur la reproduction du criquet pèlerin, différents paramètres ont été pris en considération à savoir la mortalité cumulée, l'activité alimentaire, le fonctionnement ovarien des adultes, la maturation sexuelle des imagos, la fertilité des femelles et le taux de protéines hémolympathiques.

2.4.1. Etude de l'effet du *M. anisopliae* sur la mortalité cumulée des adultes et des imagos de *S. gregaria*

Le taux de mortalité cumulée chez les deux stades étudiés suite au traitement est obtenu par l'utilisation de la formule suivante:

$$Mc = \frac{\text{effectif initial} - \text{effectif final}}{\text{Effectif initial}} \times 100 \quad (\text{ABDELLAOUI et al., 2006})$$

2.4.2. Etude de l'effet du *M. anisopliae* var *acridum* sur l'activité alimentaire des adultes et des imagos de *S. gregaria*

Cette étude a été suivie jusqu'à la maturation sexuelle des imagos. Concernant les adultes, leur alimentation a été suivie par contre jusqu'à la mort complète de tous les individus.

L'aliment distribué durant l'expérimentation est à base de sorgho. Tous les blocs reçoivent quotidiennement la même quantité de ce substrat présenté sous forme de bouquet contenu dans un pot rempli d'eau à moitié.

2.4.2.1. Effet sur l'évolution pondérale durant la période post-traitement.

Dans le but d'étudier l'effet du *M. anisopliae* var *acridum* sur l'évolution pondérale des deux stades considérés de *S. gregaria*, les insectes se trouvant dans les différents blocs ont été pesés chaque jour afin de calculer la moyenne pondérale quotidienne des mâles ainsi que celle des femelles

2.4.2.2. Effet sur la consommation

Durant cette étude deux mesures ont été notées quotidiennement:

1. La quantité de matière sèche de l'aliment consommé par individu; en réalisant la moyenne de chaque bloc. Cette quantité est obtenue par le calcul de la différence entre la quantité de matière sèche de l'aliment distribué chaque jour et celle du reste d'aliment récupéré après 24h.
2. Nous avons également quantifié le poids sec moyen des fécès par individu dans chaque bloc.

Le reste de l'aliment ainsi que les fécès récupérés après 24h dans les différentes cages sont mis dans une étuve réglée à 104°C pendant au moins 24h pour obtenir le poids sec avant d'être pesés.

Afin de fixer la quantité de matière sèche contenue dans l'aliment distribué, nous avons pris en considération la moyenne du poids sec de trois échantillons (bouquets de sorgho) séchés à 104°C pendant 24h et ayant le même poids frais que celui distribué quotidiennement.

2.4.2.3. Evaluation des indices nutritionnels de consommation et d'utilisation de la nourriture

Dans le but d'évaluer l'impact du *M. anisopliae* var *acridum* sur l'assimilation et la digestibilité de la nourriture ainsi que la transformation de cette dernière en matière corporelle chez le

criquet pèlerin, nous avons utilisé les indices nutritionnels donnés par WALDBAUER (1968) cité par MORDUE et al. (1970). Ces indices sont les suivants:

- Efficacité de conversion de la nourriture ingérée en matière corporelle

Elle est définie par le rapport entre l'accroissement du poids de l'animal en une période donnée et le poids de la nourriture ingérée au cours de cette même période. Ce rapport est multiplié par cent:

$$E.C.I. = \frac{\text{Gain du poids}}{\text{Poids de la nourriture ingérée}} \times 100$$

- Coefficient approximatif de digestibilité de la matière ingérée

Il est défini par le rapport de la différence entre le poids de la nourriture ingérée et celui des fèces sur le poids de la nourriture ingérée. Ce rapport est multiplié par cent:

$$A.D. = \frac{\text{Pds. nourriture ingérée} - \text{Pds. des fèces}}{\text{Pds. nourriture ingérée}} \times 100$$

- Efficacité de conversion de la nourriture digérée en matière corporelle

Il est appelé également indice d'assimilation de la matière digérée, il est défini par le rapport entre l'accroissement du poids de l'animal et le poids sec de la nourriture retenue de la digestion en un temps donné. Le rapport est multiplié par cent:

$$E.C.D. = \frac{\text{Gain du poids}}{\text{Pds. nourriture ingérée} - \text{pds. Fèces}} \times 100$$

2.4.3. Etude de l'effet du *M. anisopliae* sur le fonctionnement ovarien des adultes de *S. gregaria*.

L'étude du fonctionnement ovarien des adultes est basée sur le taux de résorption ovocytaire observé.

2.4.3.1. Calcul du taux de résorption ovocytaire

Afin d'étudier le taux de régression ovocytaire chez les adultes ayant subi le traitement par l'entomopathogène, nous avons disséqué une femelle par cage tous les trois jours et à partir du 4ème jour qui a suivie le traitement.

Nous avons considéré également 5 ovarioles de chaque ovaire pour chacune des femelles disséquées et au niveau desquels on compte le nombre de corps de résorption du 1er rang ovocytaire. Le pourcentage d'échec à la ponte (%) par individu est calculé par le rapport du nombre d'ovarioles présentant des Cr sur le nombre total d'ovarioles examinés dans les deux ovaires par cent.

2.4.4. Etude de l'effet du *M. anisopliae var acridum* sur la maturation sexuelle des imagos de *S. gregaria*.

La maturation sexuelle des imagos du criquet pèlerin a été évaluée selon la durée du développement ovarien des femelles et des délais d'accouplement et d'oviposition.

2.4.4.1. Influence du traitement sur le développement ovarien.

Afin de suivre l'effet du *M. anisopliae* sur le développement ovarien du criquet pèlerin, des dissections ont été réalisées tous les deux jours (à raison d'une femelle/ bloc) à partir du 3ème jour suivant le traitement. La longueur de l'ovocyte de base a été ainsi mesurée en utilisant un micromètre oculaire. Durant cette étude, nous avons considéré également 5 ovocytes par ovaire (c'est à dire 10 ovocytes par femelle).

2.4.4.2. Influence du traitement sur les délais d'accouplement et d'oviposition

Dans le but de compléter l'étude de l'impact du *M. anisopliae* var *acridum* sur la maturation sexuelle de *S. gregaria*, nous avons jugé utile de déterminer lors de l'expérimentation la durée de la période pré copulatoire qui est définie comme étant la période comprise entre le 1^{er} jour de l'émergence des individus jusqu'au jour où a lieu le premier accouplement. Nous avons pris en considération également le délai d'oviposition c'est à dire le nombre de jours nécessaires aux femelles depuis leur émergence jusqu'à leur première ponte.

2.4.5. Influence du traitement sur la fécondité et la fertilité des femelles

La fécondité des femelles a été estimée pour chaque lot (lot des témoins; lots des traités) par le calcul du nombre d'oothèques pondues et du nombre total d'oeufs émis. La fertilité a été estimée également pour chaque lot par le taux d'éclosion des larves.

2.4.6. Etude de l'effet du *M. anisopliae* sur le taux des protéines hémolymphatiques des imagos et des adultes de *S. gregaria*

Après le prélèvement d'hémolymphe, le taux de protéines contenues dans celle-ci a été dosé en utilisant une méthode colorimétrique.

2.4.6.1. Prélèvement de l'hémolymphe

L'hémolymphe des criquets est prélevée à l'aide d'un tube capillaire en verre par ponction de l'abdomen (fig. 22) en réalisant une très fine incision au niveau de la membrane dorsale, entre les deux premiers segments abdominaux, à l'aide d'une lame ou d'une fine paire de ciseaux. 10 µl d'hémolymphe par insecte sont recueillis dans des tubes Eppendorf. Ces derniers sont conservés dans un congélateur réglé à -20°C jusqu'à utilisation.

2.4.6.2. Dosage quantitatif des protéines

La quantification des protéines contenues dans l'hémolymphe des insectes témoins et traités avec le champignon entomopathogène est réalisée selon la méthode de Bradford (1976). Cette méthode colorimétrique est basée sur l'adsorption du colorant bleu de Coomassie G250 sur les protéines. L'intensité de coloration est directement proportionnelle à la quantité de protéines présente dans la solution. L'absorbance est mesurée à 595 nm, une gamme étalon réalisée avec de la BSA (protéine standard) nous sert de référence. (GILLESPIE, 1999).

Le réactif de Bradford, rouge/brun à l'état libre, prend une teinte bleue quand il est lié aux protéines, il possède un coefficient d'extinction molaire de 595 nm. La préparation de ce réactif se fait comme suit :

Bleu de coomassie G250:.....100mg
Ethanol 95° :.....50ml
Acide orthophosphorique 85% :.....100ml
Eau distillée :.....q.s.p.1000ml.

Il faut signaler que la préparation de ce réactif se fait dans une fiole couverte totalement (avec du papier aluminium par exemple) pour éviter la détérioration de cette solution suite à son contact avec la lumière. Il est conseillé d'ailleurs d'effectuer la manipulation dans un endroit sombre au moment de rajouter le volume d'eau distillée nécessaire. Le dosage nécessite la réalisation d'une gamme étalon préparée à partir d'une série de solutions de B.S.A. (Bovin Sérum Albumine) de concentrations croissantes à partir d'une solution mère de 1 µg/ µl. Afin de faciliter l'obtention de cette concentration, il est possible de procéder par une dilution à 1/10e d'une solution de 10mg/ml de BSA.



Figure 22 : prélèvement de l'hémolymphe par ponction de l'abdomen (ORIGINALE).

La préparation des différentes solutions de la gamme étalon ainsi que des échantillons contenant 10 µ d'hémolymphe se fait selon le tableau suivant :

Tableau n°1 : Composition des solutions de la gamme étalon et des échantillons.

Effet du bio pesticide « Green Muscle » (*Metarhizium anisopliae* var *acridum* IMI 330189) sur la reproduction du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775) (Acrididae, Cyrtacanthacridinae) en conditions contrôlées.

BSA (μ l)	0	4	10	20	30	40	50	échantillons
Eau distillée (ml)	1,6	1,596	1,590	1,580	1,570	1,560	1,550	1,580
Réactif de Bradford (μ l)	400	400	400	400	400	400	400	400

Après avoir incubé les tubes à essai contenant les différentes solutions pendant 5mn à l'obscurité, la lecture de l'absorbance à 595 mn contre le blanc est réalisée en utilisant un spectrophotomètre. La valeur des concentrations protéiques de nos échantillons est alors déduite à partir de la courbe étalon obtenue ($A=f(c)$; A= absorbance et c= concentration protéique.)

2.5. Traitement des données

L'exploitation statistique des résultats obtenus de nos essais a été réalisée, à l'aide du logiciel XLSTAT-Pro 6.0, par l'utilisation de l'analyse de la variance à plusieurs critères de classification qui permet justement de tester la significativité statistique des différences entre les facteurs étudiés. Cette analyse a été complétée par le test de Newman-Keuls (SNK) à intervalle de confiance de 95% afin de connaître le niveau de significativité des facteurs.

CHAPITRE III : RESULTATS

1. Résultats obtenus de l'étude du développement ovarien de *Schistocerca gregaria* au laboratoire.

Le développement ovarien des femelles de *S. gregaria* a été suivi depuis le 1er jour suivant l'émergence jusqu'à la maturation complète de ces dernières. Les résultats obtenus des moyennes quotidiennes de la taille des ovocytes de base (5 ovocytes/ovaire) sont mentionnés dans le tableau n°2 et illustrés par la figure n°23.

Le profil de l'ovariole de *Schistocerca gregaria* est représenté par la figure n°24.

jours	ovaire1 Taille ovocytes mm	ovaire2 Taille ovocytes mm	moy±s Taille ovocytes mm	Stade ovarien	Observations
1 2 3	0,453 0,667 0,828	0,655 0,671 0,804	0,651±0,769 0,669±0,018 0,816±0,013	St. juvenile	
4 5 6 7 8 9 10	1,002 0,982 1,055 1,282 1,483 1,499 1,741	1,046 1,071 1,014 1,147 1,552 1,564 1,653	1,024±0,084 1,026±0,140 1,034±0,048 1,214±0,159 1,517±0,068 1,531±0,057 1,697±0,042	St. prévitellogenese	
11 12 13	1,842 2,497 3,475	1,838 2,404 3,531	1,84±0,058 2,451±0,044 3,503±0,101	St. début de vitellogenese	
14 15 16 17	4,246 4,481 4,929 5,851	4,259 4,481 5,063 6,004	4,253±0,048 4,481±0,024 4,996±0,102 5,927±0,114	St. vitellogenese	1ère tentative d'accouplement.
18	7,034	7,059	7,046±0,042	St. fin de vitellogenese (ovocyte choriongénique)	
19 20 21 22 23 24 25					1er accouplement. 1ère oviposition. Individus mâles de couleur jaune clair.

Tableau n°2: Evolution de la taille de l'ovocyte de base selon les différents stades ovariens des imagos de Schistocerca gregaria.

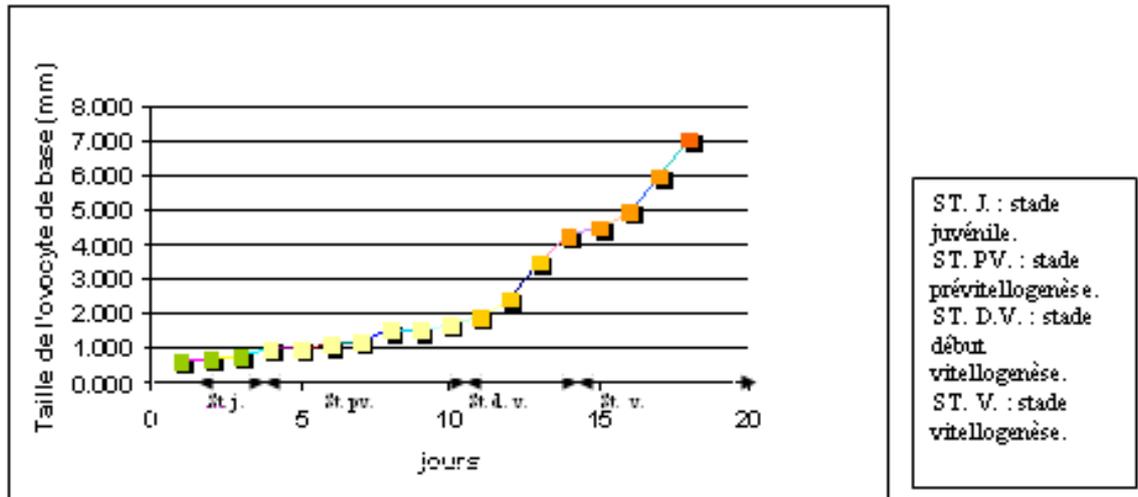


Figure n°23: Evolution de la taille de l'ovocyte de base selon les différents stades ovariens des imagos de Schistocerca gregaria.

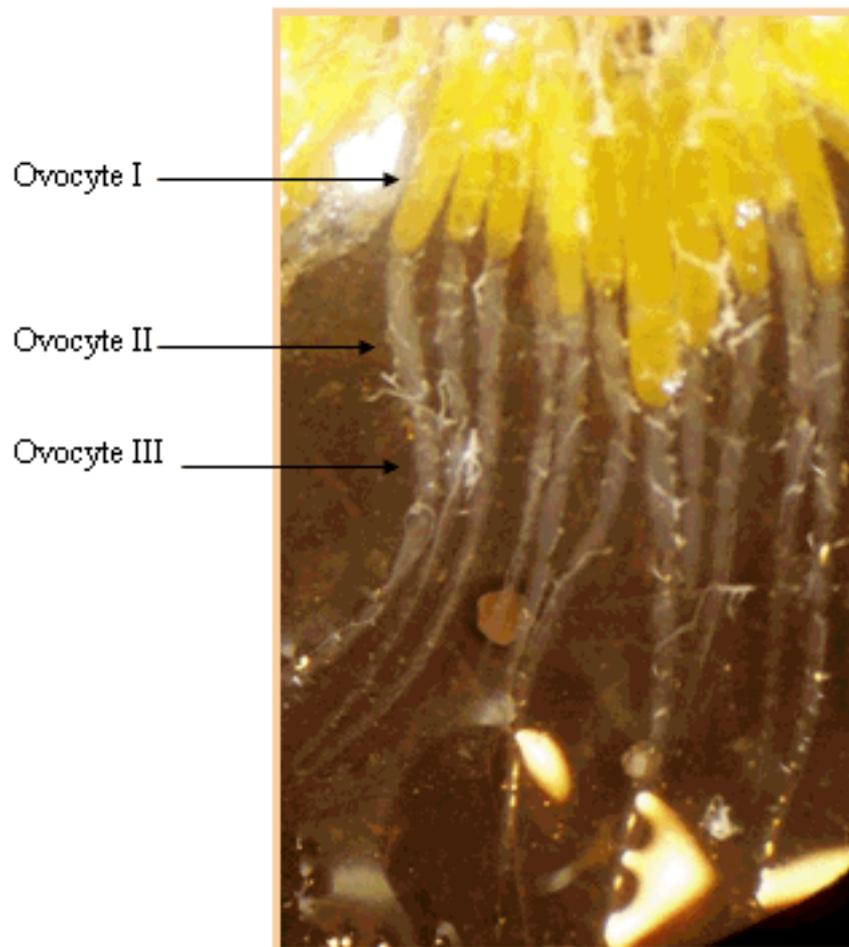


Figure n°24 : Représentation des ovarioles de Schistocerca gregaria.

D'après le tableau n°2 et la figure n°23, on remarque que la durée moyenne de la maturation sexuelle des femelles est de 18jours. En effet la durée des trois stades du développement des ovaires est de 3 jours pour le stade juvénile, 7 jours pour le stade de prévitellogénèse et de 8 jours pour le stade de vitellogénèse. Durant ces trois stades (exposés par la figure n°25), le développement des ovarioles passe par les étapes suivantes:

· **A. Stade juvénile**

L'ovariole est filiforme et grêle, les ovocytes qui la constituent sont translucides et ont à peu près la même taille: $\leq 0,8\text{mm}$.

· **B. Stade de prévitellogénèse**

La base de l'ovariole est légèrement colorée en un blanc opaque. Il s'agit de l'ovocyte du 1er rang dont la couleur et la taille se différencient nettement du reste de l'ovariole. En effet, les autres ovocytes gardent leur aspect et leur couleur juvéniles. La taille de l'ovocyte de base varie entre 1mm et 1,7 mm.

· **C. Stade de vitellogénèse**

Il s'agit du stade d'accumulation de réserves vitellines par les ovarioles (fig. 25). Durant ce stade nous avons noté que ces dernières passent par 3 étapes bien distinctes qui sont les suivantes:

· **C.1. Le début de vitellogénèse**

Le début de la vitellogénèse est caractérisé par le commencement du dépôt de vitellus au niveau de l'ovocyte de base dont la coloration devient jaune. Sa taille est comprise entre 1,8 mm et 3,5mm. L'ovocyte du 2ème rang passe alors en prévitellogénèse.

· **C.2. La pleine vitellogénèse**

Au fur et à mesure que le dépôt de vitellus devient important, l'ovocyte I augmente de taille (4,2mm et 5,9mm), sa couleur fonce également. L'ovocyte II prend une teinte jaunâtre.

· **C.3. La fin de la vitellogénèse (ovocyte choriogénique)**

L'ovocyte de base devient chorionné, sa taille atteint son maximum ($\geq 7\text{mm}$), ce dernier est prêt à passer en phase d'ovulation. L'ovocyte II poursuit sa vitellogénèse.

Effet du bio pesticide « Green Muscle » (*Metarhizium anisopliae* var *acridum* IMI 330189) sur la reproduction du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775) (Acrididae, Cyrtacanthacridinae) en conditions contrôlées.

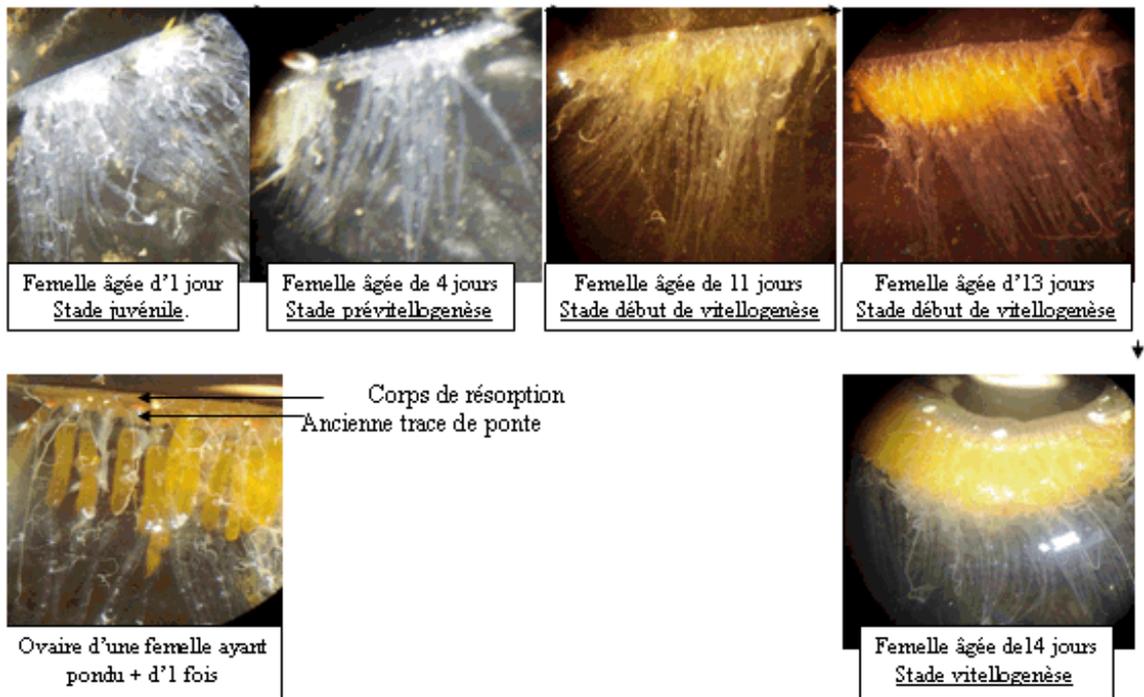
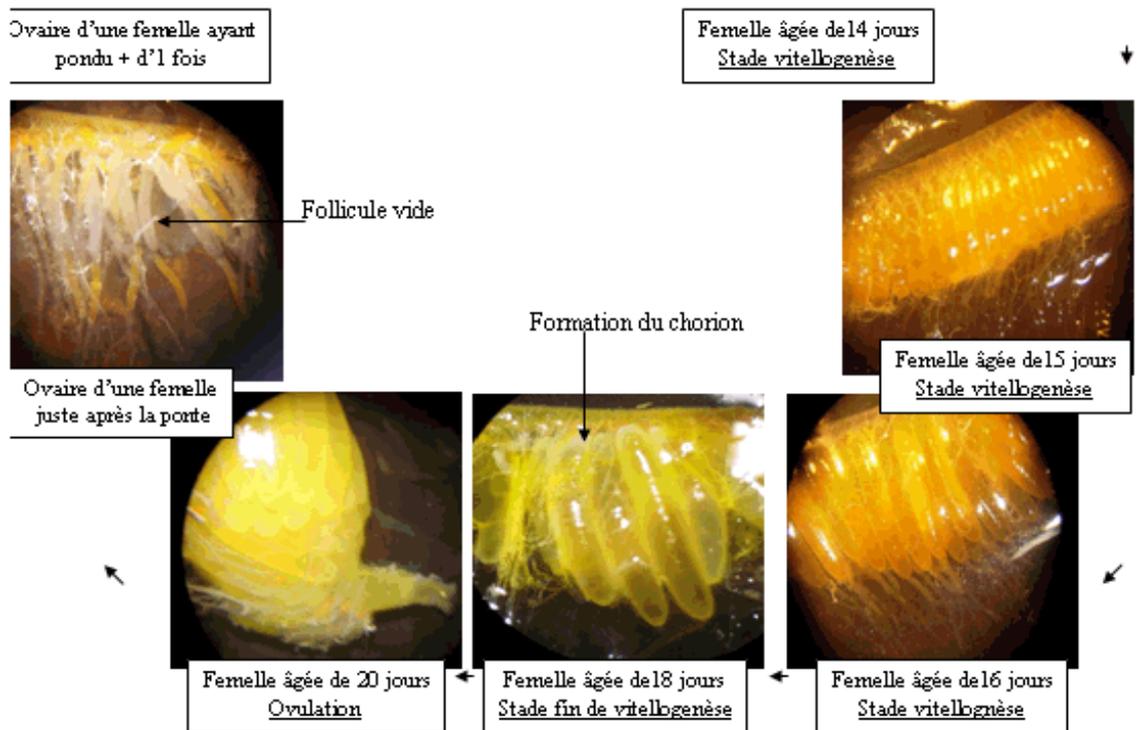


Figure 25: développement ovocytaire et ovulation chez les criquet pèlerin (ORIGINAL)



Durant cette étude nous avons eu l'occasion d'observer également que les premières tentatives d'accouplement ont eu lieu le 17ème jour après l'émergence. Les premiers accouplements ont eu lieu par contre le 19ème jour. Quant à la première oviposition, cette dernière a été observée au bout du 21ème jour.

2. Résultats obtenus de l'étude de l'effet du champignon entomopathogène *Metarhizium anisopliae* var *acridum* sur quelques paramètres biologiques et physiologiques liés à la reproduction de *Schistocerca gregaria*

Les résultats obtenus concernant les différents paramètres pris en considération pour cette étude sont présentés dans cette deuxième partie du III^{ème} chapitre.

2.1. Résultats obtenus de l'effet du *Metarhizium anisopliae* var *acridum* sur la mortalité cumulée des ailés de *Schistocerca gregaria*

Cette étude a été réalisée dans le but de savoir si réellement la dose sub-létale choisie 10^4 spores/ml pouvait induire une éventuelle mortalité chez les ailés de *S. gregaria* et connaître ainsi le taux de cette mortalité.

2.1.1. Résultats obtenus de l'effet du *Metarhizium anisopliae* var *acridum* sur la mortalité cumulée des adultes de *Schistocerca gregaria*

Les taux de mortalité cumulée des adultes femelles et mâles de *S. gregaria* témoins et traités au *M. anisopliae* sont mentionnés dans le tableau n°3 et illustrés par les figures n°26 et n°27.

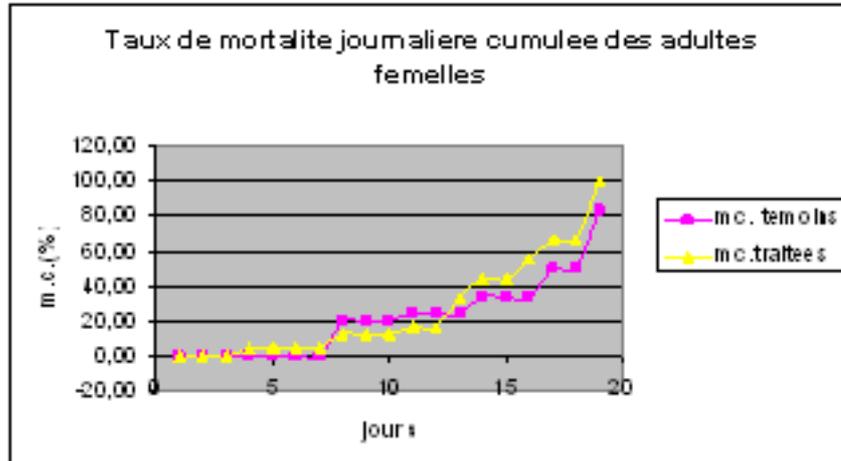


Figure 26 : Taux de mortalité cumulée journalière des adultes femelles témoins et traitées au champignon.

Effet du bio pesticide « Green Muscle » (*Metarhizium anisopliae* var *acridum* IMI 330189) sur la reproduction du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775) (Acrididae, Cyrtacanthacridinae) en conditions contrôlées.

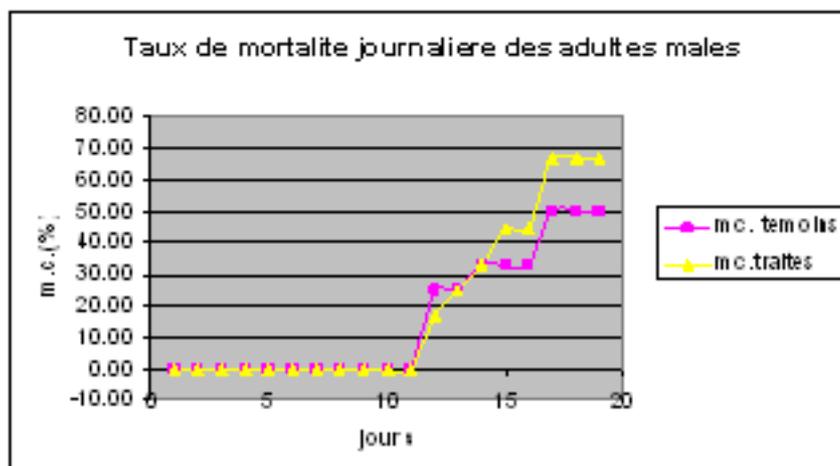


Figure 27 : Taux de mortalité cumulée journalière des adultes mâles témoins et traités au champignon.

Tableau n°3: Taux de mortalité journalière cumulée en pourcentage des adultes femelles et mâles de *Schistocerca gregaria* Forsk. témoins et traités au *Metarhizium anisopliae* var *acridum*

Jours	M.C. Femelles adultes		M.C. Mâles adultes	
	Témoins (M±S)	Traitées (M±S)	Témoins (M±S)	Traités (M±S)
1	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00
2	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00
3	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00
4	0,00±0,00	4,76±8,25	0,00±0,00	0,00±0,00
5	0,00±0,00	5,56±9,62	0,00±0,00	0,00±0,00
6	0,00±0,00	5,56±9,62	0,00±0,00	0,00±0,00
7	0,00±0,00	5,56±9,62	0,00±0,00	0,00±0,00
8	20,00±14,14	13,33±11,55	0,00±0,00	0,00±0,00
9	20,00±14,14	13,33±11,55	0,00±0,00	0,00±0,00
10	20,00±14,14	13,33±11,55	0,00±0,00	0,00±0,00
11	25,00±21,21	16,67±14,43	0,00±0,00	0,00±0,00
12	25,00±21,21	16,67±14,43	25,00±7,07	16,67±28,87
13	25,00±9,19	33,33±14,43	25,00±7,07	25,00±25,00
14	33,33±9,19	44,44±19,25	33,33±9,19	33,33±33,33
15	33,33±9,19	44,44±19,25	33,33±9,19	44,44±19,25
16	33,33±9,19	55,56±38,49	33,33±9,19	44,44±19,25
17	50,00±0,00	66,67±28,87	50,00±14,14	66,67±28,87
18	50,00±0,00	66,67±28,87	50,00±14,14	66,67±28,87
19	83,33±23,33	100±28,87	50,00±14,14	66,67±28,87

D'après le tableau ci-dessus et les figures n°26 et 27, on remarque que la mortalité des femelles a débuté le 4ème jour suivant le traitement chez les individus traités avec un taux de 4,76% alors que chez les témoins, nous avons noté un taux de 20% à partir du 8ème jour. Cette mortalité a atteint son maximum au bout du 19ème jour avec des taux de 83,33 % chez les individus témoins et de 100% chez les traités.

Concernant la mortalité observée chez les adultes mâles, cette dernière a débuté le 12ème jour suivant le traitement au niveau des deux lots avec des taux de 25% et 16,67%

respectivement chez les individus témoins et traités pour atteindre son maximum le 19^{ème} jour (50% pour les témoins et 66,67% pour les traités).

L'analyse statistique par l'utilisation de l'analyse de la variance à trois critères de classification (à savoir le facteur : temps, le facteur : sexe et le facteur: traitement)(annexes n°1) a révélé que la différence entre la mortalité cumulée journalière enregistrée chez les adultes traités par le champignon entomopathogène et celle notée chez les témoins n'est pas significative (en effet $F. obs=0,865 < F. théo ; p>0,05$). En revanche, cette dernière a révélé l'existence d'une différence significative entre les moyennes de la mortalité des femelles et celle des mâles ($F. obs=9,453 > F. théo ; p<0,05$). Cette analyse a confirmé également l'évolution progressive de la mortalité des adultes appartenant aux deux lots à travers les trois semaines qui ont suivie le traitement ($F. obs=135,940 > F. théo ; p<0,05$).

Afin de connaître le niveau de significativité de ces deux derniers facteurs (tableau n°4 et n°5), nous avons complété notre étude par l'utilisation du test de Newman-Keuls (SNK) à intervalle de confiance de 95% :

Tableau n°4 : Tests de comparaisons multiples (SNK) pour la variable sexe chez les adultes.

Modalités	Moyenne	Regroupements	
femelles	25,034	A	
mâles	18,311		B

D'après le tableau ci-dessus on remarque l'existence de deux groupements homogènes A et B statistiquement différents. En effet la moyenne de la mortalité cumulée notée chez les femelles adultes se trouve plus importante que celle notée chez les mâles.

Modalités	Moyenne	Regroupements		
semaine3	55,814	A		
semaine2	15,660		B	
semaine1	1,148			C

Tableau n°5 : Tests de comparaisons multiples (SNK) pour la variable temps chez les adultes.

Le tableau n°5 dévoile l'existence de trois groupements homogènes statistiquement différents A, B et C. La moyenne de M.C. la plus faible a été enregistrée durant la première semaine de cette étude avec un taux de 1,148%. Ce taux a augmenté progressivement pour atteindre une moyenne de 55,81% au bout de la troisième semaine.

2.1.2. Résultats obtenus de l'effet du *Metarhizium anisopliae var acridum* sur la mortalité cumulée des individus de *Schistocerca gregaria* traités à l'état imaginal

Les taux de mortalité cumulée des individus femelles et mâles de *S. gregaria* témoins et traités par *M anisopliae* à l'état imagos sont portés sur le tableau n°6 et illustrés par les figures n°28 et n°29.

Effet du bio pesticide « Green Muscle » (*Metarhizium anisopliae* var *acridum* IMI 330189) sur la reproduction du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775) (Acrididae, Cyrtacanthacridinae) en conditions contrôlées.

Tableau n°6: Taux de mortalité journalière cumulée en pourcentage des individus femelles et mâles de *Schistocerca gregaria* Forsk. témoins et traités au *Metarhizium anisopliae* var *acridum* à l'état imaginal.

Effet du bio pesticide « Green Muscle » (*Metarhizium anisopliae* var *acridum* IMI 330189) sur la reproduction du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forskal, 1775) (Acrididae, Cyrtacanthacridinae) en conditions contrôlées.

jours	M.C. Femelles imagos		M.C. Mâles imagos	
	Témoins(M±S)	Traitées(M±S)	Témoins(M±S)	Traités(M±S)
1	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00
2	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00
3	0,00±0,00	5,56±9,62	0,00±0,00	8,33±14,43
4	0,00±0,00	6,06±10,50	0,00±0,00	9,09±15,75
5	0,00±0,00	6,06±10,50	0,00±0,00	9,09±15,75
6	0,00±0,00	6,67±11,55	0,00±0,00	10,00±17,32
7	0,00±0,00	10,00±10,00	0,00±0,00	10,00±17,32
8	0,00±0,00	11,11±11,11	0,00±0,00	11,11±19,25
9	0,00±0,00	11,11±11,11	0,00±0,00	11,11±19,25
10	0,00±0,00	12,50±12,50	0,00±0,00	12,50±21,65
11	0,00±0,00	12,50±12,50	0,00±0,00	12,50±21,65
12	0,00±0,00	14,29±14,29	0,00±0,00	14,29±24,74
13	0,00±0,00	19,05±8,25	0,00±0,00	14,29±24,74
14	0,00±0,00	22,22±9,62	0,00±0,00	16,67±28,87
15	0,00±0,00	22,22±9,62	0,00±0,00	16,67±28,87
16	0,00±0,00	26,67±11,55	10,00±14,14	20,00±34,64
17	0,00±0,00	26,67±11,55	10,00±14,14	26,67±30,55
18	0,00±0,00	33,33±14,43	12,50±17,68	33,33±38,19
19	12,50±17,68	41,67±14,43	12,50±17,68	41,67±28,87
20	16,67±23,57	41,67±14,43	16,67±23,57	50,00±25,00
21	16,67±23,57	50,00±0,00	16,67±23,57	50,00±25,00
22	16,67±23,57	58,33±14,43	16,67±23,57	50,00±25,00
23	16,67±23,57	58,33±14,43	16,67±23,57	50,00±25,00
24	16,67±23,57	58,33±14,43	16,67±23,57	50,00±25,00
25	16,67±23,57	58,33±14,43	16,67±23,57	50,00±25,00
26	16,67±23,57	58,33±14,43	16,67±23,57	50,00±25,00
27	16,67±23,57	66,67±14,43	16,67±23,57	50,00±25,00
28	16,67±23,57	66,67±14,43	16,67±23,57	50,00±25,00
29	16,67±23,57	66,67±14,43	16,67±23,57	50,00±25,00
30	16,67±23,57	66,67±14,43	16,67±23,57	50,00±25,00
31	16,67±23,57	66,67±14,43	16,67±23,57	58,33±28,87
32	16,67±23,57	66,67±14,43	16,67±23,57	58,33±28,87
33	16,67±23,57	66,67±14,43	16,67±23,57	58,33±28,87
34	16,67±23,57	66,67±14,43	16,67±23,57	58,33±28,87
35	16,67±23,57	66,67±14,43	16,67±23,57	58,33±28,87
36	16,67±23,57	66,67±14,43	16,67±23,57	58,33±28,87
37	33,33±0,00	75,00±25,00	16,67±23,57	66,67±38,19
38	33,33±0,00	75,00±25,00	16,67±23,57	66,67±38,19
39	33,33±0,00	75,00±25,00	16,67±23,57	66,67±38,19
40	33,33±0,00	75,00±25,00	16,67±23,57	66,67±38,19
41	33,33±0,00	75,00±25,00	16,67±23,57	66,67±38,19
42	33,33±0,00	75,00±25,00	16,67±23,57	66,67±38,19
43	33,33±0,00	75,00±25,00	16,67±23,57	66,67±38,19
44	33,33±0,00	75,00±25,00	50,00±23,57	83,33±28,87
45	33,33±0,00	75,00±25,00	50,00±23,57	91,67±14,43
46	33,33±0,00	91,67±14,43	50,00±23,57	91,67±14,43
47	33,33±0,00	91,67±14,43	50,00±23,57	91,67±14,43
48	33,33±0,00	91,67±14,43	50,00±23,57	100,00±0,00
49	50,00±23,57	100,00±0,00	66,67±0,00	100,00±0,00
50	50,00±23,57	100,00±0,00	66,67±0,00	100,00±0,00

Au vue des résultats consignés dans le tableau n°6 et illustrés par les figures n°28 et n°29, il apparaît clairement une évolution du taux de mortalité journalière cumulée chez les individus femelles et mâles à travers le temps. En effet ce taux est passé de 5,56% à 100% chez les femelles traitées du 3^{ème} jour après le traitement jusqu'au 49^{ème} jour. Chez les femelles témoins par contre, ce taux est passé de 12,5% à 50% du 19^{ème} jour au 49^{ème} jour.

Les individus mâles ont montré également la même évolution de la mortalité cumulée à travers le temps. Le taux de cette dernière a effectivement augmenté de 8,33% à 100% chez les mâles traités à partir du 3^{ème} jour après le traitement jusqu'au 48^{ème} jour. Chez les mâles témoins, ce taux est passé de 10% à 50% du 16^{ème} jour au 48^{ème} jour. Ces résultats sont confirmés par l'analyse de la variance à trois critères de classifications (le facteur : traitement, le facteur : sexe et le facteur : temps) ainsi que par l'utilisation du test de Newman-Keuls à intervalle de confiance de 95%. En effet, l'analyse a révélé que la différence entre la mortalité cumulée journalière enregistrée chez les imagos traités par *M. anisopliae* var *acidum* et celle notée chez les témoins est hautement significative ($F_{obs}=139,890 > F_{théo}$; $p < 0,05$).

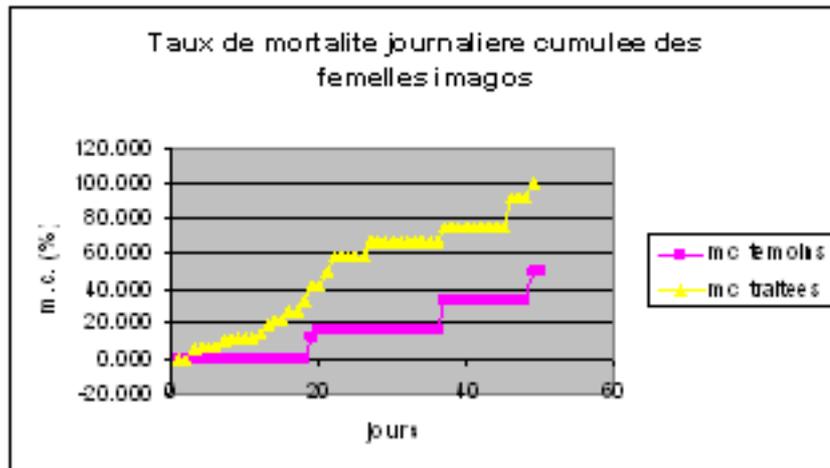


Figure 28 : Taux de mortalité cumulée journalière des individus femelles témoins et traités au champignon à l'état imaginal.

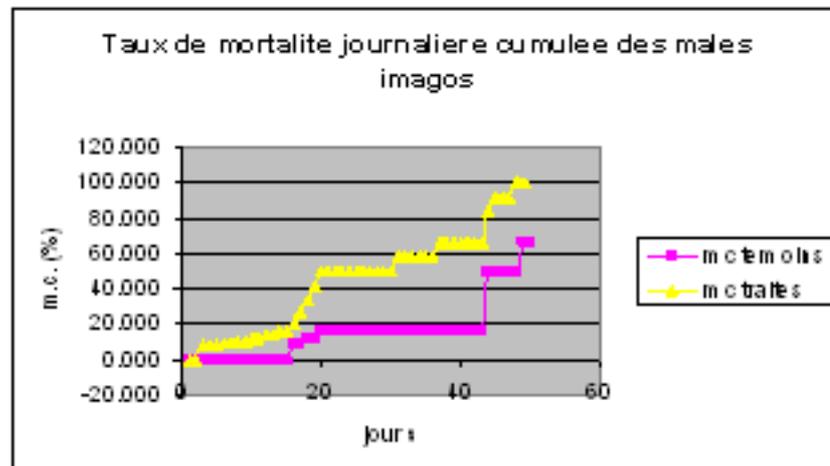


Figure 29 : Taux de mortalité cumulée journalière des individus mâles témoins et traités au champignon à l'état imaginal.

Quant à la différence des moyennes observées entre les femelles et les mâles, cette dernière s'est révélée non significative (F. obs=1,688 <F. théo ; p>0,05). L'évolution progressive des taux de mortalité journalière cumulée des individus, appartenant aux deux lots, notés durant les sept semaines qui ont suivie le traitement s'est avérée également hautement significative (F. obs=78,383 > F. théo ; p<0,05) (annexes n°2).

L'utilisation du test de Newman-Keuls (SNK) à intervalle de confiance de 95% a mis en évidence les niveaux de significativité des deux facteurs pris en considération à savoir le facteur traitement et le facteur temps.

Tableau n°7 : Test de comparaisons multiples (SNK) pour la variable traitement chez les individus traités à l'état imaginal.

Modalités	Moyenne	Regroupements	
traités	40,785	A	
témoins	15,383	B	

Le tableau ci-dessus montre l'apparence de deux groupements homogènes A et B statistiquement différents. En effet la moyenne de la mortalité cumulée notée chez les individus traités au champignon se révèle plus importante que celle notée chez les témoins.

Tableau n°8 : Test de comparaisons multiples (SNK) pour la variable temps chez les individus traités à l'état imaginal.

Modalités	Moyenne	Regroupements			
semaine7	56,833	A			
semaine5	43,452		B		
semaine6	42,529		B		
semaine4	39,881		B		
semaine3	24,143			C	
semaine2	8,489				D
semaine1	3,465				D

Le tableau n°8 montre clairement l'existence de quatre groupements homogènes statistiquement différents (A, B, C et D). En effet on constate que la moyenne de la M.C. a connue une augmentation au bout de la troisième semaine avec un taux de 24,143% et a continué d'augmenter entre la 4^{ème} et la 6^{ème} semaine pour atteindre son maximum 56,833% au bout de la 7^{ème} semaine de cette étude.

2.1.3. Symptomatologie de l'infection

Des tâches brunâtres au niveau du thorax et de l'abdomen suite à une mélanisation du tégument ont été observées chez les criquets infectés. Par contre, lorsque la mort des insectes est intervenue dans un bref délai après le traitement, ces derniers ont pris une teinte générale rougeâtre. L'infection de ces individus par *M. a. var. acridum* «agent de la muscardine verte» a été vérifiée après leur mort en les mettant dans des boîtes de Pétri contenant du coton imbibé d'eau pour obtenir une humidité de 100% qui permet justement la sporulation du champignon (fig. 30)

2.2. Résultats obtenus de l'effet du *Metarhizium anisopliae* var *acridum* sur l'activité alimentaire des ailés de *Schistocerca gregaria*.

La nourriture est un facteur important pour l'animal, elle peut influencer certains paramètres telles que la fécondité, la longévité des populations ; ainsi que leurs taux de mortalité (DAJOZ, 1985). C'est pourquoi nous avons voulu savoir comment le criquet ailé infecté par le champignon entomopathogène s'alimente-t-il ?

2.2.1. Résultats obtenus de l'effet du *Metarhizium anisopliae* var *acridum* sur le poids des ailés de *Schistocerca gregaria*

Cette étude a été suivie dans le but de connaître l'influence de l'infection des criquets par *M. anisopliae* var *acridum* sur la variation du poids de ces derniers.

2.2.1.1. Résultats obtenus de l'effet du *Metarhizium anisopliae* var *acridum* sur l'évaluation pondérale des adultes de *Schistocerca gregaria*

Les résultats obtenus de l'évaluation pondérale des adultes mâles et femelles de *S. gregaria* témoins et traités par *M. anisopliae* var *acridum* sont consignés dans le tableau n°9 et illustrés par les figures n°31 et n°32.

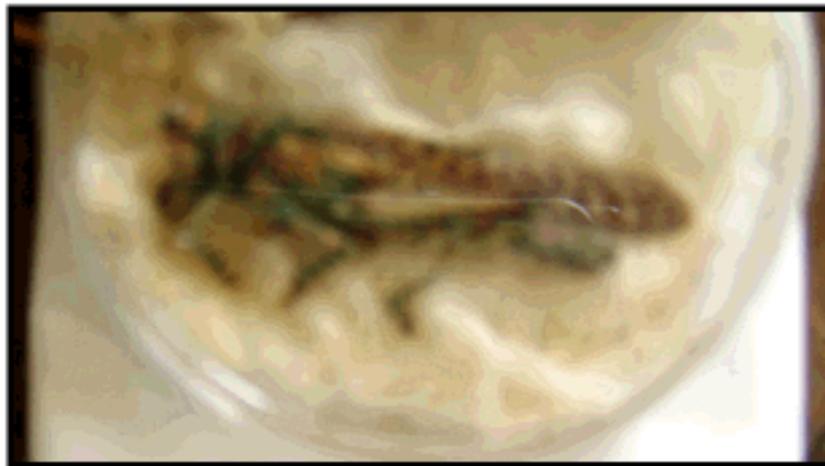


Figure 30: Individu de *Schistocerca gregaria* infecté par *Metarhizium anisopliae* var *acridum*

Effet du bio pesticide « Green Muscle » (*Metarhizium anisopliae* var *acridum* IMI 330189) sur la reproduction du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775) (Acrididae, Cyrtacanthacridinae) en conditions contrôlées.

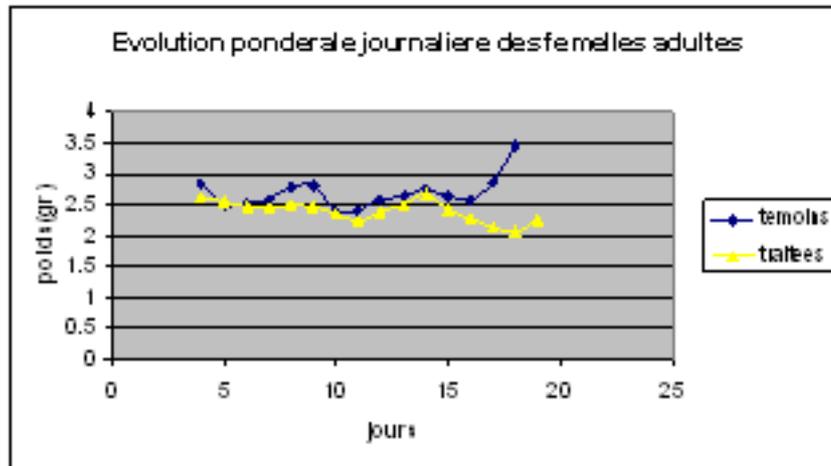


Figure 31 : Evaluation pondérale journalière des adultes femelles témoins et traitées au champignon.

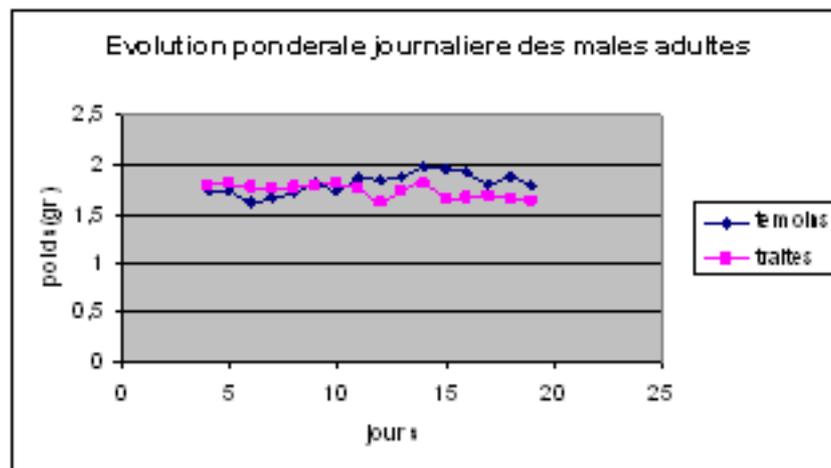


Figure 32: Evaluation pondérale journalière des adultes mâles témoins et traités au champignon.

Tableau n°9 : Moyennes pondérales quotidiennes des adultes femelles et mâles de *Schistocerca gregaria* Forsk. témoins et traités au *Metarhizium anisopliae* var *acridum*.

Jours	Poids des adultes femelles		Poids des adultes mâles	
	Témoins (g) (M±S)	Traitées (g) (M±S)	Témoins (g) (M±S)	Traités (g) (M±S)
4	2,82±0,113	2,612±0,194	1,732±0,074	1,790±0,010
5	2,497±0,163	2,556±0,264	1,734±0,045	1,807±0,035
6	2,53±0,396	2,463±0,234	1,622±0,78	1,777±0,035
7	2,596±0,552	2,456±0,249	1,660±0,09	1,761±0,038
8	2,768±0,138	2,504±0,202	1,724±0,042	1,763±0,021
9	2,795±0,283	2,481±0,229	1,800±0,26	1,782±0,035
10	2,378±0,318	2,375±0,244	1,738±0,027	1,804±0,024
11	2,428±0,318	2,229±0,479	1,861±0,017	1,748±0,013
12	2,57±0,460	2,377±0,359	1,840±0,012	1,619±0,123
13	2,634±0,256	2,494±0,431	1,867±0,213	1,741±0,147
14	2,758±0,317	2,675±0,389	1,976±0,178	1,808±0,000
15	2,641±0,223	2,406±0,589	1,969±0,099	1,651±0,000
16	2,592±0,287	2,275±0,467	1,934±0,312	1,660±0,000
17	2,859±0,345	2,133±0,001	1,813±0,247	1,679±0,000
18	3,484±0,417	2,060±0,331	1,872±0,020	1,650±0,000

D'après le tableau n°9 et les figures n°31 et 32, on constate que durant les 18 jours d'observations effectuées durant cette étude les moyennes pondérales quotidiennes des femelles traitées ont varié entre 2,060g et 2,675g. Celles des témoins par contre ont été comprises entre 2,378g et 3,484 g. L'analyse statistique a confirmé l'existence d'une différence significative entre les moyennes des témoins et celles des traitées ($F_{obs}=9,616 > F_{théo}$; $p < 0,05$) (annexes n°3).

Tableau n°10 : Test de comparaisons multiples (SNK) pour la variable traitement chez les femelles adultes.

Modalités	Moyenne	Regroupements	
témoins	2,690	A	
traitées	2,402		B

Le tableau ci-dessus présente deux groupements homogènes statistiquement différents qui prouvent que la moyenne pondérale quotidienne des femelles traitées par le champignon entomopathogène est plus faible que celle des témoins.

Chez les mâles par contre, une légère baisse des moyennes pondérales quotidiennes enregistrées dans les lots des individus traités apparaît à partir du 11^{ème} jour. En effet le poids des mâles traités est passé de 1,748g à 1,650g du 11^{ème} au 18^{ème} jours alors que celui des témoins a varié entre 1,813g et 1,976g. L'utilisation du test de Newman-Keuls (SNK) révèle l'existence de deux groupements homogènes A et B statistiquement différents (tableau n°11) qui confirme le niveau significativité de cette différence de moyennes observées ($F_{obs}=5,733 > F_{théo}$; $p < 0,05$) (annexes n°4).

Tableau n°11 : Test de comparaisons multiples (SNK) pour la variable traitement chez les mâles adultes.

Effet du bio pesticide « Green Muscle » (*Metarhizium anisopliae* var *acridum* IMI 330189) sur la reproduction du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775) (Acrididae, Cyrtacanthacridinae) en conditions contrôlées.

Modalités	Moyenne	Regroupements	
témoins	1,808	A	
traités	1,741		B

L'utilisation de l'analyse de la variance nous a permis également de constater que le facteur temps n'a pas eu d'influence sur les moyennes quotidiennes du poids des adultes mâles et femelles ($F. \text{ obs}=1,156 < F. \text{ théo}$; $p > 0,05$ pour les femelles, $F. \text{ obs}=0,358 < F. \text{ théo}$; $p > 0,05$) (annexes n°3 et 4). Il s'est avéré par contre que la comparaison de ces moyennes varie de manière significative entre les deux sexes ($F. \text{ obs}= 172,279 > F. \text{ théo}$; $p < 0,05$) (annexes n°5). En effet le test de Newman-Keuls dévoile l'existence des deux groupements homogènes A et B traduisant que la moyenne du poids des femelles est plus élevée que celle des mâles (tableau n°12).

Tableau n°12 : Test de comparaisons multiples (SNK) pour la variable sexe chez les adultes.

Modalités	Moyenne	Regroupements	
femelles	2,495	A	
mâles	1,766		B

2.2.1.2. Résultats obtenus de l'effet du *Metarhizium anisopliae* var *acridum* sur l'évolution pondérale des individus de *Schistocerca gregaria* traités à l'état imaginal.

Les résultats concernant l'évolution des moyennes pondérales quotidiennes des imagos mâles et femelles de *S. gregaria* témoins et traités au champignon sont notés sur le tableau n°13 et illustrés par les figures n° 33 et 34.

Jours	Evolution pondérale des femelles imagos		Evolution pondérale des mâles imagos	
	Témoins (g) (M±S)	Traitées (g) (M±S)	Témoins (g) (M±S)	Traités (g) (M±S)
1	1,783±0,009	1,614±0,025	1,517±0,1170	1,364±0,079
2	1,798±0,033	1,671±0,018	1,558±0,071	1,425±0,053
3	1,885±0,125	1,710±0,063	1,632±0,149	1,452±0,049
4	1,899±0,016	1,803±0,086	1,642±0,115	1,556±0,043
5	1,897±0,116	1,820±0,074	1,675±0,196	1,520±0,047
6	1,921±0,074	1,870±0,096	1,677±0,229	1,518±0,022
7	1,928±0,076	1,831±0,085	1,699±0,233	1,498±0,067
8	2,000±0,021	1,977±0,160	1,759±0,196	1,580±0,101
9	2,051±0,064	1,973±0,089	1,770±0,222	1,576±0,084
10	2,140±0,083	2,065±0,154	1,760±0,141	1,605±0,057
11	2,289±0,104	2,296±0,161	1,803±0,259	1,605±0,081
12	2,438±0,181	2,428±0,091	1,841±0,277	1,656±0,054
13	2,592±0,068	2,464±0,099	1,815±0,277	1,686±0,007
14	2,652±0,083	2,604±0,159	1,816±0,188	1,637±0,063
15	2,719±0,150	2,713±0,094	1,813±0,202	1,581±0,000
16	2,825±0,141	2,801±0,073	1,816±0,145	1,740±0,170
17	2,961±0,105	2,932±0,061	1,780±0,197	1,574±0,099
18	3,027±0,072	-	1,770±0,264	-
19	3,114±0,004	-	1,825±0,219	-
20	3,250±0,058	-	1,951±0,000	-

Tableau n°13 : Moyennes pondérales quotidiennes des individus femelles et mâles de *Schistocerca gregaria* Forsk. témoins et traités au *Metarhizium anisopliae* var *acridum* juste après l'émergence

Le tableau ci-dessus et les figures n°33 et 34 montrent une augmentation remarquable du poids des mâles et des femelles à travers le temps (du 1^{er} au 17^{ème} jour) aussi bien chez les individus traités juste après l'émergence que les individus non traités. En effet le poids des femelles est passé de 1,614g à 2,932g chez les individus traités au *Metarhizium anisopliae* et de 1,783g à 2,961g chez les témoins. Le poids des mâles est passé également de 1,364g à 1,574g chez les individus traités et de 1,517g à 1,780g chez les mâles témoins. L'analyse de la variance à deux critères de classification (facteur : temps et facteur : traitement) confirme l'effet du facteur temps sur l'évolution pondérale des imagos femelles et mâles. (F.obs= 167,800>F. théo ; p<0,05 pour les femelles, F.obs= 7,630>F. théo ; p<0,05 pour les mâles) (annexes n°6 et 7)

Effet du bio pesticide « Green Muscle » (*Metarhizium anisopliae* var *acridum* IMI 330189) sur la reproduction du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775) (Acrididae, Cyrtacanthacridinae) en conditions contrôlées.

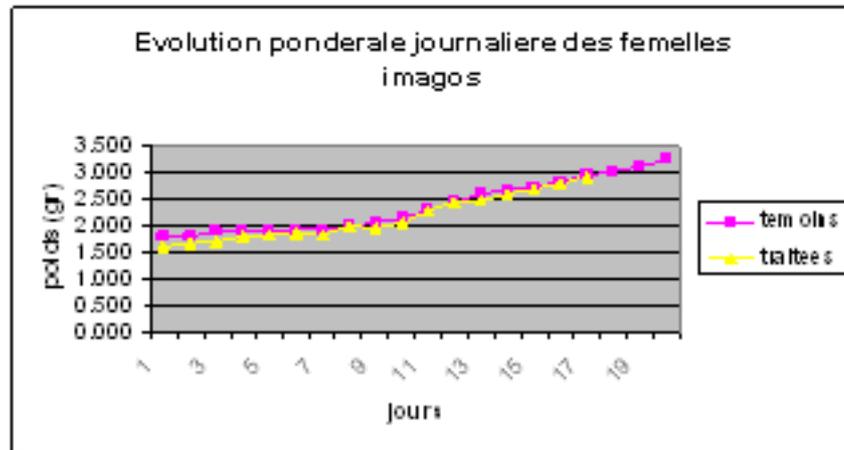


Figure 33 : Evolution pondérale journalière des individus femelles témoins et traitées au champignon juste après l'émergence

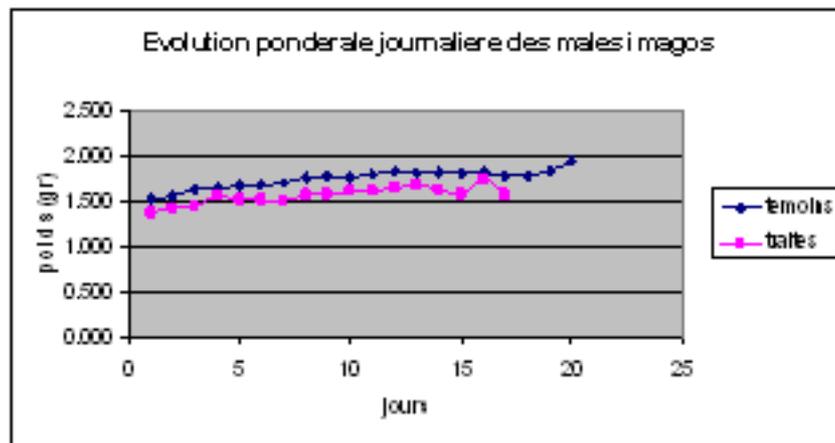


Figure 34 : Evolution pondérale journalière des individus mâles témoins et traités au champignon juste après l'émergence.

Tableau n°14 : Test de comparaisons multiples (SNK) pour la variable temps chez les femelles traitées juste après l'émergence.

Modalités	Moyenne	Regroupements		
semaine3	2,823	A		
semaine2	2,278		B	
semaine1	1,810			C

D'après l'apparence des trois groupements homogènes statistiquement différents (A, B et C) représentés dans le tableau n°14, on déduit que la moyenne pondérale quotidienne des femelles imagos a augmenté chaque semaine de manière significative durant cette étude.

Tableau n°15 : Test de comparaisons multiples (SNK) pour la variable temps chez les mâles traités juste après l'émergence

Modalités	Moyenne	Regroupements	
semaine3	1,720	A	
semaine2	1,719	A	
semaine1	1,555		B

Le tableau ci-dessus montre l'existence de deux groupements homogènes A et B ce qui nous permet de dire que la moyenne pondérale quotidienne des mâles imagos a augmenté de manière significative entre la 1^{ère} et la 2^{ème} semaine de cette étude.

L'utilisation de cette analyse statistique nous a permis également de constater que l'effet du *M. anisopliae var acridum* sur les femelles s'est avéré non significatif (F. obs=2,615 <F. théo ; p>0,05) contrairement aux mâles (F.obs= 22,143>F. théo ; p<0,05) (annexes n°6 et 7). En effet le tableau n°16 montre clairement que la moyenne pondérale des mâles traités est plus faible que celle des témoins. Cette différence de moyennes est statistiquement significative car il apparait deux groupements homogènes A et B.

Tableau n°16 : Test de comparaisons multiples (SNK) pour la variable traitement chez les mâles traités juste après l'émergence

Modalités	Moyenne	Regroupements	
témoins	1,771	A	
traités	1,572		B

La comparaison des moyennes du poids des femelles avec celles des mâles traités à l'état imago par le biais de l'analyse de la variance et le test de Newman-Keuls a montré que la différence entre ces dernières est hautement significative (F.obs= 22,143>F. théo ; p<0,0005) (annexes n°8) car la moyenne pondérale quotidienne des femelles est plus importante que celle des mâles comme le montre le tableau n°17.

Tableau n°17 : Test de comparaisons multiples (SNK) pour la variable sexe chez les individus traités juste après l'émergence

Modalités	Moyenne	Regroupements	
femelles	2,189	A	
mâles	1,652		B

2.2.2. Résultats obtenus de l'effet du *Metarhizium anisopliae var acridum* sur la consommation des ailés de *Schistocerca gregaria*

La prise de nourriture est l'un des facteurs les plus important dans le déclenchement de l'activité ovarienne, assurant ainsi les besoins métaboliques intense de la vitellogenèse (RACCAUD-SCHOELLER, 1980)

2.2.2.1. Résultats obtenus de l'effet du *Metarhizium anisopliae var acridum* sur la consommation des adultes de *Schistocerca gregaria*

Les moyennes de la quantité de matière sèche d'aliment consommé par individu ainsi que celle des fécès récupérés quotidiennement chez les deux lots d'insectes témoins et traités par l'entomopathogène sont enregistrées dans le tableau n°18 et illustrées par la figure n°35.

Tableau n°18 : Moyennes journalières de la quantité de matière sèche de l'aliment ingéré et du poids sec des fécès / individu chez les adultes témoins et traités au champignon.

Effet du bio pesticide « Green Muscle » (*Metarhizium anisopliae* var *acridum* IMI 330189) sur la reproduction du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775) (Acrididae, Cyrtacanthacridinae) en conditions contrôlées.

Jours	Témoins			Traités		
	poids/g	Quantité ingérée/g	Quantité fécès/g	poids/g	Quantité ingérée/g	Quantité fécès/g
4j	2,276±0,009	0,790±0,287	0,074±0,027	2,201±0,131	1,035±0,308	0,072±0,003
5j	2,115±0,008	0,530±0,002	0,066±0,045	2,182±0,162	0,689±0,230	0,234±0,240
6j	2,076±0,012	0,621±0,012	0,089±0,147	2,120±0,142	0,760±0,099	0,210±0,176
7j	2,128±0,010	0,402±0,182	0,093±0,218	2,108±0,150	0,406±0,065	0,140±0,015
8j	2,246±0,017	0,554±0,150	0,067±0,007	2,134±0,128	0,462±0,025	0,101±0,021
9j	2,297±0,021	0,574±0,139	0,059±0,113	2,132±0,137	0,587±0,342	0,330±0,373
10j	2,058±0,037	0,509±0,174	0,085±0,239	2,089±0,156	0,661±0,222	0,096±0,016
11j	2,145±0,028	0,540±0,254	0,113±0,001	1,988±0,348	0,623±0,192	0,399±0,383
12j	2,205±0,08	0,804±0,212	0,138±0,118	2,248±0,013	1,167±0,196	0,188±0,083
13j	2,250±0,213	0,795±0,143	0,120±0,149	2,292±0,055	0,765±0,211	0,166±0,121
14j	2,367±0,314	0,893±0,166	0,169±0,178	2,361±0,106	1,020±0,409	0,112±0,040
15j	2,305±0,150	0,818±0,187	0,091±0,178	2,070±0,358	0,826±0,472	0,076±0,050
16j	2,263±0,106	0,811±0,195	0,117±0,230	2,005±0,278	0,993±0,511	0,131±0,023
17j	2,336±0,253	0,452±0,258	0,062±0,123	1,907±0,000	1,203±0,054	0,603±0,430
18j	2,678±0,289	0,578±0,044	0,046±0,401	2,095±0,419	1,347±0,212	0,679±0,442

Les résultats mentionnés dans le tableau ci-dessus et la figure n°35 montrent que les moyennes quotidiennes de la quantité de matière sèche de l'aliment ingéré et du poids sec des fécès par individu notées chez les insectes adultes traités au champignon se sont révélées plus élevées que celles enregistrées chez les individus non traités.

L'utilisation de l'analyse statistique confirme ces résultats car l'effet du traitement sur la quantité de matière ingérée ainsi que sur la quantité des fécès est significative ($F_{obs}=3,898 > F_{théo}$, $p < 0,05$ pour le paramètre : quantité de matière sèche ingérée ; $F_{obs}=2,753 > F_{théo}$, $p < 0,05$ pour le paramètre : poids sec des fécès).(annexe n°9 et 10).

Le test de Newman-Keuls montre les niveaux de significativité de ces deux paramètres :

Tableau n°19 : Test de comparaisons multiples (SNK) pour la variable traitement (paramètre : quantité de matière sèche ingérée par les adultes).

Modalités	Moyenne	Regroupements	
traités	0,836	A	
témoins	0,645		B

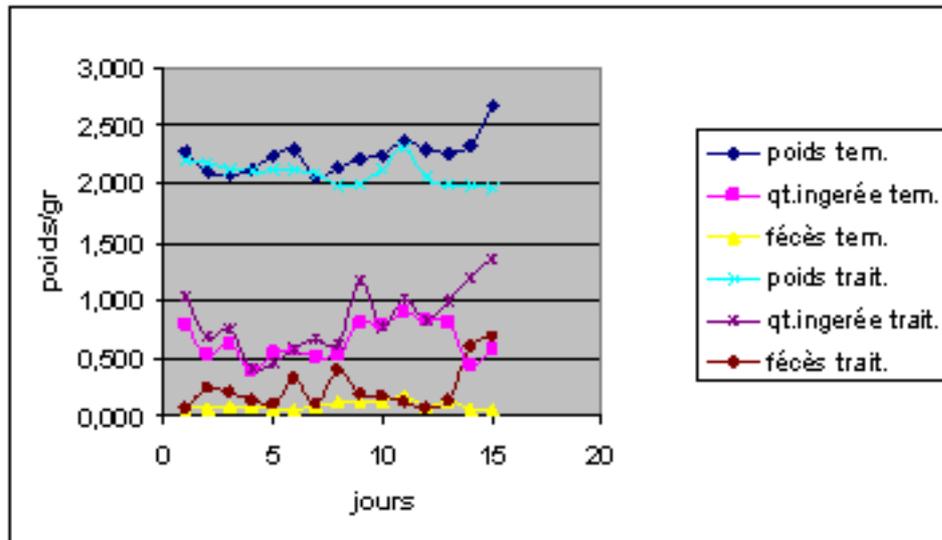


Figure n°35 : Moyennes journalières de la quantité de matière sèche d'aliment ingéré et du poids sec des fécès émises par individu chez les adultes de *S. gregaria* témoins et traités au champignon.

Le tableau n°19 montre clairement que la moyenne de la quantité de matière sèche ingérée chez les individus traités est plus importante que chez les témoins. Les deux groupements homogènes A et B confirment la différence significative entre ces deux moyennes.

Tableau n°20 : Test de comparaisons multiples (SNK) pour la variable traitement (paramètre : poids sec des fécès des adultes).

Modalités	Moyenne	Regroupements
traités	0,236	A
témoins	0,093	B

La moyenne du poids sec des fécès enregistrée chez les adultes traités au *M. anisopliae var acridum* est effectivement plus élevée que chez les témoins. La différence significative entre ces deux moyennes est prouvée par l'existence des deux groupements A et B statistiquement différents.

L'utilisation de l'analyse de la variance nous a permis également de constater que l'effet du temps n'a pas eu d'influence sur les moyennes journalières de la quantité de matière sèche ingérée et du poids sec des fécès durant les trois semaines de cette étude car la différence entre les moyennes notées chez les insectes traités et celles notées chez les témoins s'avère non significative pour ces deux paramètres (F. obs=3,465 < F. théo ; p>0,05 pour le paramètre : quantité de matière sèche ingérée, F. obs=1,603 < F. théo ; p>0,05 pour le paramètre : poids sec des fécès) (annexes n°9 et 10).

2.2.2.2. Résultats obtenus de l'effet du *Metarhizium anisopliae var acridum* sur la consommation des individus de *Schistocerca gregaria* traités à l'état imaginal

Les moyennes de la quantité de matière sèche d'aliment ingéré par imago ainsi que celle des fécès récupérées quotidiennement chez les deux lots d'individus témoins et traités par

Effet du bio pesticide « Green Muscle » (*Metarhizium anisopliae* var *acridum* IMI 330189) sur la reproduction du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forskal, 1775) (Acrididae, Cyrtacanthacridinae) en conditions contrôlées.

M. anisopliae var *acridum* sont consignées dans le tableau n°21 et illustrées par la figure n°36.

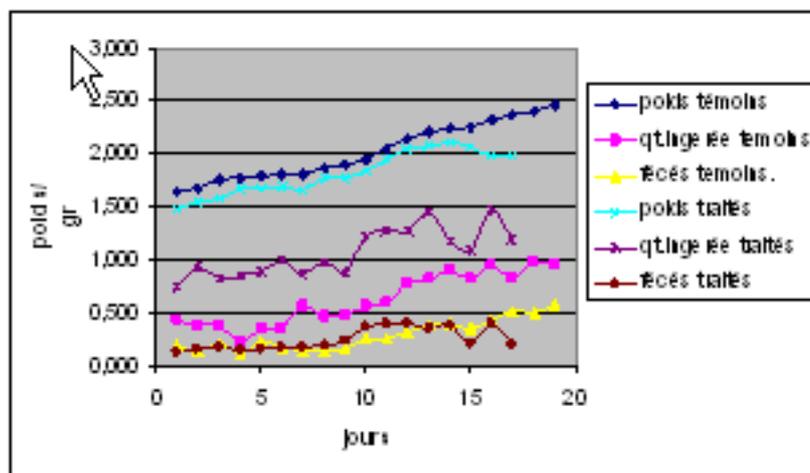


Figure n°36 : Moyennes journalières de la quantité de matière sèche d'aliment ingéré et du poids sec des féces émises par individu chez les individus de *S. gregaria* témoins et traités au champignon juste après l'émergence.

Tableau n°21 : Moyennes journalières de la quantité de matière sèche de l'aliment ingéré et du poids sec des féces / individu chez les individus témoins et traités au champignon juste après l'émergence.

Jours	Témoins			Traités		
	poids/g	Quantité ingérée/g	Quantité féces/g	poids/g	Quantité ingérée/g	Quantité féces/g
1j	1,650±0,365	0,436±0,311	0,187±0,871	1,489±0,330	0,743±0,656	0,124±0,010
2j	1,678±0,2154	0,379±0,111	0,139±0,054	1,548±0,298	0,936±1,066	0,154±0,057
3j	1,758±0,274	0,371±0,245	0,207±0,065	1,581±0,056	0,823±0,931	0,179±0,008
4j	1,770±0,335	0,226±0,123	0,116±0,003	1,680±0,331	0,856±0,835	0,149±0,068
5j	1,786±0,356	0,358±0,236	0,221±0,54	1,670±0,322	0,895±0,928	0,166±0,035
6j	1,799±0,345	0,355±0,255	0,179±0,36	1,694±0,335	1,006±1,006	0,184±0,096
7j	1,813±0,421	0,562±0,324	0,142±0,032	1,664±0,411	0,867±0,810	0,179±0,076
8j	1,879±0,425	0,469±0,145	0,151±0,066	1,779±0,425	0,977±0,691	0,190±0,079
9j	1,910±0,651	0,479±0,235	0,169±0,087	1,775±0,331	0,886±0,890	0,241±0,092
10j	1,950±0,251	0,558±0,214	0,259±0,120	1,835±0,509	1,218±1,005	0,372±0,079
11j	2,046±1,021	0,602±0,366	0,255±0,015	1,950±1,006	1,268±0,658	0,401±0,066
12j	2,139±1,210	0,769±0,256	0,320±0,064	2,042±1,039	1,282±0,734	0,406±0,051
13j	2,204±0,654	0,818±0,366	0,388±0,251	2,075±0,581	1,450±1,275	0,355±0,121
14j	2,234±0,361	0,910±0,645	0,401±0,041	2,121±0,529	1,169±1,367	0,392±0,028
15j	2,266±0,552	0,825±0,366	0,360±0,036	2,070±0,078	1,098±1,821	0,210±0,064
16j	2,320±0,525	0,953±0,451	0,430±0,087	1,980±0,553	1,463±1,291	0,407±0,209
17j	2,371±0,982	0,837±0,215	0,523±0,210	1,991±0,504	1,199±1,236	0,216±0,131
18j	2,398±0,651	0,980±0,121	0,501±0,142			
19j	2,469±0,741	0,945±0,521	0,588±0,239			

Au vue des résultats observés dans le tableau n°21 et la figure n°36, on remarque que le poids des insectes, la quantité de matière sèche consommée ainsi que celle des féces présentent la même évolution à travers le temps chez les deux lots (traités et témoins),

on déduit alors que la prise de poids par insecte s'est maintenue proportionnelle à la quantité de matière ingérée ainsi qu'à la quantité de fécès émises par ce dernier. Par contre, on remarque que la quantité de matière sèche d'aliment ingéré est plus élevée chez les individus ayant été traités par l'entomopathogène. Ce-ci est confirmé par l'analyse de la variance qui montre une différence significative entre les moyennes des deux lots. ($F_{obs}=0,043 > F_{théo}$; $p < 0,05$) (annexes n°11). Le test de Newman-Keuls (tableau n°22) dévoile l'existence de deux groupements homogènes statistiquement différents A et B qui prouvent le surcroît de la moyenne de la quantité d'aliment consommé par les individus traités.

Tableau n°22 : Test de comparaisons multiples (SNK) pour la variable traitement (le facteur quantité de matière sèche ingérée par les individus traités à l'état imagos).

Modalités	Moyenne	Regroupements	
traités	1,002	A	
témoins	0,623		B

L'analyse statistique a montré également que l'effet du traitement est non significatif sur les moyennes du poids sec des fécès enregistrées chez les deux lots d'insectes traités et non traités ($F_{obs}=2,615 < F_{théo}$; $p > 0,05$) (annexes n°12).

Concernant l'effet du facteur temps sur les moyennes de la quantité de matière sèche ingérée et du poids sec des fécès par individu, il se vérifie significatif par le biais de l'analyse de la variance ($F_{obs}=4,191 > F_{théo}$; $p < 0,05$ pour le paramètre : quantité de matière sèche ingérée, $F_{obs}=24,542 > F_{théo}$; $p < 0,05$ pour le paramètre : poids sec des fécès) (annexes n°11 et 12) et du test de Newman-Keuls qui dévoile l'apparence de deux groupements homogènes A et B pour les deux paramètres étudiés (tableaux n°23 et 24).

Tableau n°23 : Test de comparaisons multiples (SNK) pour la variable temps (paramètre : quantité de matière sèche ingérée par les individus traités à l'état imagos).

Modalités	Moyenne	Regroupements	
semaine3	1,318	A	
semaine2	0,977	A	B
semaine1	0,647		B

Le tableau ci-dessus démontre que la moyenne de la quantité de matière sèche consommée la plus faible a été enregistrée durant la 1^{ère} semaine, la plus forte par contre a été notée durant la 3^{ème} semaine.

Modalités	Moyenne	Regroupements	
semaine3	0,334	A	
semaine2	0,322	A	
semaine1	0,164		B

Tableau n°24 : Test de comparaisons multiples (SNK) pour la variable temps (paramètre : poids sec des fécès des individus traités à l'état imagos).

Effet du bio pesticide « Green Muscle » (*Metarhizium anisopliae* var *acridum* IMI 330189) sur la reproduction du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forskal, 1775) (Acrididae, Cyrtacanthacridinae) en conditions contrôlées.

Le tableau n°24 laisse voir que le poids sec des fèces a augmenté de manière significative à partir de la deuxième semaine de cette étude.

2.2.3. Résultats obtenus de l'étude de l'influence du *Metarhizium anisopliae* var *acridum* sur les indices nutritionnels de consommation et d'utilisation de la nourriture chez les ailés de *Schistocerca gregaria*.

Afin de mieux expliquer les variations du taux d'assimilation de la nourriture chez les individus infectés par rapport aux témoins nous avons utilisé des indices nutritionnels.

2.2.3.1. Résultats obtenus de l'étude de l'influence du *Metarhizium anisopliae* var *acridum* sur les indices nutritionnels de consommation et d'utilisation de la nourriture chez les adultes de *Schistocerca gregaria* .

Les moyennes quotidiennes estimées de l'efficacité de conversion de la nourriture ingérée en matière corporelle (E.C.I.), du coefficient approximatif de digestibilité de la matière ingérée (A.D.) et de l'efficacité de conversion de la nourriture digérée en matière corporelle (E.C.D.) chez les adultes témoins et traités par l'entomopathogène sont mentionnées dans le tableau n°25 et illustrées par les figures n°37, 38 et 39.

Tableau n°25 : Evaluation des indices nutritionnels E.C.I., A.D. et E.C.D. chez les adultes témoins et traités au champignon.

jours	Témoins			Traités		
	E.C.I.	A.D.	E.C.D.	E.C.I.	A.D.	E.C.D.
4J	287,98±112,54	90,58±42,25	317,91±84,54	220,60±53,10	92,69±2,43	141,89±63,55
5J	399,01±58,87	87,58±9,25	455,59±21,32	331,18±86,87	70,13±24,91	223,71±46,84
6J	334,53±99,45	85,68±18,54	390,42±32,65	280,12±17,97	73,64±19,70	167,19±80,26
7J	529,68±97,48	76,81±14,25	689,60±41,25	529,05±121,95	65,44±1,92	331,46±210,19
8J	405,41±102,36	87,85±19,87	461,51±102,36	463,48±52,44	77,93±5,83	259,84±112,13
9J	400,35±223,87	89,74±23,45	446,13±85,78	428,95±226,65	54,64±37,01	364,53±151,76
10J	404,62±201,32	83,29±9,87	485,81±99,65	330,48±87,38	85,03±2,59	235,74±114,65
11J	397,47±187,89	79,12±5,98	502,34±187,30	343,91±161,71	22,85±85,22	138,11±106,15
12J	274,14±150,54	82,82±10,36	330,99± 47,66	195,37±31,79	84,22±4,47	106,64±25,47
13J	282,96± 94,78	84,95±4,87	333,09±120,98	312,59±93,57	79,75±10,19	169,84±67,81
14J	265,14± 45,32	81,04±9,85	327,16±54,66	254,06±112,23	88,95±0,55	97,78±127,95
15J	281,78±165,47	88,84±3,65	317,16±23,44	314,15±222,76	91,03±0,91	86,65±241,27
16J	278,95±106,23	85,64±12,54	325,73±98,52	241,01±152,07	85,47±5,15	74,90±195,26
17J	517,39±204,87	86,38±8,95	598,97± 33,54	158,65±7,05	49,05±37,98	101,22±378,16
18j	463,72± 98,54	92,12±38,54	503,38±125,95	155,01±6,67	46,37±41,27	105,70±469,03

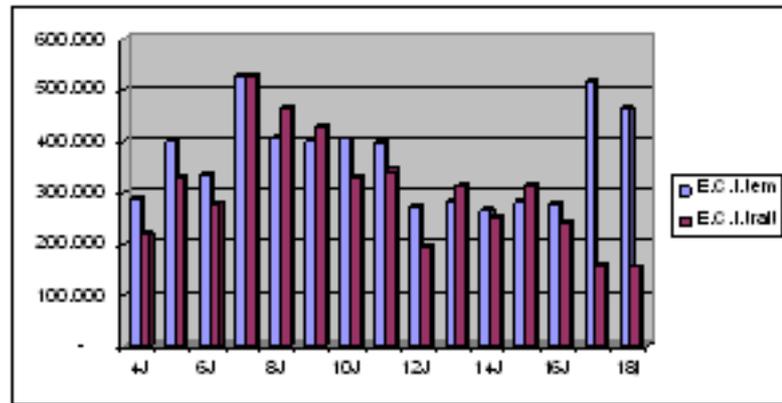


Figure n°37: Estimation des moyennes quotidiennes de l'efficacité de conversion de la nourriture ingérée en matière corporelle (E.C.I) chez les adultes témoins et traités au champignon.

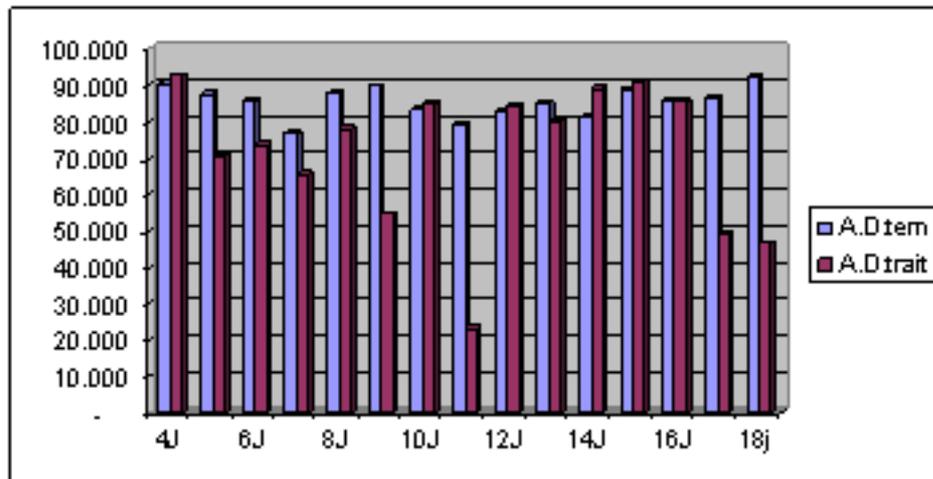


Figure n°38 : Estimation des moyennes quotidiennes du coefficient approximatif de digestibilité de la matière ingérée (A.D.) chez les adultes témoins et traités au champignon.

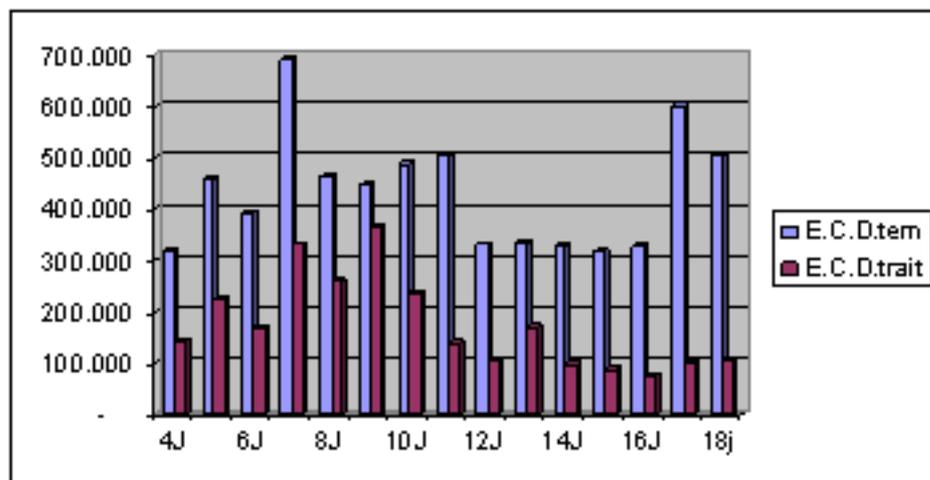


Figure n°39 : Estimation des moyennes quotidiennes de l'efficacité de conversion de la nourriture digérée en matière corporelle (E.C.D) chez les adultes témoins et traités au champignon.

D'après le tableau n°25 et les figures n°37 et 38 on remarque que les moyennes journalières des deux coefficients E.C.I. et A.D. marqués chez les adultes traités par l'entomopathogène ne diffèrent pas tellement des moyennes notées chez les témoins et cela tout au long de cette étude mis à part les deux derniers jours (17^{ème} jour et 18^{ème} jour). L'analyse statistique par l'utilisation de l'analyse de la variance à deux critères de classification à savoir le facteur temps et le facteur traitement confirme que l'effet de ces deux variables est non significatif sur les moyennes quotidiennes de ces deux indices nutritionnels (F. obs= 2,814 <F. théo; p>0,05 pour la variable traitement du paramètre E.C.I., F. obs=1,598 <F. théo ; p>0,05 pour la variable temps du paramètre E.C.I.), (F. obs=3,367 <F. théo ; p>0,05 pour la variable traitement du paramètre A.D., F. obs=0,099 <F. théo ; p>0,05 pour la variable temps du paramètre A.D.) (annexes n° 13 et 14).

En observant le tableau n°25 et la figure n°39, une légère différence de moyennes du coefficient E.C.D. entre les deux lots d'insectes est appréciée. Cependant l'analyse statistique révèle que cette différence s'avère non significative pour les deux variables temps et traitement (F. obs= 0,180 <F. théo ; p>0,05 pour la variable traitement du paramètre E.C.D., F. obs= 0,556 <F. théo ; p>0,05 pour la variable temps du paramètre E.C.D.) (annexes n°15).

2.2.3.2. Résultats obtenus de l'étude de l'influence du *Metarhizium anisopliae* var *acridum* sur les indices nutritionnels de consommation et d'utilisation de la nourriture chez les individus de *Schistocerca gregaria* traités à l'état imaginal.

Les moyennes quotidiennes calculées de l'efficacité de conversion de la nourriture ingérée en matière corporelle (E.C.I), du coefficient approximatif de digestibilité de la matière ingérée (A.D.) ainsi que de l'efficacité de conversion de la nourriture digérée en matière corporelle (E.C.D.) chez les insectes témoins et traités à l'état imaginal par l'entomopathogène sont notées dans le tableau n°26 et illustrées par les figures n°40, 41 et 42.

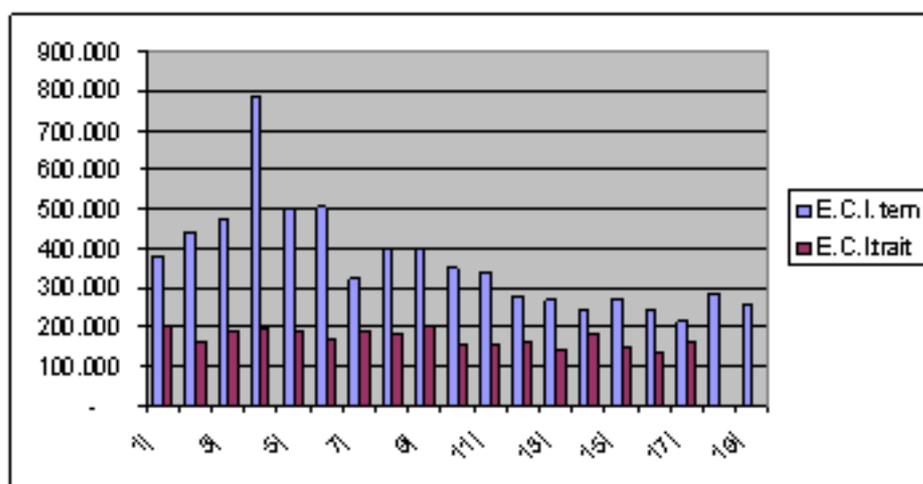


Figure n°40 : Estimation des moyennes quotidiennes de l'efficacité de conversion de la nourriture ingérée en matière corporelle (E.C.I) chez les individus témoins et traités au champignon juste après l'émergence.

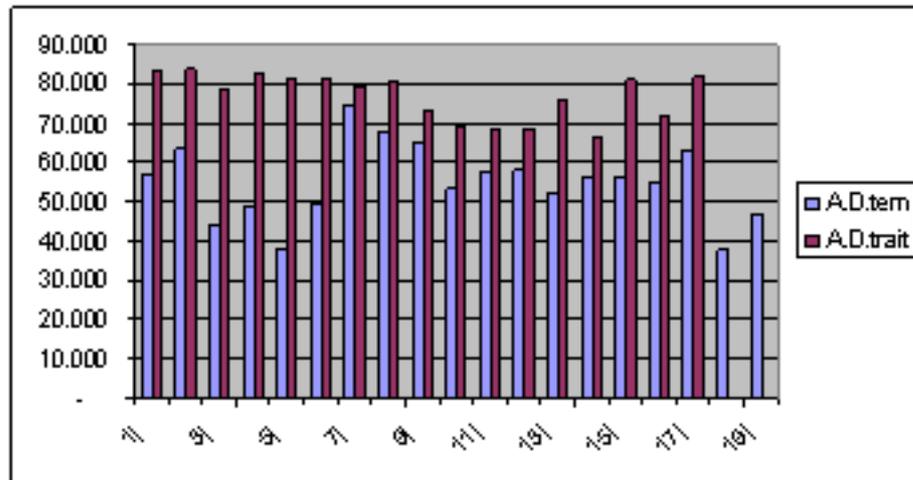


Figure n°41 : Estimation des moyennes quotidiennes du coefficient approximatif de digestibilité de la matière ingérée (A.D.) chez les individus témoins et traités au champignon juste après l'émergence.

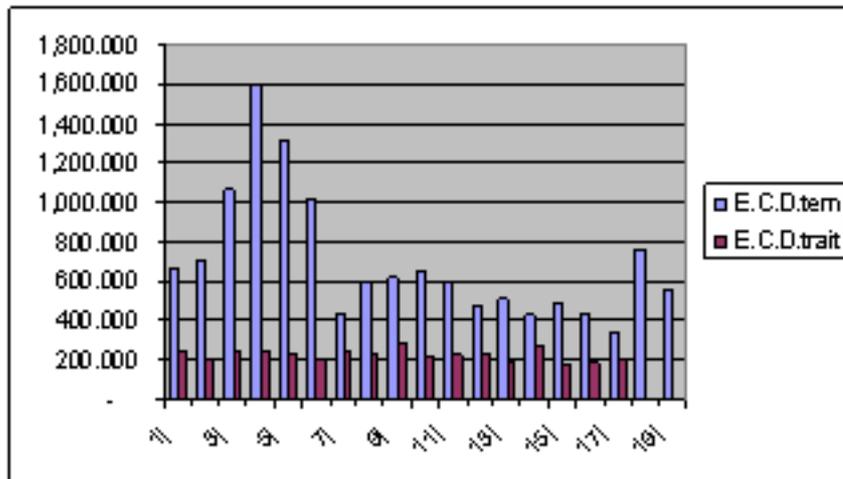


Figure n°42 : Estimation des moyennes quotidiennes de l'efficacité de conversion de la nourriture digérée en matière corporelle (E.C.D.) chez les individus témoins et traités au champignon juste après l'émergence.

Tableau n°26 : Evaluation des indices nutritionnels E.C.I., A.D. et E.C.D. chez les individus témoins et traités au champignon juste après l'émergence.

Effet du bio pesticide « Green Muscle » (*Metarhizium anisopliae* var *acridum* IMI 330189) sur la reproduction du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775) (Acrididae, Cyrtacanthacridinae) en conditions contrôlées.

jours	témoins			traités		
	E.C.I.	A.D.	E.C.D.	E.C.I.	A.D.	E.C.D.
1j	378,66±229,21	57,01±30,54	664,19±145,56	200,46±229,21	83,32±20,55	240,58±669,30
2j	442,05±272,20	63,44±45,12	696,43±140,87	165,34±269,04	83,598±17,82	197,78±4543,83
3j	473,85±387,25	44,30±21,54	1069,51±668,45	192,06±409,33	78,218±40,70	245,55±230,45
4j	782,39±584,21	48,72±23,54	1605,77±845,54	196,21±172,18	82,629±22,43	237,46±303,34
5j	499,30±214,58	38,22±28,97	1306,33±541,65	186,68±146,88	81,434±10,61	229,24±399,28
6j	506,47±426,58	49,69±41,03	1019,26±411,03	168,45±130,85	81,680±12,86	206,23±212,36
7j	322,67±123,54	74,74±40,87	431,73±5213,66	191,94±81,89	79,375±6,85	241,82±171,74
8j	400,54±214,32	67,90±5,64	589,85±412,22	182,06±201,86	80,531±32,54	226,08±1263,69
9j	398,43±365,47	64,73±10,23	615,44±335,41	200,37±81,11	72,829±23,04	275,12±222,94
10j	349,73±258,45	53,46±17,58	654,09±355,124	150,63±115,37	69,477±18,58	216,80±255,06
11j	339,89±302,10	57,60±19,87	590,08±478,99	153,79±96,09	68,353±18,85	2245,00±213,54
12j	278,34±169,22	58,30±26,55	477,59 ±402,55	159,33±90,06	68,344±27,32	233,13±316,29
13j	269,51±109,89	52,58±13,02	512,53±336,11	143,07±463,91	75,530±89,18	189,42±768,39
14j	242,36±203,24	56,46±32,87	429,27±368,79	181,34±231,57	66,476±64,14	272,8±175,29
15j	274,80±233,45	56,34±39,66	487,75±385,26	147,50±204,44	80,922±54,04	182,27±235,77
16j	243,54±208,52	54,90±24,56	443,27±100,97	135,38±220,90	72,156±30,47	187,62±627,50
17j	213,60±200,03	63,11±40,21	338,43±189,41	166,03±421,91	82,024±4,26	202,41±145,78
18j	286,43±245,98	37,55±30,33	762,73±632,56	-	-	-
19j	261,37±245,41	47,01±25,55	555,96±321,85	-	-	-

En observant les résultats portés sur le tableau n°26 et illustrés par les figures n°40, 41 et 42 on constate que les moyennes journalières des trois indices nutritionnels enregistrées chez les imagos ayant été traités par l'entomopathogène différent nettement de celles notées chez les témoins. En effet, l'utilisation de l'analyse de la variance a prouvé que cette différence est significative ($F_{obs}=49,717 > F_{théo}$; $p < 0,05$ pour le paramètre : E.C.I., $F_{obs}=59,656 > F_{théo}$; $p < 0,05$ pour le paramètre : A.D., $F_{obs}=39,582 > F_{théo}$; $p < 0,05$ pour le paramètre : E.C.D.) (annexes n°16, 17 et 18)

Afin de connaître les niveaux de significativité de l'effet du facteur traitement sur ces trois paramètres nous avons réalisé le test de Newman-Keuls :

Modalités	Moyenne	Regroupements	
témoins	377,413	A	
traités	171,803		B

Tableau n°27 : Test de comparaisons multiples (SNK) pour la variable traitement (paramètre : E.C.I. : efficacité de conversion de la nourriture ingérée en matière corporelle).

Le tableau ci-dessus montre que la moyenne du E.C.I. des individus traités est plus faible que celle des témoins ceci est prouvé par l'existence des deux groupements homogènes statistiquement différents

Tableau n°28 : Test de comparaisons multiples (SNK) pour la variable traitement (paramètre : A.D. : coefficient approximatif de digestibilité de la matière ingérée).

Modalités	Moyenne	Regroupements	
traités	76,876	A	
témoins	56,564		B

D'après le tableau ci-dessus, on déduit que l'apparence des deux groupements homogènes A et B confirme que la moyenne du A.D. des individus traités est plus importante que celle des témoins.

Tableau n°29 : Test de comparaisons multiples (SNK) pour la variable traitement (paramètre : E.C.D. : l'efficacité de conversion de la nourriture digérée en matière corporelle).

Modalités	Moyenne	Regroupements	
témoins	701,840	A	
traités	224,077		B

Les deux groupements homogènes A et B figurants dans le tableau n°29 mettent en évidence la diminution de la moyenne du E.C.D. des imagos traités comparé aux témoins.

Nous avons noté également dans cette étude que contrairement aux moyennes du coefficient A.D., le facteur temps a eu un effet significatif sur les moyennes quotidiennes des indices nutritionnels E.C.I. et E.C.D (F.obs= 6,958>F. théo ; p<0,05 pour le paramètre : E.C.I., F.obs=4,841 >F. théo ; p<0,05 pour le paramètre : E.C.D., (F. obs= 0,491<F. théo ; p>0,05 pour le paramètre : A.D.) (annexes n°16, 17 et 18). Le test de Newman-Keuls prouve les niveaux de cette significativité :

Tableau n°30 : Test de comparaisons multiples (SNK) pour la variable temps (paramètre : E.C.I.).

Modalités	Moyenne	Regroupements	
semaine1	336,184	A	
semaine2	246,387		B
semaine3	196,778		B

Tableau n°31 : Test de comparaisons multiples (SNK) pour la variable temps (paramètre : E.C.D.).

Modalités	Moyenne	Regroupements	
semaine1	599,420	A	
semaine2	393,355		B
semaine3	306,958		B

Les tableaux n°30 et 31 montrent que les moyennes des indices E.C.I. et E.C.D. ont augmenté de manière significative à partir de la deuxième semaine de cette étude.

2.3. Résultats obtenus de l'étude de l'effet du *Metarhizium anisopliae* var *acridum* sur le fonctionnement ovarien des adultes de *Schistocerca gregaria*

Cette étude a été réalisée dans le but de connaître l'effet d'une dose sub-létale du *M. a. var acridum* sur le fonctionnement ovarien des femelles ayant déjà atteint leur maturation.

2.3.1. Résultats obtenus de l'effet du *Metarhizium anisopliae* var *acridum* sur le taux de résorption ovocytaire chez les femelles de *Schistocerca gregaria*

Les taux de résorption ovocytaire calculés chez les femelles adultes de *S. gregaria* ayant subi ou non le traitement par le champignon sont présentés par le tableau n°32 et la figure n°43.

Tableau n°32 : Taux de résorption ovocytaire chez les femelles adultes de *S. gregaria* témoins et traités au *M. anisopliae* var *acridum*

Jours	Témoins			Traitées		
	ovaire 1	ovaire 2	Moyenne.	ovaire1	ovaire 2	Moyenne.
4j	0,00±0,00	40,00±56,57	20,00±28,28	90,00±14,14	55,00±7,07	72,5±24,75
7j	20,00±0,00	20,00±28,28	20,00±0,00	10,00±14,14	0,00±0,00	5,00±7,07
10j	20,00±28,28	40,00±28,28	30,00±14,14	50,00±14,14	45,00±49,50	47,5±3,54
13j	60,00±28,28	60,00±0,00	60,00±0,00	50,00±70,71	60,00±56,57	55,00±7,07
16j	20,00±28,28	0,00±0,00	10,00±14,14	50,00±14,14	50,00±14,14	50,00±0,00
Moyennes	24,00±21,91	32,00±22,80	28,00±19,24	50,00±28,28	42,00±24,14	46,00±24,91

Au vue des résultats mentionnés dans le tableau n°32 et la figure n°43, il apparaît que les femelles traitées présentent un taux de résorption ovocytaire plus élevé que celui des témoins. En effet la moyenne de ce taux enregistrée chez les individus traités est de 46% comparée à 28% chez les témoins.

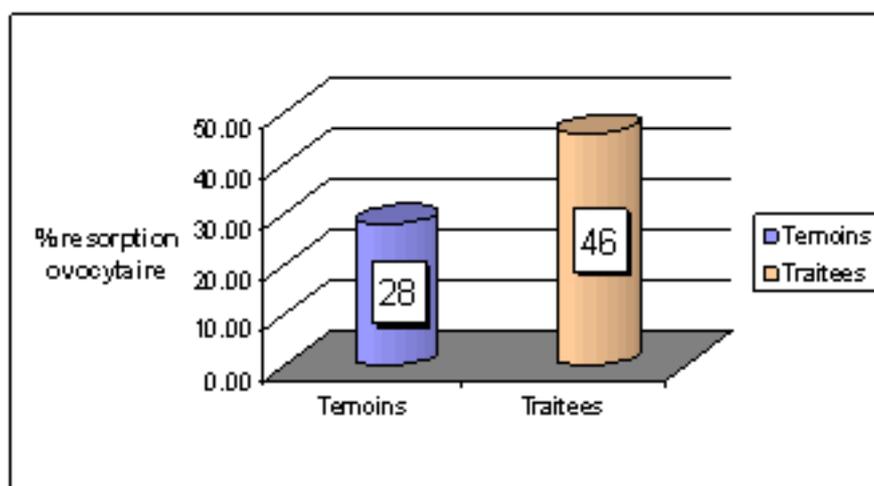


Figure 43: Taux de résorption ovocytaire chez les adultes de *S. gregaria* témoins et traités au *M. anisopliae* var *acridum*

Afin d'exploiter les résultats obtenus lors de cette étude, nous avons utilisé l'analyse de la variance à deux critères de classification à savoir le facteur traitement et le facteur ovaire. Ce dernier a été pris en considération afin de déceler une éventuelle différence de moyennes du taux de résorption entre les deux ovaires qui serait due à l'asynchronisme ovarien. Cette analyse a été appliquée sur les résultats de chaque semaine (semaine1, semaine2 et semaine3).

L'analyse a révélé que la différence de moyennes de résorption ovocytaire durant les deux premières semaines est non significative contrairement à la troisième semaine (F. obs=0,980<F. théo ; p>0,05 pour la variable traitement du paramètre : semaine1, F. obs= 0,034<F. théo ; p>0,05 pour la variable traitement du paramètre : semaine 2, F.obs=

12,000>F. théo ; $p < 0,05$ pour la variable traitement du paramètre : semaine3).(annexes n°19, 20 et 21).

Le test de Newman-Keuls a prouvé que la moyenne du taux de résorption ovocytaire durant la semaine 3 est plus élevé chez les individus traités par l'existence des deux groupements homogènes A et B statistiquement différents (tableau n°33).

Tableau n°33: Test de comparaisons multiples (SNK) pour la variable traitement (paramètre : taux de résorption ovocytaire) durant la 3^{ème} semaine.

Modalités	Moyenne	Regroupements	
traitées	50,000	A	
témoins	10,000		B

L'analyse statistique a montré également que la différence des moyennes entre les deux ovaires est non significative pour les trois semaines d'étude (F. obs= 0,780<F. théo ; $p > 0,05$ pour la variable ovaire du paramètre : semaine1, F. obs= 0,103<F. théo ; $p > 0,05$ pour la variable ovaire du paramètre : semaine 2, F. obs= 0,375<F. théo ; $p > 0,05$ pour la variable ovaire du paramètre : semaine 3) (annexes n°19, 20 et 21).

2.3.2. Résultats obtenus de l'influence du traitement sur la fécondité et la fertilité des adultes.

Cette étude a été suivie pour montrer si le traitement des femelles de *S. gregaria* par le champignon entomopathogène à l'état adulte pouvait induire une influence sur la fertilité de ces dernières.

2.3.2.1. Résultats obtenus de l'influence du traitement sur le nombre d'oothèques pondues par les adultes.

Les résultats de l'évolution du nombre d'oothèques pondues par les femelles traitées ou non par l'entomopathogène sont consignés sur le tableau n°34 et illustrés par la figure n°44.

Tableau n°34 : Evolution du nombre de pontes émises par les adultes de *Schistocerca gregaria* témoins et traités par *Metarhizium anisopliae* var *acridum* à travers le temps.

Jours	Nbr. pontes Témoins	Nbr. pontes Traitées
4	0,00±0,00	0,00±0,00
5	2,00±0,00	2,00±0,00
6	2,00±0,00	2.50±0,71
7	2,00±0,00	3.50±0,71
8	2,00±0,00	3.50±0,71
9	2,00±0,00	4,00±0,00
10	4,00±1,41	5,50±0,71
11	5,00±1,41	6,50±0,71
12	5,00±1,41	6,50±0,71
13	5,00±1,41	6,50±0,71
14	6,00±0,00	6,50±0,71
15	6,00±0,00	7,50±2,12
16	6,00±0,00	9,00±1,41

Effet du bio pesticide « Green Muscle » (*Metarhizium anisopliae* var *acridum* IMI 330189) sur la reproduction du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775) (Acrididae, Cyrtacanthacridinae) en conditions contrôlées.

Le tableau ci-dessus ainsi que la figure n°44 montrent clairement que les femelles traitées au champignon ont pondé un plus grand nombre d'oothèques que les témoins et cela durant les trois semaines de cette étude. L'analyse de la variance à deux critères de classification (facteur : traitement et facteur temps) confirme ces résultats car l'effet de ces deux facteurs s'avère significatif ($F_{obs}=7,693 > F_{théo}$; $p < 0,05$ pour la variable : traitement, $F_{obs}= 49,104 > F_{théo}$; $p < 0,05$ pour la variable : temps). (annexes n°22).

Afin de connaître les niveaux de significativité des deux facteurs considérés, nous avons fait appel au test de Newman-Keuls :

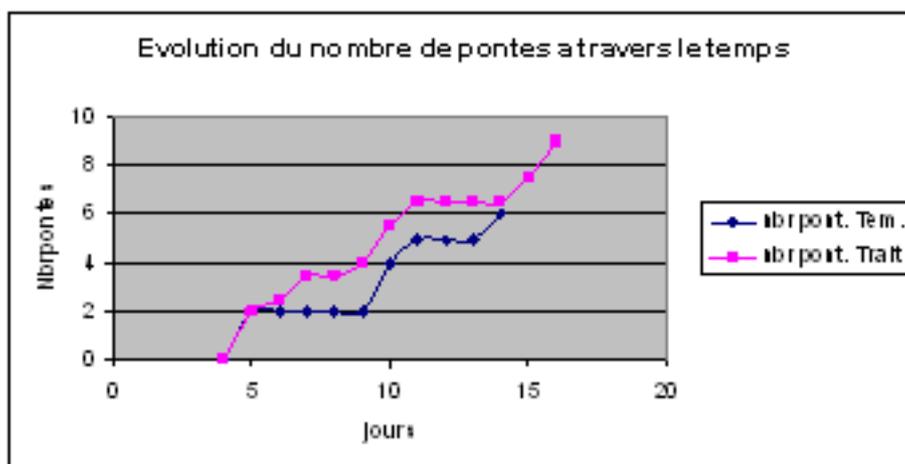


Figure 44 : Evolution du nombre de pontes à travers le temps chez les adultes de *S. gregaria* témoins et traités au *M. anisopliae* var *acridum*.

Tableau n°35 : Test de comparaisons multiples (SNK) pour la variable traitement (paramètre : nombre de pontes).

MODALITES	Moyenne	Regroupements
traitées	5,190	A
témoins	3,615	B

L'existence des deux groupements homogènes A et B observés dans le tableau n°35 prouve que la moyenne du nombre d'oothèques pondues par les femelles traitées est plus élevée que chez les témoins.

Tableau n°36 : Test de comparaisons multiples (SNK) pour la variable temps (paramètre : nombre de pontes).

Modalités	Moyenne	Regroupements
semaine3	7,818	A
semaine2	5,286	B
semaine1	1,938	C

L'apparence des trois groupements homogènes A, B et C montrent que le nombre de pontes a évolué chaque semaine durant cette étude.

2.3.2.2. Résultats obtenus de l'influence du traitement sur le nombre d'œufs pondus par les femelles adultes et le taux d'éclosion.

Le nombre d'œufs pondus par les femelles ayant été exposées ou non au traitement par le *M. anisopliae var acidum* ainsi que la moyenne du taux d'éclosion obtenu pour chaque lot sont mentionnés dans le tableau suivant et illustrés par la figure n°45:

Tableau n°37 : Moyennes du nombre d'œufs et du taux d'éclosion calculées chez les adultes témoins et traités par le champignon

	Nbr pontes	Nbr d'oeufs	Nbr d'oeufs/ ponte	Taux d'eclosion
Témoins	6	254	42.33	64,252±23.733
Traités	9±1,414	260,5±37.477	28,940±0.201	63,539±1.840

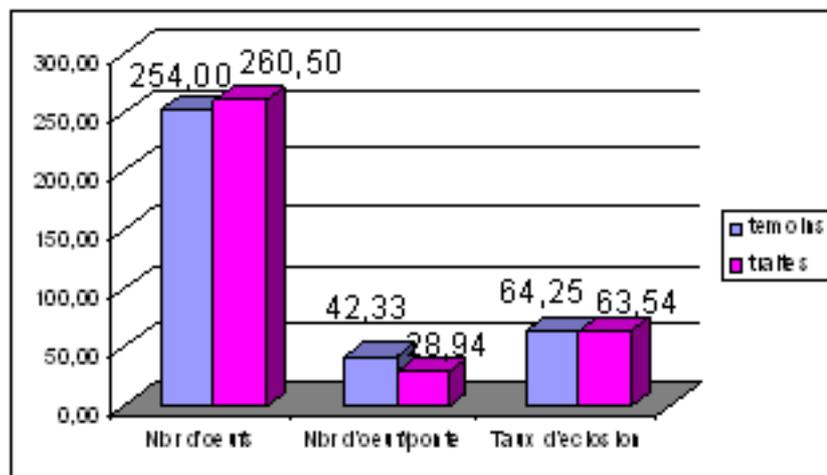


Figure 45 : Moyennes du nombre d'œufs et du taux d'éclosion calculées chez les adultes témoins et traités par le champignon.

Comme nous l'avons vu précédemment le nombre d'oothèques le plus élevé est noté chez les individus traités. Néanmoins le tableau n°37 et la figure n°45 montrent que le total du nombre d'œufs pondus par les témoins ne diffère pas tellement de celui des individus traités. Ceci peut être expliqué par le fait que les oothèques pondues par les femelles au nombre de 9 contiennent une moyenne de 28,94 œufs/ponte alors que celles des témoins au nombre de 6 contiennent par contre une moyenne de 42,33 œufs/ponte.

Concernant le taux d'éclosion, il s'avère également qu'il est presque identique chez les deux lots. En effet la différence est très faible.

2.4. Résultats obtenus de l'effet du *M. anisopliae var acridum* sur la maturation sexuelle des imagos de *S. gregaria*.

L'étude suivante a été effectuée afin de connaître l'influence d'une dose sub-létale du *M. a. var acridum* sur la maturation sexuelle des individus parvenant tout juste d'accomplir leur mue imaginale.

2.4.1. Influence du traitement sur le développement ovarien.

Les résultats de l'évolution de la taille de l'ovocyte de base selon les différents stades ovariens des individus de *S. gregaria* témoins et traités par le champignon à l'état imaginal sont exposés dans le tableau n°38 et la figure n°46.

Effet du bio pesticide « Green Muscle » (*Metarhizium anisopliae* var *acridum* IMI 330189) sur la reproduction du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775) (Acrididae, Cyrtacanthacridinae) en conditions contrôlées.

Tableau n°38 : Evolution de la taille de l'ovocyte de base (mm) chez les individus témoins et traités par *Metarhizium anisopliae* var *acridum* juste après l'émergence

Jours	Témoins			Traitées		
	ovaire 1	ovaire 2	moy	ovaire1	ovaire 2	moy
3j	0,794±0,111	0,782±0,197	0,788±0,009	0,732±0,181	0,787±0,151	0,760±0,039
5j	1,030±0,360	1,042±0,343	1,036±0,009	0,865±0,184	0,978±0,204	0,921±0,080
7j	1,309±0,429	1,242±0,403	1,276±0,047	1,333±0,309	1,345±0,311	1,339±0,009
9j	1,491±0,086	1,393±0,377	1,442±0,069	1,657±0,225	1,620±0,131	1,638±0,026
11j	1,655±0,266	1,794±0,549	1,724±0,099	2,63±0,361	2,675±0,353	2,653±0,031
13j	3,206±0,574	3,085±0,489	3,145±0,086	3,859±0,310	3,705±0,382	3,782±0,109
15j	4,218±0,291	4,194±0,291	4,206±0,017	4,642±0,725	4,671±0,697	4,657±0,020
17j	5,200±0,411	5,303±0,403	5,251±0,073	5,964±0,451	6,008±0,430	5,986±0,031
19j	6,897±0,189	6,958±0,086	6,927±0,043			

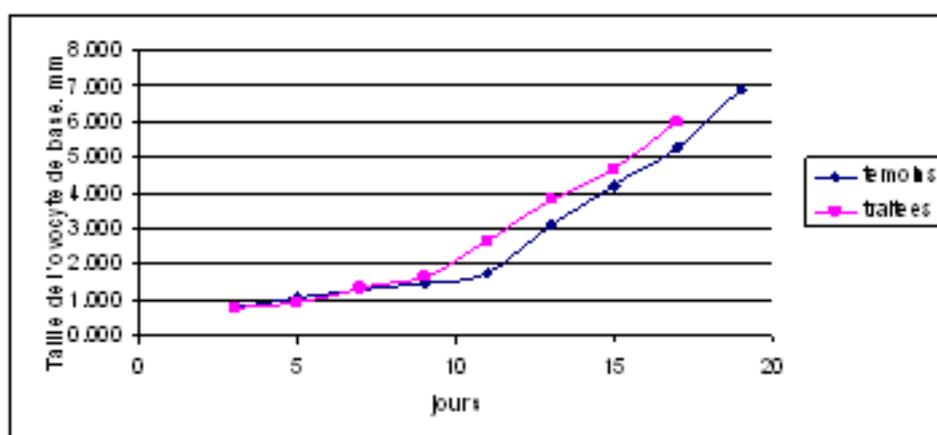


Figure 46 : Evolution de la taille de l'ovocyte de base chez les individus témoins et traités par *Metarhizium anisopliae* var *acridum* juste après l'émergence.

Au vue des résultats présentés dans le tableau n°38 et la figure n°46, il apparaît que l'évolution de la taille de l'ovocyte de base chez les femelles traitées devient plus importante que celle des témoins à partir du 9^{ème} jour après l'émergence. En effet ce début d'accroissement correspond au déclenchement de la vitellogenèse chez les traitées.

Le déclenchement de la vitellogenèse chez les témoins par contre a été observée à partir du 11^{ème} jour suivant l'émergence.

Cet état d'avance de deux jours du développement ovocytaire chez les traitées par rapport aux témoins s'est maintenue jusqu'au 17^{ème} jour où l'on a pu observer l'ovocyte I dans sa phase finale chez les imagos traités.

Concernant la différence des moyennes quotidiennes de la taille de l'ovocyte de base entre les deux lots d'insectes traités et non traités, cette dernière s'est avérée non significative par l'utilisation de l'analyse de la variance à trois critères de classification (facteur : traitement, facteur : ovaire et facteur : temps) ($F_{obs} = 0,499 < F_{théo}$; $p > 0,05$ pour la variable traitement) (annexes n°23). Cette analyse a montré également que la différence des moyennes notées chez les deux ovaires est aussi non significative ($F_{obs} = 0,031 < F_{théo}$; $p > 0,05$ pour la variable ovaire).

L'utilisation de l'analyse de la variance a prouvé par contre que l'effet du temps sur l'évolution des moyennes quotidiennes de la taille de l'ovocyte de base se vérifie effectivement significatif ($F_{obs}=194,012 > F_{théo}$; $p < 0,05$ pour la variable temps) (annexes n°23). Le test de Newman-Keuls dévoile l'existence de trois groupements homogènes A, B et C dans le tableau n°39. On déduit alors que la moyenne de la taille de l'ovocyte de base a augmenté chaque semaine durant cette étude.

Tableau n°39 : Test de comparaisons multiples (SNK) pour la variable temps (paramètre : taille de l'ovocyte de base).

Modalités	Moyenne	Regroupements		
semaine3	5,391	A		
semaine2	2,456		B	
semaine1	1,051			C

2.4.2. Influence du traitement sur les délais d'accouplement et d'oviposition

Les résultats des observations effectuées lors de cette étude sont portés dans le tableau n°40 et illustrés par la figure n°47.

	Délai d'accouplement en jours	Délai d'oviposition en jours
Individus témoins	20,5±0.707	24,5±0.707
Individus traités	17,667±0.577	20±1

Tableau n°40 : Moyennes des délais d'accouplement et d'oviposition chez les insectes témoins et traités au *Metarhizium anisopliae* var *acridum*

D'après le tableau ci-dessus et la figure n°47 on constate que les individus traités ont commencé à s'accoupler et à effectuer leurs premières pontes avant les témoins. En effet le délai d'accouplement et celui d'oviposition étaient plus courts chez les insectes traités au *M.anisopliae* var *acridum*.

2.4.3. Résultats obtenus de l'influence du traitement sur la fécondité et la fertilité des individus traités à l'état imaginal.

Nous nous sommes intéressés également dans cette étude à l'influence du *M. anisopliae* sur la fertilité des femelles traitées par ce dernier à l'état imaginal.

2.4.3.1. Résultats obtenus de l'influence du traitement sur le nombre d'oothèques pondues par les individus traités à l'état imaginal.

Les moyennes obtenues chaque semaine de l'évolution du nombre d'oothèques pondues par les femelles témoins et traitées juste après l'émergence sont portées sur le tableau n°41 et éclairés par la figure n°48.

Effet du bio pesticide « Green Muscle » (*Metarhizium anisopliae* var *acridum* IMI 330189) sur la reproduction du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775) (Acrididae, Cyrtacanthacridinae) en conditions contrôlées.

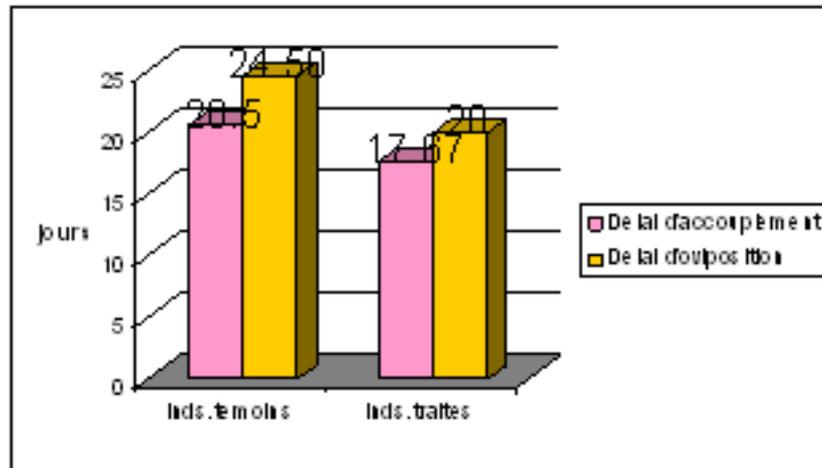


Figure 47 : Délais d'accouplement et d'oviposition chez les individus témoins et traités par *M. anisopliae* var *acridum*

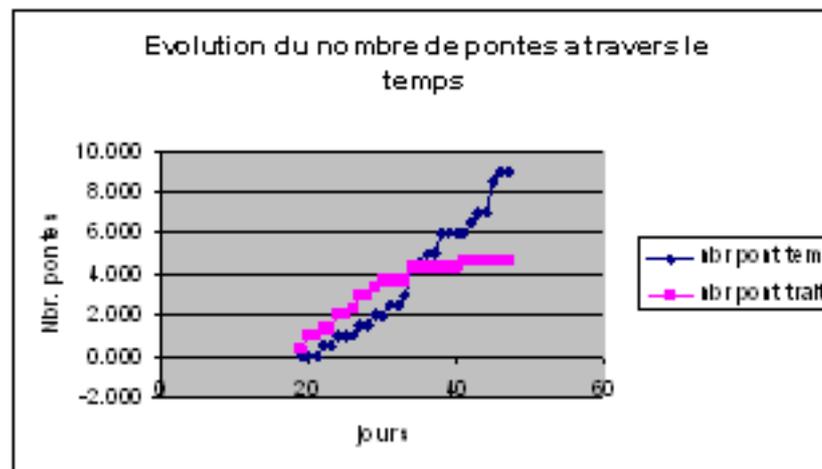


Figure 48 : Evolution du nombre de pontes à travers le temps chez les individus de *S. gregaria* témoins et traités au *M. anisopliae* var *acridum* à l'état imaginal.

Tableau n°41 : Evolution du nombre de pontes émises par les femelles de *Schistocerca gregaria* témoins et traités par *Metarhizium anisopliae* var *acridum* à l'état imago à travers le temps.

Jours	Nbr. pontes Témoins	Nbr. pontes Traitées
19	0,00±0,00	0,33±0,58
20	0,00±0,00	1,00±0,00
21	0,00±0,00	1,00±0,00
22	0,50±0,71	1,33±0,58
23	0,50±0,71	1,33±0,58
24	1,00±0,00	2,00±0,00
25	1,00±0,00	2,00±0,00
26	1,00±0,00	2,33±0,58
27	1,50±0,71	3,00±0,00
28	1,50±0,71	3,00±0,00
29	2,00±0,00	3,33±0,58
30	2,00±0,00	3,67±0,58
31	2,50±0,71	3,67±0,58
32	2,50±0,71	3,67±0,58
33	3,00±0,00	3,67±0,58
34	4,50±0,71	4,33±1,15
35	4,50±0,71	4,33±1,15
36	5,00±0,00	4,33±1,15
37	5,00±0,00	4,33±1,15
38	6,00±0,00	4,33±1,15
39	6,00±0,00	4,33±1,15
40	6,00±0,00	4,33±1,15
41	6,00±0,00	4,67±1,53
42	6,50±0,71	4,67±1,53
43	7,00±0,00	4,67±1,53
44	7,00±0,00	4,67±1,53
45	7,50±0,71	4,67±1,53
46	8,00±0,00	4,67±1,53
47	9,00±0,00	4,67±1,53

D'après le tableau n°41 et la figure n°48, on remarque que durant les trois premières semaines de la période d'oviposition (de la 3^{ème} à la 5^{ème} semaines d'étude), chez les individus traités à l'état imaginal, le nombre d'oothèques pondues était plus important chez les individus traités. L'effet inverse a commencé à s'observer à partir de la 6^{ème} semaine de cette étude où l'on a pu compter un nombre de pontes plus élevé chez les témoins.

L'analyse de la variance appliquée sur les résultats de chaque semaine (semaine 3, semaine 4,semaine 7) confirme nos résultats. En effet le facteur traitement se vérifie significatif pour les résultats notés chaque semaine (F.obs=18,200 >F. théo ; p<0,05 pour le paramètre : semaine 3, (F.obs=24,847 >F. théo ; p<0,05 pour le paramètre : semaine 4, (F.obs=6,669 >F. théo ; p<0,05 pour le paramètre : semaine 5, (F.obs=18,566 >F. théo ; p<0,05 pour le paramètre : semaine 6, (F.obs=43,140 >F. théo ; p<0,05 pour le paramètre : semaine7) (annexes n°24, 25, 26, 27 et 28).

Dans le but de connaître le niveau de significativité du facteur traitement pour les résultats enregistrés chaque semaine, nous avons utilisé le test de Newman-Keuls :

Effet du bio pesticide « Green Muscle » (*Metarhizium anisopliae* var *acridum* IMI 330189) sur la reproduction du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775) (Acrididae, Cyrtacanthacridinae) en conditions contrôlées.

Tableau n°42 : Test de comparaisons multiples (SNK) pour la variable traitement (paramètre : semaine 3).

Modalités	Moyenne	Regroupements	
Traitées	0,778	A	
Témoins	0,000		B

Tableau n°43 : Test de comparaisons multiples (SNK) pour la variable traitement (paramètre : semaine 4).

Modalités	Moyenne	Regroupements	
Traitées	2,143	A	
Témoins	1,000		B

Tableau n°44 : Test de comparaisons multiples (SNK) pour la variable traitement (paramètre : semaine 5).

Modalités	Moyenne	Regroupements	
Traitées	3,810	A	
Témoins	3,000		B

Les tableaux n°42, 43 et 44 dévoilent l'existence de deux groupements homogènes statistiquement différents A et B prouvant que la moyenne du nombre de pontes émises par les individus traités (à l'état imaginal) est effectivement plus élevée que celle des témoins durant la 3^{ème}, la 4^{ème} et la 5^{ème} semaine après l'émergence.

Tableau n°45 : Test de comparaisons multiples (SNK) pour la variable traitement (paramètre : semaine 6).

Modalités	Moyenne	Regroupements	
témoins	5,786	A	
traitées	4,429		B

Tableau n°46 : Test de comparaisons multiples (SNK) pour la variable traitement (paramètre : semaine 7).

Modalités	Moyenne	Regroupements	
témoins	7,700	A	
traitées	4,667		B

Durant les deux dernières semaines (6^{ème} et 7^{ème}), la moyenne du nombre d'oothèques émises par les femelles traitées est plus faible que celle des témoins. Ce-ci est confirmé par l'apparence des deux groupements A et B statistiquement différents présentés dans les tableaux n°45 et n°46.

2.4.3.2. Résultats obtenus de l'influence du traitement sur le nombre d'œufs pondus par les femelles traitées à l'état imago et le taux d'éclosion.

Les résultats obtenus de l'effet du *M. anisopliae var acridum* sur le nombre d'œufs émis par les femelles témoins et traitées à l'état imaginal ainsi que le taux d'éclosion obtenu chez les deux lots sont présentés dans le tableau n°47 et la figure n°49.

Tableau n°47 : Moyennes du nombre d'œufs et du taux d'éclosion calculés chez les femelles témoins et traités à l'état imagos par l'entomopathogène.

	Nbr pontes	Nbr d'œufs	Nbr d'œufs/ ponte	Taux d'éclosion
témoins	9,00±0,00	382,00±1,41	42,44±0,16	66,16±0,16
traités	4,67±1,53	173,33±44,56	37,91±4,54	40,70±10,92

En examinant le tableau n°47 et la figure n°49, on constate que les individus traités ont pondus un nombre d'oothèques inférieur à celui des témoins. La moyenne du nombre d'œufs par ponte est également plus faible chez les traités ce qui explique le nombre inférieur de la totalité d'œufs émis par les femelles de ce lot.

Concernant le taux d'éclosion obtenu lors de cette étude, il s'est avéré aussi plus faible chez les insectes traités.

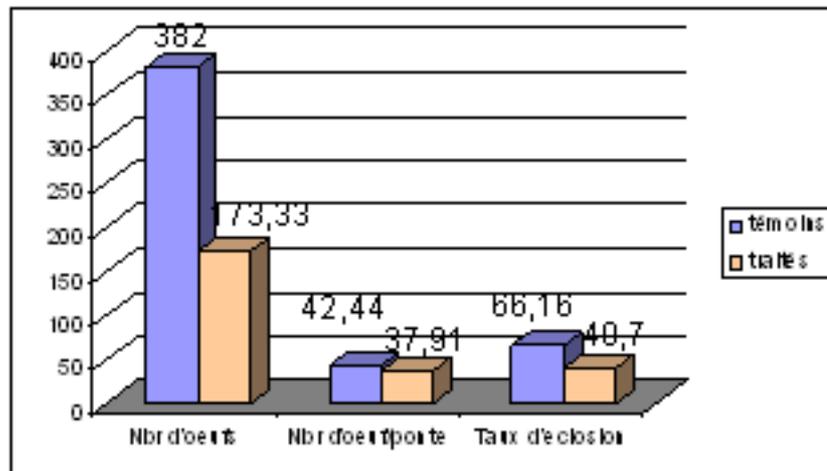


Figure 49 : Moyennes du nombre d'œufs et du taux d'éclosion calculées chez les individus témoins et traités à l'état imaginal par le champignon.

2.5. Résultats obtenus de l'effet du *M. anisopliae var acridum* sur le taux des protéines hémolympmatiques des ailés de *S. gregaria*.

Lors de la reproduction des criquets, les besoins métaboliques diffèrent beaucoup chez le mâle et chez la femelle. En effet la synthèse des protéines est un élément déterminant pour l'accomplissement de la vitellogenèse chez les femelles (RACCAUD-SCHOELLER, 1980). C'est pourquoi, nous avons jugé utile d'effectuer une étude quantitative des protéines contenues dans l'hémolymphe afin de savoir si toutefois l'infection des individus par l'entomopathogène pouvait induire des perturbations sur le taux de cet élément.

La courbe de référence obtenue pour la détermination du taux de protéines hémolympmatiques est représentée par la figure n°50.

2.5.1. Résultats obtenus de l'effet du *M. anisopliae* var *acridum* sur le taux des protéines hémolympathiques des adultes de *S. gregaria*.

Les résultats obtenus des moyennes du taux des protéines hémolympathiques des adultes de *S. gregaria* témoins et traités au *M. anisopliae* var *acridum* sont portés sur le tableau n°48 et illustrés par les figures n°51 et 52.

jours	Taux de protéines des adultes femelles.		Taux de protéines des adultes mâles.	
	Témoins (µg/µl)	Traitées (µg/µl)	Témoins (µg/µl)	Traités (µg/µl)
4	15,976	12,965	12,506	12,771
7	14,847	14,859	11,865	12,069
10	16,365	14,035	11,612	11,835
13	16,988	15,259	11,847	10,824
16	14,935	13,424	12,341	10,588

Tableau n°48 : Taux de protéines hémolympathiques enregistrées chez les adultes témoins et traités par *M. anisopliae* var *acridum*.

En observant les résultats portés sur le tableau n°48 et illustrés par les figures n°51 et 52 on constate que le taux de protéines dans l'hémolymphe des femelles adultes traitées par le champignon est faible par rapport à celui des témoins. Par contre on remarque que ce taux commence à baisser de façon marquée chez les adultes mâles traités à partir du 10^{ème} jour.

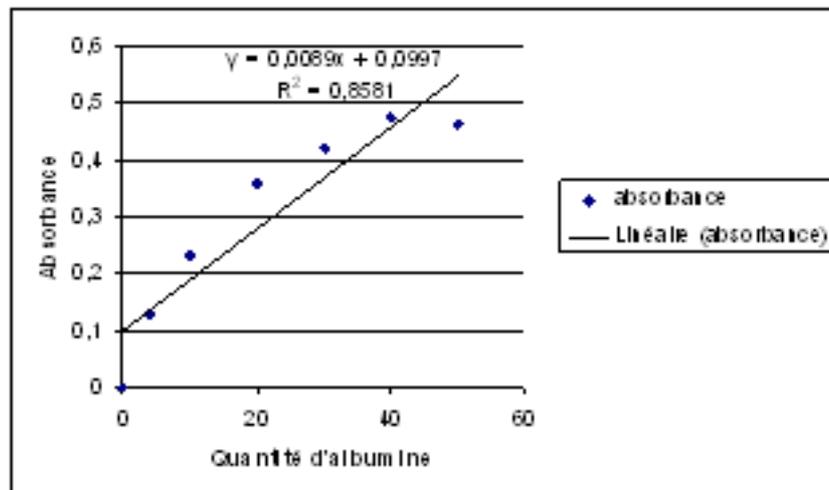


Figure 50 : Courbe de référence exprimant l'absorbance à 530nm en fonction de la quantité d'albumine.

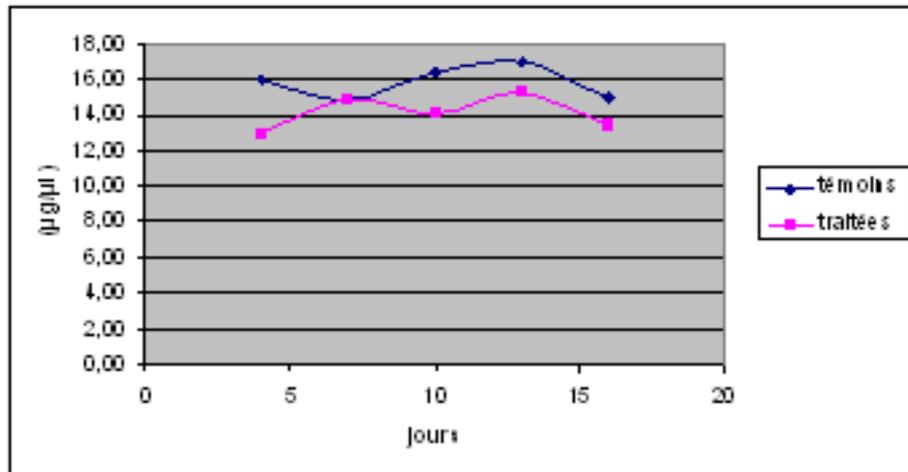


Figure 51 : Taux de protéines hémolympmatiques enregistrées chez les adultes femelles témoins et traités au *M. anisopliae* var *acidum*.

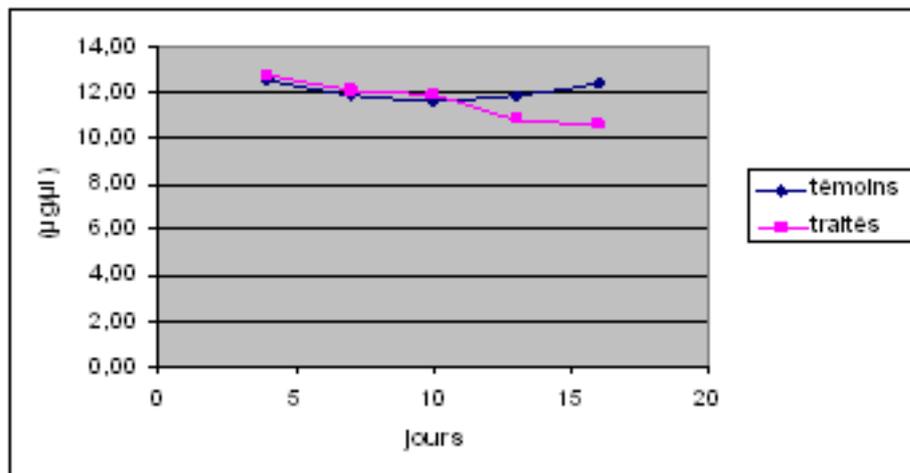


Figure 52 : Taux de protéines hémolympmatiques enregistrées chez les adultes mâles témoins et traités au *M. anisopliae* var *acidum*.

L'utilisation de l'analyse de la variance confirme cette différence des moyennes entre les deux lots d'insectes témoins et traités ($F_{obs}=7,520 > F_{théo}$; $p < 0,05$) (annexes n°29). Le tableau n°49 montre les niveaux de significativité de l'effet du facteur traitement sur ces moyennes.

Tableau n°49 : Test de comparaisons multiples (SNK) pour la variable traitement chez les adultes.

Modalités	Moyenne	Regroupements
témoins	13,928	A
traités	12,863	B

L'analyse de la variance confirme également que le taux de protéines des femelles est beaucoup plus élevé que celui des mâles ($F_{obs}=65,297 > F_{théo}$; $p < 0,05$) (annexes n°29). Ces résultats sont mentionnés dans le tableau suivant :

Modalités	Moyenne	Regroupements	
féelles	14,965	A	
males	11,826		B

Tableau n°50 : Test de comparaisons multiples (SNK) pour la variable sexe chez les adultes.

2.5.2. Résultats obtenus de l'effet du *M. anisopliae* var *acridum* sur le taux des protéines hémolymphatiques des individus de *S. gregaria* témoins et traités à l'état imaginal.

Les moyennes obtenues des taux de protéines hémolymphatiques des individus témoins et traités à l'état imaginal par le champignon entomopathogène sont exposées sur le tableau n°51 et illustrées par les figures n°53 et 54.

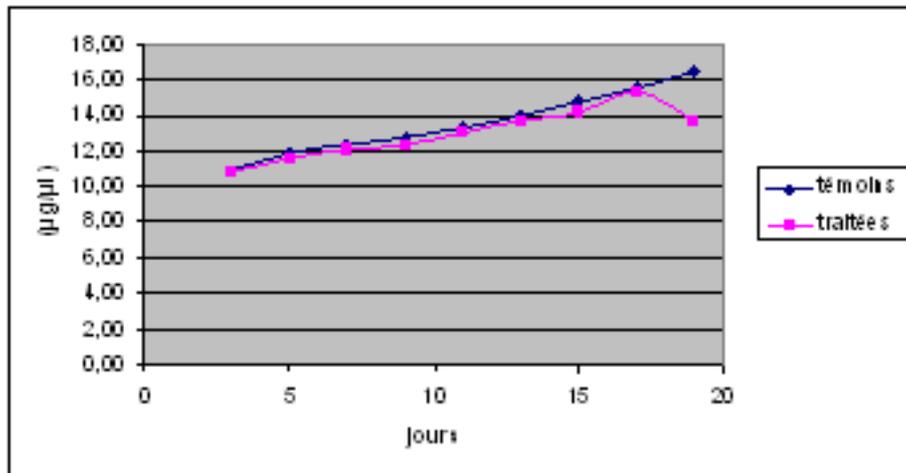


Figure 53 : Taux de protéines hémolymphatiques enregistrées chez les individus femelles témoins et traités au *M. anisopliae* var *acridum* à l'état imaginal.

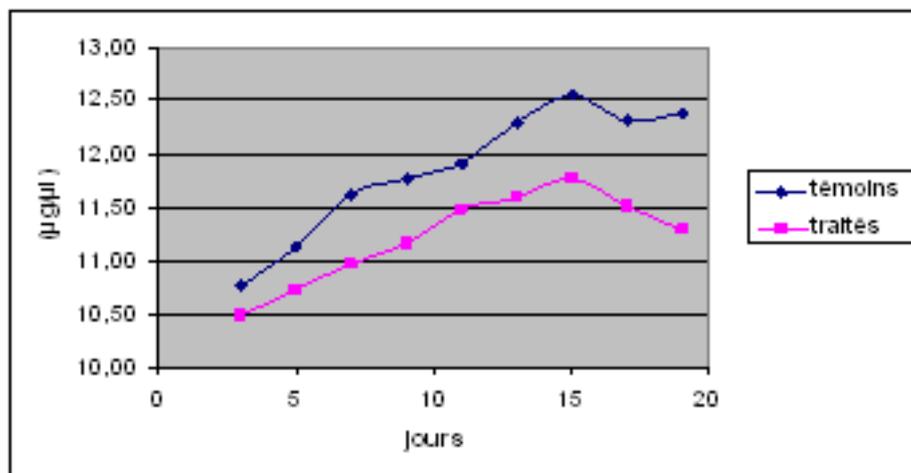


Figure 54 : Taux de protéines hémolymphatiques enregistrées chez les individus mâles témoins et traités au *M. anisopliae* var *acridum* à l'état imaginal.

jours	Taux de protéines des imagos femelles.		Taux de protéines des imagos mâles.	
	Témoins (µg/µl)	Traitées (µg/µl)	Témoins (µg/µl)	Traités (µg/µl)
3	10,87	10,79	10,76	10,5
5	11,92	11,57	11,13	10,73
7	12,35	12,02	11,62	10,98
9	12,77	12,38	11,77	11,16
11	13,28	13,06	11,91	11,48
13	13,98	13,69	12,29	11,6
15	14,73	14,17	12,56	11,77
17	15,52	15,33	12,31	11,51
19	16,48	13,71	12,38	11,29

Tableau n°51 : Taux de protéines hémolymphatiques enregistrées chez les individus témoins et traités par *M. anisopliae* var *acridum* à l'état imaginal.

D'après le tableau n°51 et la figure n°53, il apparaît que les moyennes du taux des protéines estimées chez les imagos femelles traitées par le champignon ont évolué à travers le temps presque de la même manière que celles calculées chez les témoins sauf pour le 19^{ème} jour où on observe une légère baisse de moyenne chez les traitées.

Concernant les imagos mâles par contre, la figure n°54 montre clairement que les moyennes du taux des protéines enregistrées chez les individus ayant subi le traitement sont faibles par rapport aux témoins.

L'utilisation de l'analyse de la variance révèle effectivement qu'à l'opposé des femelles, la différence de moyennes notées chez les deux lots des mâles témoins et traités est significative (F. obs= 1,491 < F. théo ; p > 0,05 pour les femelles ; F. obs=24,136 > F. théo ; p < 0,05 pour les mâles) (annexes n°30 et 31).

L'utilisation du test de Newman-Keuls (SNK) à intervalle de confiance de 95% a mis en évidence les niveaux de significativité de l'effet du facteur traitement sur les moyennes du taux de protéines obtenues chez les mâles par la présence des deux groupements homogènes A et B figurant dans le tableau suivant :

Tableau n°52 : Test de comparaisons multiples (SNK) pour la variable traitement chez les mâles traités à l'état imaginal.

Modalités	Moyenne	Regroupements
témoins	11,859	A
traités	11,224	B

Comme nous l'avons vu précédemment pour les adultes, le taux de protéines des femelles imagos s'est avéré aussi plus important que celui des mâles imagos (F. obs=48,008 > F. théo ; p < 0,05) (annexes n°32). Le tableau n° 53 fait apparaître cette différence des moyennes.

Tableau n°53 : Test de comparaisons multiples (SNK) pour la variable sexe chez les traités à l'état imaginal.

Effet du bio pesticide « Green Muscle » (*Metarhizium anisopliae* var *acridum* IMI 330189) sur la reproduction du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775) (Acrididae, Cyrtacanthacridinae) en conditions contrôlées.

Modalités	Moyenne	Regroupements	
femelles	13,257	A	
mâles	11,542		B

Nous avons noté également lors de cette étude une progression du taux des protéines chez les imagos femelles et mâles assez importante dans les deux lots d'insectes témoins et traités ($F_{obs}=26,611 > F_{théo}$; $p < 0,05$) (annexes n°32). Cette évolution atteint son maximum chez les mâles au bout du quinzième jour pour diminuer par la suite. Les tableaux n°54 et 55 illustrent nettement la différence des moyennes calculées durant les trois semaines.

Tableau n°54 : Test de comparaisons multiples (SNK) pour la variable temps chez les femelles traitées à l'état imaginal.

Modalités	Moyenne	Regroupements		
Semaine1	14,990	A		
Semaine2	13,193		B	
Semaine3	11,587			C

CHAPITRE IV : DISCUSSIONS

1. Discussion des résultats de l'étude du développement ovarien de *Schistocerca gregaria* au laboratoire.

L'étude de l'ovogenèse de *S. gregaria* au laboratoire dans des conditions thermiques de $28 \pm 3^\circ\text{C}$ nous a permis d'apprécier les trois stades de développement ovocytaire retrouvés généralement chez tous les acridiens. Le premier stade « juvénile » a été observé les trois premiers jours suivant l'émergence chez les femelles disséquées. Il a été suivi par le deuxième stade « prévitellogenèse » qui a duré sept jours avant le déclenchement de « la vitellogenèse » qui constitue le troisième stade. Ce dernier s'est poursuivi jusqu'à la maturation complète des ovocytes et la formation du chorion observée au bout du 18^{ème} jour après la mue imaginale. Durant les deux derniers stades RACCAUD-SCHOELLER (1980) indique en effet que les ovocytes subissent une croissance vitelline en deux étapes :

- la première « en prévitellogenèse », où l'on remarque un dépôt blanc d'aspect laiteux, consiste à une accumulation de matériel cytoplasmique.
- la deuxième par contre « en vitellogenèse » est caractérisée par un dépôt jaune. C'est une étape de réserves, sous forme de globules lipidiques, de plaquettes de nature protéique et d'amas de glycogène.

Ce même auteur mentionne que les substances sont d'origine diverse, soit synthétisées par les ovocytes eux même ou alors fournies par l'hémolymphe.

LUSIS (1963) signale que le début de vitellogenèse peut être aperçu lorsque l'ovocyte de base a une taille moyenne de 1,6 mm. Ce dernier devient choriogénique avec une taille pouvant varier de 7,5 à 8mm au bout du 14^{ème} jour suivant l'émergence.

Concernant le comportement d'accouplement, les premières tentatives ont été observées le 17^{ème} jour avant de commencer réellement le 19^{ème} jour. La première ponte par contre a eu lieu le 21^{ème} jour. Nous avons remarqué également lors de cette étude que le comportement d'accouplement a débuté avant l'apparition de la teinte jaunâtre chez les mâles contrairement à ce qui a été mentionné par TELENGA (1930) cité par LATCHININSKY et LAUNOIS -LUONG (1997) qui a obtenu en élevage l'accouplement des individus de cette espèce deux jours après le jaunissement du tégument chez les mâles apparu le 14^{ème} jour en maintenant la température entre $31,6-40,0^\circ\text{C}$. Ce même auteur signale également que dans la nature, les accouplements commencent 30 à 35 jours après l'émergence en même temps qu'apparaît la teinte jaune.

HALOUANE (1997), se basant sur la coloration du tégument chez *S. gregaria*, a enregistré un délai de maturation de 25,57 jours chez les femelles et de 23 jours chez les mâles élevés à 28°C . TAIL (1998) a noté par contre un délai de ponte de 8 jours chez les femelles élevées sur chou et de 15 jours chez celles élevées sur blé. ABASSI et al. (2003b)

mentionnent également une durée de 18 jours avant l'émission de la première ponte chez les femelles de cette espèce.

La durée de la période de pré reproduction du criquet pèlerin en conditions contrôlées dépend de la température et des propriétés nutritives de l'aliment distribué à ce dernier.

2. Discussion des résultats de l'étude de l'effet du champignon entomopathogène *Metarhizium anisopliae* var *acridum* sur la reproduction de *Schistocerca gregaria*

Le traitement des individus de *S. gregaria* par une faible dose du *M. a. var. acridum* a influencé de manière significative certains paramètres liés à l'activité reproductrice de ce criquet.

2.1. Discussion des résultats de l'effet du *Metarhizium anisopliae* var *acridum* sur la mortalité cumulée des ailés de *Schistocerca gregaria*

Les résultats obtenus de cette étude révèlent que la dose sub-létale de 10^5 spores/ml ($=4 \times 10^3$ spores/insecte) du *M. a. var. acridum* n'a pas eu d'effet significatif sur la mortalité des individus de *S. gregaria* traités au stade adultes (mûres) contrairement à ceux traités juste après l'émergence, chez qui une mortalité a été observée à partir du 3^{ème} jour ($5,56 \pm 9,62\%$: femelles ; $8,33 \pm 14,43\%$: mâles) qui a atteint 100% au bout du 50^{ème} jour après le traitement alors que chez les témoins ce taux était de 50% chez les femelles et de 66,67% chez les mâles.

On constate alors que l'imago venant d'accomplir sa mue imaginale est plus sensible à l'infection du *M. a. var. acridum* que l'adulte déjà mûr. Cette vulnérabilité nous laisse supposer que le système immunitaire des adultes est plus actif que celui des jeunes imagos. D'après KOUASSI (2001), la colonisation de l'hôte se fait lorsque le champignon parvient à surmonter les mécanismes immunitaires de défense de l'insecte et envahit l'hémolymph ce qui provoque la mort de l'insecte.

CIRAD (2007) note que la densité des hémocytes responsables de la lutte contre les infections et les parasites internes chez les criquets augmente brusquement après la mue imaginale pour atteindre un niveau double à triple de celui des larves. Ce niveau est plus élevé chez les mâles que chez les femelles. Ceci explique peut être nos résultats obtenus concernant le taux de mortalité cumulée élevé des femelles par rapport aux mâles chez les adultes. Ces résultats concordent avec ceux obtenus par HADDADJ (2001).

L'efficacité des champignons entomopathogènes sur la mortalité des acridiens ravageurs a fait l'objet de plusieurs études suivies au laboratoire ou alors en plein champs.

BLANFORD et THOMAS (2001) ayant traité des individus de *S. gregaria* au laboratoire 10 jours après l'émergence avec une dose de 1×10^3 spores/insecte du *M. anisopliae* var. *acridum* IMI 330189 par injection ont obtenu une mortalité de 98,7% au bout de 19 jours

dans des conditions thermiques constantes de 30°C et une mortalité de 76% au bout de 25 jours dans des conditions optimales de température (34 à 46°C en plein jour, 29±2°C la nuit).

Ces mêmes auteurs ayant testé cette souche du champignon par injection en formulation huileuse (huile d'arachide) sur des imagos 3 jours après leur émergence ont obtenu une mortalité de 64,7% à une dose de 5×10^3 spores/insecte et de 90,2% à une dose de 1×10^5 spores/insecte au bout 70 jours.

HERNANDEZ-VELAZQUEZ et al. (2007) ont suivi la mortalité cumulée des ailés de *Schistocerca piceifrons piceifrons* traités 7 jours après l'émergence par injection avec une dose de 6×10^4 spores/insecte d'une souche mexicaine de *Metarhizium anisopliae var acridum* (Ma PL40) dans des conditions thermiques de 28°C. Ces derniers ont obtenu un taux de 97,5% au bout de 12 jours.

Des essais au laboratoire réalisés par DJEZZAR (2007) pour l'étude de l'effet de cette même souche sur la mortalité des adultes ont révélé un taux de 100% au bout de 13 jours après le traitement en utilisant une dose de 10^3 spores/ml par contact en pulvérisant un volume de 1ml sur chaque individu. KAIDI (2007) a estimé par contre ce taux de mortalité au bout de 11 jours après l'utilisation d'une dose de $2,84 \times 10^7$ spores/ml (le volume appliqué par contact est inconnu).

D'autres travaux relatif à l'effet des champignons entomopathogènes sur la mortalité du criquet pèlerin effectués au laboratoire ont montré qu'un traitement par contact au *Beauveria bassiana* à la dose de $8,6 \times 10^5$ spores/ml a conduit à la mortalité totale des adultes 6 jours après le traitement (CHAHBAR, 1997 ; DOUMANDJI et al., 1997) alors que celle des imagos a été observée au bout du 7^{ème} jour (BISSAAD, 1998).

Concernant l'application des mycopathogènes sur terrain à l'échelle expérimentale en UBV, des résultats probants ont été obtenus avec la souche du *M. anisopliae* IMI 330189 appliquée en formulation huileuse. La plupart des traitements effectués avec une dose de 5×10^{12} conidies/ha de cette souche ont entraîné une réduction de la population acridienne de plus de 90% (aussi bien lors d'évaluations de terrain qu'en cages) dans un délai de 6 à 14 jours (VAN DER VALK, 2007). BATMAN et al. (1998) ont signalé aussi un taux de mortalité supérieure à 90% des imagos de criquet pèlerin traités par ce champignon (1×10^{12} conidies/ha) lors d'un essai en cages au Niger.

D'autres isolats du *M. anisopliae var acridum* ont été sélectionnés en raison de leur forte virulence afin d'être développé sous forme de biopesticides pour le traitement de différents ravageurs acridiens parmi lesquels on retrouve l'isolat FI-985 « Green GuardTM » contre le criquet australien (*Chortoicetes terminifera*), le criquet migrateur (*Locusta migratoria*) ainsi que d'autres espèces ; l'isolat I99-609 contre le criquet puant (*Zonocerus variegatus*) et l'isolat CG423 contre *Rhammatocercus schistocercoides* (VAN DER VALK, 2007).

Le Green Guard®, appliqué avec des doses faibles à modérées (25-50 g/ha), a entraîné un taux de mortalité du Criquet migrateur oriental de 76 à 97% dans un délai de huit à onze jours et, dans un cas, en 14 jours (HUNTER, 2007).

2.2. Discussion des résultats de l'effet du *Metarhizium anisopliae* var *acridum* sur l'activité alimentaire de *Schistocerca gregaria*

D'après WIGGLESWORTH (1972), la nourriture procure de l'énergie pour les mouvements et les activités du corps ainsi que les matériaux nécessaires pour la croissance et la reproduction.

2.2.1. Discussion des résultats de l'effet du *Metarhizium anisopliae* var *acridum* sur l'évaluation pondérale de *Schistocerca gregaria*

Lors de cette étude nous avons constaté que les individus de *S. gregaria* infectés par une dose sub létale du *M. a. var. acridum* présentent un poids inférieur à celui des témoins sauf pour le cas des femelles ayant été traitées après leur émergence. En effet le poids des individus adultes est passé d'une moyenne de 2,235g à 2,100g alors que celui des insectes traités à l'état imaginal est passé de 2,094g à 1,873g.

Plusieurs travaux ont été effectués dans le but d'étudier l'effet de certaines infections microbiologiques sur la croissance et l'évolution pondérale d'un certains nombre d'acridiens parmi lesquels on peut citer ceux effectués par ALLAL-BENFEKIH (2006) qui, après avoir testé des toxines du *Bacillus thuringiensis* sur la croissance des larves de *Locusta migratoria*, a avancé que la diminution de la croissance observée chez les individus infectés serait due soit à une inhibition de la prise de nourriture sous l'effet des toxines sur le système nerveux ou alors, dans le cas contraire, la perte de poids serait due à l'altération de l'intestin où s'effectue la digestion. BISSAAD (2002) a noté une détérioration de l'intestin antérieur et postérieur chez les adultes de *S. gregaria* infectés par *Beauveria bassiana*. HARRY (1970) cité par KOUASSI (2001) a montré que l'eugrégarine *Gregarina garnhami* empêchait les imagos de criquets pèlerins *Schistocerca gregaria* de prendre du poids en infligeant des dommages au niveau de l'épithélium intestinal.

PAPILLON et CASSIER (1977) ont également enregistré de forts troubles physiologiques par la destruction de l'épithélium intestinal chez les imagos de cette espèce infestés par *Melameba locustae*.

2.2.2. Discussion des résultats de l'effet du *Metarhizium anisopliae* var *acridum* sur la consommation de *Schistocerca gregaria*

Une prise de nourriture importante a été évaluée chez les ailés de *S. gregaria* traités par la dose sub létale de *M. a. var. acridum* durant notre expérimentation. Le taux de consommation des adultes était en effet estimé à 0,836g/jour chez les criquets infectés alors que chez les témoins ce taux était de 0,645g/jour. Concernant les insectes traités à l'état imago le taux enregistré était de 1,002g/jour contre 0,623g/jour chez les témoins.

Notre hypothèse par rapport à ces résultats est que l'intensité de la prise de nourriture notée chez les ailés infectés par la faible dose du champignon serait peut être liée à une réponse du système de défense des insectes qui tente de surmonter la concurrence des corpuscules hyphales en nutriment car d'après KOOYMAN (2007) cette concurrence augmente lorsque la biomasse fongique est importante, les insectes ne pouvant plus absorber assez de nutriment meurent effectivement de faim.

JOERN & GAINES (1990) mentionnent que la thermorégulation est utilisée par les criquets grégaires en phase pré reproductive et reproductive pour augmenter leur activité corporelle et alimentaire afin de se prémunir des attaques des prédateurs, des parasites et des pathogènes. *Locusta migratoria*, a la capacité de développer cette réaction qu'on

appelle la fièvre du comportement qui réduit justement l'infection par le champignon *Metarhizium anisopliae var acridum* (OUEDRAOGO *et al*, 2003). OUEDRAOGO *et al*, (2004) étudiant au laboratoire l'influence de cette thermorégulation sur la mycose de *Locusta migratoria* par *M. a. var. acridum* ont constaté qu'une thermorégulation de 4h/jour n'altère pas la fréquence de l'alimentation ni la quantité de nourriture ingérée par les criquets infectés. Cette dernière réduirait également la mortalité des insectes traités de 85% sans toutefois éliminer complètement le champignon de son hôte. En effet la meilleure défense immunitaire des sauteriaux et criquets contre l'infection fongique est la thermorégulation en développant une température élevée (BIOCONTROLE, 2007).

DJEZZAR(2007) a noté une reprise de l'activité alimentaire après la mue chez tous les stades larvaires de *S. gregaria* traités par contact avec *M. a. var. acridum*. Cet auteur mentionne que cette reprise pourrait être due à l'inhibition de l'action de l'entomomycopathogène, par des phénomènes physiologiques liés à la mue ou à un système de défense qui se trouve performant entre deux exuvies.

Des études concernant le comportement alimentaire effectués au laboratoire et sur terrain ont révélées par contre que le champignon *M. a. var acridum* aurait tendance à réduire la prise de nourriture des criquets infectés. Parmi ces dernières on peut citer celle réalisée par SIEGLAFF *et al.*, (1997) qui ont montré que ce champignon diminuerait le taux de consommation de *Schistocerca americana* de 36,6%, THOMAS *et al.*, (1998) cités par LOMER (1999) et ARTHUR et THOMAS (2001) qui indiquent une réduction de l'activité alimentaire chez les individus de *S. gregaria* infectés mais aussi les travaux effectués par ARTHUR et THOMAS (2000) obtenant une baisse de prise de nourriture à partir du 2^{ème} jour suivant l'infection des individus de *Locusta pardalina*.

HERNANDEZ-VELAZQUEZ *et al.* (2007) mentionnent également qu'une baisse d'alimentation importante a été observée chez les ailés de *Schistocerca piceifrons piceifrons* suite à un traitement par injection à base d'une souche mexicaine de *Metarhizium anisopliae var acridum* (Ma PL40).

Il est important de signaler également que durant cette expérimentation les insectes traités se trouvaient dans un état physiologique et biologique assez sensible. En effet durant la période pré reproductive, le jeune imago a recours à une quantité importante de nourriture pour assurer le durcissement cuticulaire, le développement des muscles du vol, des gonades et du corps gras. Après avoir comblé leurs besoins préliminaires de croissance, les mâles se nourrissent peu pendant la période reproductive, à l'inverse des femelles dont l'activité alimentaire est constamment supérieure tout au long de leur vie adulte. La perte de poids chez ces dernières après dépôt de chaque oothèque les conduit en effet à se nourrir intensément afin de reconstituer leurs réserves (LEBERRE *et al.*, 1977 ; DURANTON *et al.*, 1982a). On peut donc suggérer que la perturbation de la prise de nourriture par son accroissement chez les individus traités à la faible dose est une réponse du système de défense de l'insecte qui tente de préserver un équilibre physiologique afin de réussir une reproduction plus ou moins normale.

2.2.3. Discussion des résultats de l'effet du *Metarhizium anisopliae var acridum* sur les indices de consommation de *Schistocerca gregaria*

A l'opposé des adultes, les individus traités par le champignon juste après l'émergence ont montré une différence de moyennes des indices nutritionnels assez marquée par rapport à celles des témoins. En effet, il s'est avéré que les deux indices E.C.I. (efficacité de conversion de la nourriture ingérée en matière corporelle) et E.C.D. (efficacité de

conversion de la nourriture digérée en matière corporelle) enregistrés chez ces derniers étaient respectivement d'une de moyennes de 171,803 et 224,077 chez les criquets infectés alors que les témoins ont présentés des moyennes de 366,517 et 697,367 respectivement pour ces deux indices. Concernant l'indice A.D. (coefficient approximatif de digestibilité de la matière ingérée), le taux de ce dernier se trouve plus élevé chez les insectes traités avec une moyenne de 76,877 contre 55,061 chez les témoins ceci est justifié par la prise de nourriture intense enregistrée précédemment chez les traités.

Les faibles taux des rapports de la conversion de la nourriture ingérée et digérée chez les criquets infectés par la dose sublétales de l'entomopathogène en phase pré reproductive peuvent être expliqués par les troubles physiologiques liés à la fièvre comportementale qui peut engendrer selon ARTHUR et THOMAS (2001) une augmentation des mouvements du corps et de locomotion à partir du troisième jour suivant l'infection. En effet MORDUE & HILL (1970) indiquent que le taux des deux indices E.C.I et E.C.D sont influencés par l'importance de la quantité d'énergie consommée pour assurer les fonctions physiologiques et l'activité générale de l'insecte car au fur et à mesure que la production de l'énergie est grande les taux de ces indices diminuent.

2.3. Discussion des résultats de l'effet du *Metarhizium anisopliae* var *acridum* sur le fonctionnement ovarien des adultes de *Schistocerca gregaria* (résorption ovocytaire)

Lors de cette étude nous avons obtenu une moyenne du taux de résorption ovocytaire de $46,00 \pm 24,91$ chez les femelles traitées à l'entomopathogène alors que les témoins ont présenté une moyenne de $28,00 \pm 19,24$. L'utilisation de l'analyse de la variance a estimé que cette différence de moyennes devient significative durant la troisième semaine.

L'ovocyte peut être résorbé sous l'influence de facteurs divers tels que les maladies, l'infection parasitaire, la malnutrition, la sous-nutrition, l'épuisement, la courte photopériode, l'absence d'accouplement ou encore le déséquilibre hormonal (LAUNOIS 1972 ; GRASSE, 1977).

LUSIS (1963) indique que cette résorption est sous le contrôle du système neurosécréteur, il mentionne également que le dépôt de vitellus et de son processus de résorption sont intimement liés avec la disponibilité de protéines dans l'organisme. En effet en cas de déficit, les cellules folliculaires dégradent rapidement le vitellus contenu dans les ovocytes en acides aminés et en petits peptides pour être repris dans l'hémolymphe (KOTAKI, 2006).

ALLAL-BENFEKIH (2006) testant l'effet du *Bacillus subtilis* sur la résorption ovocytaire de *Locusta migratoria* a obtenu un taux élevé chez les insectes traités.

SUNDBERG et al. (2001) signalent que les femelles de *Romalea microptera* en bonne santé et nourries en abondance résorbent environ le quart de leurs ovocytes en croissance. La privation de nourriture ou le stress physiologique entraînent une augmentation du taux de cette régression.

On peut donc suggérer que la légère augmentation de la moyenne du taux de résorption ovocytaire notée chez les femelles reproductrices traitées au *M. a. var. acridum* est peut être en relation avec l'effet de cet entomopathogène sur la protéinémie de ces insectes, étant donné que ni une sous nutrition ou alors une baisse d'activité et d'absence d'accouplement n'ont été décelés durant cette étude.

2.4. Discussion des résultats de l'effet du *M. anisopliae var acridum* sur la maturation sexuelle des imagos de *S. gregaria*.

D'après nos résultats, on constate que l'effet du traitement des imagos par *M. a. var. acridum* a provoqué un déclenchement de la vitellogenèse précoce de deux jours par rapport aux témoins (le 9^{ème} jour chez les traitées, le 11^{ème} jour chez les témoins). Les ovocytes observés chez les femelles traitées ont achevé leur développement le 17^{ème} jour suivant l'émergence avec une taille moyenne de 5,986 mm alors que ceux des témoins sont parvenus au stade final de maturation au bout de 19 jours avec une taille d'une moyenne de 6,927mm. Le traitement par cet entomopathogène a influencé également le délai d'accouplement et d'oviposition. En effet les individus traités ont commencé à s'accoupler le 17^{ème} jour (moy. 17,667j) et à pondre le 20^{ème} jour alors qu'un délai d'accouplement de 20,5 jours et de ponte de 24,5 jours ont été enregistrés chez les témoins.

La durée de la maturation sexuelle chez les criquets dépend de plusieurs paramètres tels que la température, la plante hôte ou alors l'infection par les entomopathogènes (JOERN & GAINES, 1990).

NORRIS (1954) indique que les imagos malades ou blessés de *Schistocerca gregaria* peuvent avoir une maturation plus rapide. De même que BLANFORD & THOMAS (2001) qui ont obtenu un taux de maturation élevé chez les imagos de cette espèce traités au *M. a. var. acridum*. Ces auteurs mentionnent effectivement que le premier accouplement a eu le 11^{ème} jour suivant l'émergence chez ces individus traités alors que chez les témoins ce dernier a été observé au bout de 13 jours. Quant à l'oviposition, elle a été notée le 13^{ème} jour chez les criquets infectés et le 17^{ème} jour chez les témoins. D'après ces auteurs, cette accélération de la maturation sexuelle chez les imagos peut être liée à une perturbation de la synthèse de l'hormone juvénile due à l'action de l'entomopathogène. En effet, le taux de cette hormone réduit juste après l'émergence évolue de manière importante pour atteindre le maximum à partir du 10^{ème} jour suivant la mue pour assurer l'ovogenèse. D'après LUSIS (1963), RACCAUD-SCHOELLER (1980) et GIRARDIE (1991), l'ovogenèse de *S. gregaria* apparaît être sous un double contrôle :

- le système neurosécréteur qui produit une ou des hormones neurosécrétrices intervenants sur la croissance de l'ovocyte en prévitellogenèse et sur la protéosynthèse globale dans le corps gras.
- L'hormone juvénile oriente une partie de cette protéosynthèse vers la production de vitellogénine : les adipocytes s'appauvrissent en lipides, deviennent polyploïdes et présentent une intense protéosynthèse dont celle de la vitellogénine (Vg). Elle contrôle aussi l'incorporation de la Vg dans les ovocytes.

Ceci nous conduit à émettre l'hypothèse que la rapide maturation observée chez les criquets ayant subi l'infection par une faible dose de l'entomopathogène est le résultat d'une accélération de la production de l'hormone juvénile suite à un effet du champignon sur le système endocrinien. Concernant la réduction de la taille de l'ovocyte de base au stade final notée chez ces insectes, cela pourrait être du à une diminution de leurs réserves protéiques.

Des essais en plein champ effectués par ARTHURS & THOMAS (2001) ont montré par contre une réduction du comportement d'accouplement chez les ailés de *S. gregaria* après

un traitement par *M. a. var. acridum*. D'après ARTHURS & THOMAS (2000), ce champignon provoque une courte période de pré oviposition chez les femelles de *Locustana pardalina*.

2.5. Discussion des résultats de l'influence du *Metarhizium anisopliae* var *acridum* sur la fécondité et la fertilité de *Schistocerca gregaria*

L'influence du *M. a. var. acridum* sur la fécondité des femelles s'est avérée différente selon que ces dernières étaient traitées en phase reproductive ou pré reproductive. Ainsi, à l'inverse des femelles infectées à l'état imago, la moyenne du nombre de pontes obtenues chez les femelles déjà matures traitées se trouve supérieure à celle des témoins. Néanmoins nous avons découvert un développement important du nombre d'oothèques émises par les femelles infectées juste après l'émergence dépassant nettement celui des témoins durant les trois premières semaines d'oviposition ; l'effet contraire a commencé à apparaître à partir du début de la 4^{ème} semaine.

Nos résultats vont dans le même sens que ceux obtenus par ARTHURS & THOMAS (2000) qui ont noté que les criquets de *Locustana pardalina* traités par *M. a. var. acridum* ont déposé un plus grand nombre d'oothèques durant les premières semaines suivant l'émergence par rapport aux non traités. Ces auteurs mentionnent également que la différence du taux de fécondité enregistré chez les deux lots (infectés et témoins) n'était pas significative. En effet le taux de mortalité des traités était estimé à 90% ; étant donné que les criquets non infectés ont eu la possibilité de survivre encore plusieurs semaines, ces derniers ont donc pondu d'avantage d'oothèques. BLANFORD & THOMAS (2001) ayant obtenu aussi des résultats similaires traduisent ce phénomène comme étant une stratégie de l'insecte adoptée dans le but d'assurer la survie de sa descendance car les criquets infectés ou malades sont plus vulnérables à l'attaque des prédateurs et à l'infection par d'autres pathogènes. De même que leur capacité de migration serait réduite. C'est pourquoi, ils auraient tendance à débiter leur maturation de manière précoce pour se reproduire dans le plus bref délai afin d'augmenter au maximum leur potentiel de fécondité avant de succomber totalement et mourir.

ADAMO (1999) a enregistré un nombre élevé d'œufs pondus par les femelles d'*Acheta domesticus* infectées par la bactérie *Serratia marcescens* (Bizio). SCHOEMAKER et al. (2006) étudiant l'effet de cette bactérie sur la fécondité du grillon *Gryllus texensis* (Cade et Otte, 2000) ont obtenu des résultats similaires. Ces auteurs indiquent que cette augmentation de la fécondité serait une réponse de l'activation du système immunitaire de l'insecte qui signale la possibilité d'une diminution de l'espérance de vie et qui se traduit par l'augmentation immédiate de l'effort reproductif.

Concernant le nombre d'œufs contenus dans les oothèques, nous avons noté également que ce dernier se trouve réduit chez les femelles infectées par le champignon. Cette réduction peut être en relation avec le nombre de résorptions ovocytaires enregistré précédemment chez les femelles adultes. LAUNOIS (1972) indique que la résorption étant un processus d'adaptation aux situations défavorables de la reproduction contribue en effet à assurer la survie de l'espèce en permettant aux insectes de produire quelques œufs bien formés même s'il faut en sacrifier d'autres en cours d'élaboration, sachant bien entendu que tous n'auraient pu atteindre la maturité.

Durant cette étude, nous avons suivi également le taux d'éclosion des oothèques pondus, il en est ressorti que la moyenne de ce taux est faible chez les individus traités à l'état imaginal comparativement aux témoins. Chez les adultes étant déjà mûrs lors du

traitement par contre, la différence de moyenne entre les deux lots (témoins et traités) n'était pas significative.

Quelques essais ont été réalisés afin d'étudier l'effet du *M. a. var. acridum* sur la fertilité de certains insectes nuisibles aux végétaux parmi lesquels on peut citer ceux effectués par EKESI & MANIANIA (1999) qui ont montré que ce champignon réduit la fécondité ainsi que la fertilité du thrips *Megalurothrips sjostedti*. QUESADA-MORAGA *et al.* (2004) font allusion à une transmission horizontale des conidies de cet entomopathogène chez les larves de *Blatella germanica* issues d'un accouplement où l'un des deux partenaires serait infecté par le champignon entraînant ainsi un taux d'éclosion et une viabilité réduite des larves. QUESADA-MORAGA *et al.* (2006) ont obtenu également une baisse de fécondité et de fertilité de la mouche *Ceratitis capitata* (Wiedemann) à la suite d'un traitement par ce champignon.

2.6. Discussion des résultats de l'effet du *M. anisopliae var acridum* sur le taux des protéines hémolymphatiques des ailés de *S. gregaria*.

L'infection des individus de *S. gregaria* par *M.a. var. acridum* a induit une certaine influence sur le taux de protéinémie dosée dans l'hémolymphe de ces derniers. Une importante baisse de ce taux a été enregistrée chez les femelles traitées à l'état mature alors que celles traitées à l'état immatures ont conservé un taux légèrement inférieur à celui des témoins. Ceci peut être en rapport en partie avec les perturbations physiologiques, notées précédemment pour les deux phases (reproductive et pré reproductive), liées à la concurrence de l'insecte avec le mycopathogène. En effet les femelles matures ayant intensifié leur potentiel de fécondité après l'infection ont de ce fait réduit leurs réserves protéiques ce qui explique également le taux élevé de résorption ovocytaire observé chez ces dernières. Quant aux femelles immatures, l'accélération de la maturation décelée ainsi que l'intense prise de nourriture enregistrée durant cette étude peuvent être à l'origine de ce maintien du taux de protéines et qui est resté assez proche mais quant même réduit par rapport aux témoins et cela durant toute la phase de maturation des ovocytes chez les traitées.

Les mâles traités ont également montré une baisse du taux de protéines, les moyennes les plus réduites ont été estimées chez les mâles immatures (traités juste après l'émergence).

SEYMOUN *et al.* (2002) indiquent que la concurrence du *M. a. var. acridum* avec l'individu de *S. gregaria* vis-à-vis de ses métabolites hémolymphatiques conduit à l'épuisement des réserves accumulées dans le corps gras.

GILLESPIE *et al.* (1999) a noté un taux de protéines hémolymphatiques stables durant les deux premiers jours chez les mâles de *S. gregaria* traités au *M. a. var. acridum*. Ce taux a baissé par la suite à travers le temps. MAZET & BOUCIAS (1996) mentionnent par contre que *Beauveria bassiana* n'a pas causé d'altération significative du profil hémolympatique chez l'espèce *Spodoptera exigua*.

D'autres travaux ont été effectués dans ce sens, notons ceux réalisés par HALOUANE (1997) qui a enregistré une importante réduction de la protéinémie des larves et des adultes du criquet pèlerin infectés par *M. anisopliae* ainsi que ceux de COULIBALY (2002) qui signale par contre une augmentation de la concentration des protéines dans l'hémolymphe des femelles adultes d'*Anacridium aegyptium* infectées par *Metarhizium flavoviride* ou par *Beauveria bassiana*. PAPILLON *et al.* (1977) indiquent également que la présence

du parasite *Malameba locustae* entraîne une diminution de la protéinémie chez les imagos de *S. gregaria*.

Conclusion

On peut donc conclure que le criquet pèlerin menacé par une longévité réduite, suite à une infection par une faible dose (sublétale) du champignon *Metarhizium anisopliae* var *acridum*, tente de renforcer son système de défense afin d'accélérer son activité reproductrice et/ou en augmentant son potentiel de fécondité dans le but d'assurer sa descendance.

Dans cette étude, il est apparu que la perturbation du comportement de reproduction due à une éventuelle stimulation du système immunitaire des insectes infectés s'est traduite par des troubles de l'activité alimentaire (augmentation de la prise de nourriture, baisse du poids et des indices E.C.I. et E.C.D.) ainsi que d'une altération de la protéinémie hémolympatique.

Il aurait été intéressant de compléter cette étude par l'intégration d'autres paramètres tels que l'influence de l'entomopathogène sur l'évolution des taux des autres réserves métaboliques à savoir les lipides et les sucres afin de justifier la quantité d'énergie consommée par les insectes dans l'accomplissement de leurs fonctions physiologiques prises en considération lors de cette étude. Il aurait été intéressant aussi d'étudier l'influence du champignon sur le développement de la vitellogénine chez les femelles infectées.

Conclusion générale et perspectives

Au terme de ce travail portant sur l'étude de l'effet d'une dose sub létale du *Metarhizium anisopliae* var *acridum* (4×10^3 spores/insecte) sur quelques paramètres liés à l'activité reproductrice de *Schistocerca gregaria* il est apparu que :

- La longévité des insectes infectés était réduite de manière importante chez les individus ayant subi le traitement juste après l'émergence contrairement à ceux traités à l'état adultes (matures). En effet le taux de mortalité cumulée enregistré au bout de 19 jours chez les adultes était de 100% chez les femelles traitées alors qu'il était de 83,33% chez les témoins. Les mâles traités ont présenté également un taux de 66,67% pas très différent de celui des témoins estimé à 50%. Concernant le pourcentage de mortalité cumulée évaluée chez les criquets infectés à l'état imaginal, ce dernier a atteint 100% chez les insectes traités appartenant aux deux sexes au bout de 49 jours alors que les témoins montraient des taux de 50% chez les femelles et de 66,67% chez les mâles.
- Le poids des individus traités par l'entomopathogène était réduit par rapport à celui des témoins. En effet la moyenne du poids des femelles adultes traitées est passée de 2,690g à 2,402g, celui des mâles adultes est passé aussi de 1,808g à 1,741g le 18^{ème} jour. L'évolution pondérale des imagos femelles a été faiblement réduite de 2,961g à 2,932g, celle des imagos mâles est passée par contre de 1,780g à 1,574 le 17^{ème} jour.
- L'activité alimentaire de ces insectes traités a été marquée par une certaine intensité évaluée à 0,836g/jour chez les adultes (0,645g/jour : les témoins) et à 1,002g/jour chez les imagos (0,623g/jour : témoins). Concernant l'estimation des indices nutritionnels, une différence de moyenne significative a été notée chez les imagos traités par rapport aux témoins. Il s'est avéré que les deux indices E.C.I. (efficacité de conversion de la nourriture ingérée en matière corporelle) et E.C.D. (efficacité de conversion de la nourriture digérée en matière corporelle) enregistrés chez ces derniers étaient respectivement d'une moyenne de 171,803 et 224,077 chez les criquets infectés alors que des moyennes de 366,517 et 697,367 respectivement pour ces deux indices ont été notées chez les témoins. Concernant l'indice A.D. (coefficient approximatif de digestibilité de la matière ingérée), le taux de ce dernier se trouve plus élevé chez les insectes traités avec une moyenne de 76,877 contre 55,061 chez les témoins. Une différence de moyenne non significative pour ces trois indices a été notée entre les deux lots d'adultes témoins et traités.
- L'étude du fonctionnement ovarien chez les femelles adultes infectées s'est traduite par une légère augmentation de la moyenne du taux de résorption ovocytaire (46%) par rapport à celles des non infectées (28%). Le champignon *M. a. var. acridum* a induit par contre l'augmentation du comportement d'oviposition chez ces dernières car une moyenne du nombre de pontes émises par les traitées a été estimée à 9 comparée à 6 pontes chez les témoins. Le nombre d'œufs/ponte a été réduit par contre suite au traitement (28,940 œufs/ponte pour les traitées ; 42,33 œufs/ponte pour les témoins).

Effet du bio pesticide « Green Muscle » (*Metarhizium anisopliae* var *acridum* IMI 330189) sur la reproduction du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775) (Acrididae, Cyrtacanthacridinae) en conditions contrôlées.

- Une accélération de la maturation sexuelle de deux jours a été observée chez les imagos infectés ainsi que d'une réduction de la fécondité et de la fertilité chez ces derniers. En effet la moyenne du nombre total d'œufs émis par les femelles traitées était de 173,33 comparé à 382,00 œufs chez les témoins. Le taux d'éclosion chez ces dernières a été réduit également de 66,16% à 40,70%.
- Des variations du taux de protéinémie hémolympatique suite à l'infection mycologique ont été appréciées chez les criquets. La moyenne de ce taux estimé à 13,928µg/µl chez les témoins adultes est passée à 12,863µg/µl chez les adultes traités. Dans le cas des imagos infectés, une faible diminution de 13,544µg/µl à 12,969µg/µl a été notée chez les femelles infectées ainsi qu'une réduction de moyenne de 11,859µg/µl à 11,224 calculée chez les mâles.

En perspectives, on peut suggérer qu'il serait intéressant à l'avenir d'étudier la réponse du système immunitaire du criquet vis-à-vis de l'infection mycologique à différentes doses et l'utilisation de la thermorégulation ou « fièvre comportementale » par ce dernier afin de vaincre ou de réduire justement cette infection et réguler les perturbations physiologiques induites par cette dernière. Il serait intéressant également d'étudier l'effet à long terme de la persistance des spores du *Metarhizium anisopliae* var *acridum* après une application en plein champ sur la dynamique des populations acridiennes. En effet la mise en évidence de l'influence de cet entomopathogène sur le comportement physiologique et biologique du criquet pèlerin nous servira à mieux maîtriser l'utilisation du « Green Muscle » à grande échelle dans les différentes conditions naturelles du terrain et donc d'optimiser l'efficacité de ce biopesticide contre ce ravageur.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABBASSI K., ATAY-KADIRI Z. and GHAOUT S., 2003b**- Biological effects of alkaloids extracted from three plants of Moroccan arid areas on the desert locust. *Physiological Entomology*, 28: 232-236.
- ABBASSI K., MERGAOUI L., ATAY- KADIRI Z., STAMBOULI S. et GHAOUT S., 2003 a**- Effets des extraits de *Peganum harmala* (Zygophyllaceae) sur le criquet pèlerin (*Schistocerca gregaria* Forskål, 1775). *Zool. baetica*, 13/14: 203-217.
- ABDELLAOUI K. , BENHALIMA K. et BENHAMOUDA M. H., 2006**- Activité biologique de l'acide gibbéréllique sur le criquet migrateur asiatique *Locusta migratoria migratoria* L. (Orthoptera ; Acrididae). *Act. Cong. Intern. Entom. Némat.* (17-20 Avril 2006) , *Inst. Nati. Agro., El-Harrach, Alger.* 248-260
- ADAMO S. A., 1999**- Evidence for adaptive changes in egg laying in crickets exposed to bacteria and parasites. *Anim. Behav.*, V.57(1): 117-124.
- ALBRECHT F.O., 1967** – Polymorphisme phasaire et biologie des acridiens migrants. Ed. Masson, Paris, 194 p.
- ALLAL- BENFEKIH L., 2006**- Recherches quantitatives sur le criquet migrateur *Locusta migratoria* (Orth. Oedipodinae) dans le Sahara algérien. Perspectives de lutte biologique à l'aide de microorganismes pathogènes et de peptides synthétiques. Thès. Doc. Sci. Tech. Sant., Inst. Nat. Agro., El Harrach, 140p.
- AMOURIQ L., 1973** – Rapports entomologo-cryptogamiques : éléments sur la relation entre les insectes et champignons. Ed. Herman, Paris, 135 p.
- ANONYME, 2008a** - Centre National de Lutte Antiacridienne de Nouakchott (disponible sur www.cnla-mauritanie.org .)
- ARTHUR S. and THOMAS M.B., 2000**- Effects of a Mycoinsecticide on Feeding and Fecundity of the Brown Locust *Locustana pardalina*. [Biocontrol Science and Technology](#) , V. 10 , pp. 321 – 329.
- ARTHUR S. and THOMAS M.B., 2001**- Behavioural changes in *Schistocerca gregaria* following infection with a fungal pathogen: implications for susceptibility to predation. *Journal of Ecological Entomology* , V. 26, N° 3 (8), pp. 227-234.
- ASPIROT J. et LAUGE G., 1981**-Etude expérimentale de l'action phagostimulante du saccharose et de la sinigrine et mise en évidence de phénomènes de régulation chez le criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Orthoptère, Acrididae). *Reprod. Nutr. Dévelop.*, 21 (5A) : 695- 704.
- ASSAD Y. O. H., TORTO B., HASSANALI A., NJAGI P. G. N., BASHIR N. M. H. and MAHAMAT H., 1997**- Seasonal variation in the essential oil composition of *Commiphora quadricincta* and its effect on the maturation of immature adults of the desert locust, *Schistocerca gregaria*. *Phytochemistry*, Vol. 44, No. 5, pp. 833-841.
- BARBOUCHE N., HAJJEM B., LOGNAY G. et AMMAR M., 2001**- Contribution à l'étude de l'activité biologique d'extraits de feuilles de *Cestrum parqui* L'Hérit.
-

(Solanaceae) sur le criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forsk.). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* , 5 (2) :85–90.

- BASHIR M. O., HASSANALI A., RAI M. M. and SAIN R. K., 2000-** Changing oviposition preferences of the desert locust, *Schistocerca gregaria*, suggest a strong species predisposition for gregarisation. *J. Chem. Ecol.*, Vol. 26, No. 7 pp. 1721-1733.
- BATEMAN R.P., DOURO-KPINDOU O.K., KOOYMAN C., LAMER C. AND OUAMBAMA Z., 1998-** Some observations on the dose transfer of mycoinsecticide sprays to desert locusts. *Crop Protection*, vol. 17, n°2, pp.151-158.
- BEHMER S.T., 2004-** Nutrition in Insects, pp. 1576-1583. In *Encyclopaedia of Entomology*. Ed. J. Capinera, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 2004 p.
- BEHMER S.T. and JOERN, A., 2008-** Coexisting generalist herbivores occupy unique nutritional feeding niches. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 105: 1977-1982.
- BEHMER S.T., RAUBENHRIMER D. and SIMPSON S.J., 2001-** Frequency-dependent food selection in locusts: a geometric analysis of the role of nutrient balancing. *Animal Behaviour* 61: 995-1005.
- BENHALIMA, 2006** – Problématique du criquet pèlerin et stratégie de lutte préventive. *Act. Cong. Intern. Entom. Némat.* (17-20 Avril 2006) , *Inst. Nati. Agro., El-Harrach, Alger*, pp.189-200
- BENHALIMA T., LOUVEAUX A. et GILLON Y., 1983-** Rôle de l'eau de boisson sur la prise de nourriture sèche et le développement ovarien de *Locusta migratoria migratorioides*. *Ent. exp. & appl.* 33 : 329-335.
- BIOCONTROLE, 2007-** Efforts internationaux de biocontrôle des sauteriaux et des criquets. *Dossier Biocontrôle, Montréal, Canada, n°10, pp.5-6.*
- BISSAAD F.Z., 1998** – Etude de l'activité biologique de *Beauveria bassiana* sur *Schistocerca gregaria* (Orthoptera, Acrididae). Efficacité et effet sur la respiration et le rythme cardiaque de cet acridien. *Mem Ing. Agro., Inst. Nati. Agro., El Harrach*, 94 p.
- BISSAAD F., 2002-** Etude comparative de l'effet du Fipronil et d'un entomopathogène *Beauveria bassiana* bals. sur le criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) (Orthoptera, Acrididae). Thès. Magis. sci. agro., *Inst. Nat. Agro., El Harrach*, 112p.
- BLANFORD S. and THOMAS M. B., 2001-** Adult Survival, Maturation, and Reproduction of the Desert Locust *Schistocerca gregaria* Infected with the Fungus *Metarhizium anisopliae* var *acridum*. *Journal of Invertebrate Pathology*, 78: 1–8.
- BULLEN F.T., 1969-** The distribution of the damage potential of the desert locust (*Schistocerca gregaria* Forsk.). *Anti-Locust Memoirs*, 10, 44 pp.
- CHAHBAR N., 1997-** Morphométrie de *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) et *Locusta migratoria* cinerascence (Bonnet et Finnot, 1885) (Orthoptera Acrididae) à Adrar en 1996. Effet du champignon entomopathogène *Beauveria bassiana* (Deuteromycotina) sur quelques paramètres physiologiques de *Schistocerca gregaria*. *Mém. Ing. agro., Instit. nati. agro., El Harrach*, 94 p.

- CHARA B., 1995**- Eléments sur la biologie et l'écologie du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775). Stage de formation de lutte antiacridienne (17 - 27 septembre), Alger. Ed. I.N.P.V - O.A.D.A., El Harrach, Alger, : 32 - 45.
- CIRAD, 2007**- Les criquets ravageurs. Physiologie. (Disponible sur http://locust.cirad.fr/tout_savoir/physiologie/physio_6.html)
- CNLCP, 2008**- Centre National de Lutte contre le Criquet Pèlerin (CNLCP), Mali. (Disponible sur <http://cnlcp.net/criquet.php>).
- COULYBALY ADAMA M., 2002** – effet de *Beauveria bassiana* (b) et *Metarhizium flavoviride* (g et r) sur l'hémogramme et les protéines de l'hémolymphe d'*Anacridium aegyptium* (L, 1764) (Orthoptera, Acrididae). étude de la persistance des spores sur le support végétal. Mém. Ing. agro., Inst. nati. agro., El-Harrach, 99 p
- DAJOZ R., 1985** - *Précis d'écologie*. Ed. Bordas, Paris, 505p.
- DESPLAND E. and SIMPSON S., 2005**- Food choices of solitary and gregarious locusts reflect cryptic and aposematic antipredator strategies. *Animal Behaviour*, 69: 471-479.
- DJEZZAR M., 2007**- Effet d'un biopesticide « Green muscle » sur les différents stades de *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) (Orthoptera-Acrididae) et impact sur quelques espèces de la Biocoenose aquatique. Thès. Mag. sci. agro., Inst. nat. agro., El Harrach, 155p.
- DOBSON H.M., 2001**- Lutte antiacridienne. Directives sur le criquet pèlerin. Ed. FAO, Rome, 83p.
- DOUMANDJI-MITICHE B., HALOUANE F., CHAHBAR N., AGRANE S., MERABTI N., SEDDIK A. ET DOUMANDJI S., 1997** – Note sur la présence de l'entomopathogène *Beauveria bassiana* (hyphomycetes, *deuteromycotina*) sur *Schistocerca gregaria* sur terrain a Adrar. Effet sur le rythme cardiaque et la respiration de cet acridien. *Med. Fac. Landbouww. Univ. Gent.*, 62 / 2b, 499 – 506.
- DOUTHWAITE B., LANGEWALD J. and HARRIS J., 2001**- *Development and commercialization of the Green Muscle biopesticide*. Ed. CABI, IITA, Cotonou, Benin, 23p.
- DURANTON J.F. et LECOQ M., 1990** – *Criquet pèlerin au Sahel*. Ed. Cirad/Prifas, 'Collection Acridologie Opérationnelle n°6', Montpellier, 183 p.
- DURANTON J.F., LAUNOIS M., LAUNOIS-LUONG M.H. ET LECOQ M., 1982a** – *Manuel de prospection acridienne en zone tropicale sèche*. Ed. CIRAD / PRIFAS, Départ. G.E.R.D.A.T, Paris, T. I, 695 p.
- DURANTON J.F., LAUNOIS M., LAUNOIS-LUONG M.H. ET LECOQ M., 1982b**– *Manuel de prospection acridienne en zone tropicale sèche*. Ed. CIRAD / PRIFAS, Départ. G.E.R.D.A.T., Paris, T. II, 1496 p.
- DURANTON J.F., LAUNOIS M., LAUNOIS-LUONG M.H. et LECOQ M. et RACHADI T., 1987** – Guide antiacridien du Sahel. Ed. Min. coop., Cirad / Prifas, Départ. G.E.R.D.A.T, Montpellier, 343 p.
- EKESI S. & MANIANIA N.K., 1999**- Susceptibility of *Megalurothrips sjostedti* developmental stages to *Metarhizium anisopliae* and the effects of infection on

feeding, adult fecundity, egg fertility and longevity. *Entomol. Experim. Applicata* . V . 94 (3) : 229 – 236.

FAO, 2007- Guidelines : Field efficacy trials with the entomopathogen *Metarhizium anisopliae* var. *acridum* (Green MuscleTM) against the Desert Locust (*Schistocerca gregaria*) and Monitoring of its operational use. Ed. FAO/AGPP, Rome, 33 p.

FERENZ H. J and SEIDELMANN K., 2003 - Pheromones in relation to aggregation and reproduction in desert locusts. *Physiol. Entomol.*, 28:11-18.

GHAOUT S., 1990. Contribution à l'étude des ressources trophiques de *Schistocerca gregaria* Forsk. (Orthoptera, Acrididae) solitaire en Mauritanie occidentale et télédétection de ses biotopes par satellite. Thès. Doct. Scien.; Univ. Paris XI, Orsay, 241 p.

GILLESPIE P.J., BURNETT C. and CHARNLEY K., 1999- The immune response of the desert locust *Schistocerca gregaria* during mycosis of the entomopathogenic fungus, *Metarhizium anisopliae* var *acridum*. *Journal of Insect Physiology*, 46: 429–437.

GIRARDIE, 1991- Régulation endocrinienne du développement, de la reproduction et du polymorphisme phasaire. La lutte anti-acridienne. Ed. AUPELF-UREF, John Libbey Eurotext, Paris, pp. 119-127.

GRASSE P.P., 1977 – Traité de zoologie : Anatomie, Systématique, Biologie. Insectes. Gamétogenèse, Fécondation, Métamorphose. Ed. Masson et C^{ie}, Paris, T. VIII, Fasc. 5, 680p.

GUENDOUZ-BENRIMA, 2005 - *Ecophysiology et biogéographie du Criquet pèlerin Schistocerca gregaria (Forsk., 1775) (Orthoptera, Acrididae) dans le sud Algérien.* Thès. Doct. D'Etat, Inst. nat. agr. El-Harrach, 210p.

HADDADJ F, 2001 – Evaluation de l'activité biologique de l'entomopathogène *Beauveria bassiana* (Hyphomycetes, Deuteromycotina) : efficacité sur la cuticule des I5 de *Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775) (Acrididae, Cyrtacanthacridinae). Thès. Magis. sci. agro., Inst. nati. agro., El Harrach, 96 p.

HALOUANE F., 1997 – Cycle biologique *Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775) et de *Locusta migratoria* (Linne, 1768) (Orthoptera, Acrididae). Efficacité de *Metarhizium anisopliae* (Metch) (Hyphomycetes Deuteromycotina) et effet sur quelques paramètres physiologiques de *Schistocerca gregaria*. These magister sci. agro., Inst. nat. agro. El Harrach, 235 p.

HASSANALI A., NJAGI P.G.N. and BASHIR M. O., 2005- Chemical ecology of locusts and related acridids. *Annu. Rev. Entomol.* 50, pp. 223-245.

HEMOUR S., 2005 - Etude morphométrique et effet de deux champignons entomopathogènes *Beauveria bassiana* Bals. et *Metarhizium anisopliae* (Deuteromycotina, Hyphomycètes) sur quelques paramètres physiologiques de *Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775) (Cyrtacanthacridinae, Acrididae). Mém. Ing. Agro., Int. nati. agro., El-Harrach, 103p.

HERNANDEZ-VELAZQUEZ V.M., BERLANGA-PADILLA A. and TORIELLO C., 2007- Reduction of feeding by *Schistocerca piceifrons piceifrons* (Orthoptera: Acrididae),

following infection by *Metarhizium anisopliae* var. *acidum*. *Florida Entomologist*, 90(4) : 786-789.

- HUNTER D.M., 2007**- Application de Green Guard® (*Metarhizium anisopliae* var. *acidum*) contre le Criquet migrateur oriental (*Locusta migratoria manilensis*) en Chine, p. 29 cité par WADE V. : Atelier international sur l'avenir des biopesticides dans la lutte contre le criquet pèlerin (Sénégal, 12-15 février 2007). Ed. The orthopterist's society, 32p.
- IBRAHIM K.H., SOURROUILLR P. and HEWITT G.M., 2000**- Are recession populations of desert locust (*Schistocerca gregaria*) remnants of past swarms?. *Molec. Ecol.* 9:783-791.
- JOERN A. and GAINES S.B., 1990**- Population dynamics and regulation in Grasshoppers. Pp. 415-482. in CHAPMAN R.F. and JOERN A., 1990- *Biology of Grasshoppers*. Ed. Wiley-Interscience, New-York, 563p.
- JOHNSON D. L., GOETTEL M. S., BRADLEY C., VAN DER PAAUW H. & MAIGA B., 1991** - Essais en plein champ du champignon *Beauveria bassiana* contre les criquets au Mali, en juillet 1990, pp. : 298 – 313 cités par LOMER C. J. et PRIOR C. : *Lutte biologique contre les acridiens. Compte rendu d'un atelier (29 avril – 1er mai)*, Bénin. Ed. C.A.B. International, Royaume Uni, 399 p.
- KAIDI N., 2007**- Bioécologie de *Schistocerca gregaria* Forskal, 1775 (Orthoptera, Cyrtacanthacridinae) dans la région de l'Ahaggar. Essais de lutte biologique au moyens de champignons entomopathogènes : *Beauveria bassiana* et *Metarhizium anisopliae* var. *acidum*. Thès. Mag. sci. agro., Inst. nat. agro., El Harrach, 145 p.
- KOOYMAN C., 2007**- *Metarhizium anisopliae* var. *acidum*, la matière active du Green Muscle®, pp :11-13 cité par WADE V. : Atelier international sur l'avenir des biopesticides dans la lutte contre le criquet pèlerin (Sénégal, 12-15 février 2007). Ed. The orthopterist's society, 32p.
- KOOYMAN C., AMMATI M., MOUMENE K., CHAOUCH A. et ZEYD A ., 2005** - Essai de Green Muscle sur des nymphes du Criquet pèlerin dans la Wilaya d'El Oued. Nord-Est Algérie FAO TAC ,n°715, 22p.
- KOTAKI T., 2006**- The Fate of Vitellogenin and Site of Protein Degradation during Oosorption in the Brown-winged Green Bug, *Plautia crossota stali*. *Formosan Entomol.* 26: 99-108.
- KOUASSI M., 2001** – Les possibilités de lutte biologique : emphase sur le champignon entomopathogène *b. bassiana*. *sci. environ.*, vol. 2, n°2, pp : 1 – 8.
- KRALL S. et NASSEH O.M., 1991**- La lutte biologique contre les criquets et les sautériaux , projet de recherche de la G.T.Z., pp. :44-49 cités par LOMER C. J. et PRIOR C., 1991 : *Lutte biologique contre les acridiens. Compte rendu d'un atelier (29 avril – 1er mai)*, Bénin. Ed. C.A.B. International, Royaume Uni, 399 p.
- LANGEWALD, 1999**- Green Muscle User Hand Book LUBILOSA (LUtte Biologique contre les LOcustes et les Sauteriaux). Biological Locust and Grasshopper Control Project Ed. CABI, IITA, CILSS, GTZ, Cotonou, Benin, 13 pp.
- LANGEWALD J., KOOYMAN C., DOURO-KPINDOU O., LOMER C.J., DAHMOUD A.O. and MOHAMED H. O., 1997**- Field treatment of Desert Locust

(*Schistocerca gregaria* Forskal) hoppers in Mauritania using an oil formulation of the entomopathogenic fungus *Metarhizium flavoviride*. *Biocontrol Science and Technology*, 7:603-611.

LATCHININSKY A. V. et LAUNOIS-LUONG M. H., 1997 – *Le criquet pèlerin Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775) dans la partie Nord-orientale de son aire d'invasion. Ed. Cirad / Prifas, Montpellier, 192 p.

LAUNOIS M., 1972- Contribution à l'étude du fonctionnement ovarien du criquet migrateur *Locusta migratoria capito* Sauss. dans la nature. *Ann. Zool. Ecol. Anim.*, n° hors série, :55-116.

LAUNOIS-LUONG M. H., 1978- Méthode pratique d'interprétation de l'état des ovaires des acridiens du Sahel. *Ann. Zool. Ecol. Anim.*, 10(4), pp.569-587.

LAUNOIS-LUONG M. H., LAUNOIS M. et RACHADI T., 1988- *La lutte chimique contre les criquets au sahel*. Ed. Cirad/Prifas, 'Collection Acridologie Opérationnelle n°3', Montpellier, 44 p.

LE BERRE J. R., ROUSSILHON C., LAUGE G., 1977- Activité alimentaire d'une souche de *Locusta migratoria* soumise à diverses conditions d'élevage. *Ann. Zool. Ecol. Anim.*, 9, 515-525.

LECOQ, 1999- Le Criquet pèlerin : enseignements de la dernière invasion et perspectives offertes par la biomodélisation. La lutte anti-acridienne. Ed. AUPELF-UREF, John Libbey Eurotext, Paris, pp. 71-98.

LEGALL P., 1989- Le choix des plantes nourricières et la spécialisation trophique chez les Acridoidea (Orthoptera). *Bull. écol.*, T. 20, pp. 245-261.

LOMER C., 1999- Phase 3 final report. LUBILOSA (LUtte Biologique contre les LOcustes et les Sauteriaux). Biological Locust and Grasshopper Control Project. Ed. CABI, IITA, Cotonou, Benin, 73p.

LOMER C. H. et LOMER C.J., 2008- Pathologies d'insectes. Formulation et application des mycopathogènes. *Manuels techniques de LUBILOSA, IV*, 13 p. (Disponible sur <http://www.lubilosa.org/TechbuFR.htm>).

LOMER C. J., BATEMAN R. P., DENT D., DE GROOTE H., DOURO-KPINDOU O. K., KOOYMAN C., LANGEWALD J., OUAMBAMA Z., PEVELING R. and THOMAS M., 1999- Development of strategies for the incorporation of biological pesticides into the integrated management of locusts and grasshoppers. *Agricultural and Forest Entomology*, N° 1, pp. 71-88.

LOUVEAUX A., MAINGUET A.M. et GILLON Y., 1983 - Recherche de la signification des différences en valeur nutritive observées entre feuilles de blé jeunes et âgées chez *Locusta migratoria* (R. et F.) (Orthoptera, Acrididae). *Bull. soc. zool.*, T.108,3, France, pp.453-456.

LUSIS O., 1963- The histology and histochemistry of development and resorption in the terminal oocytes of the desert locust, *Schistocerca gregaria*. *Quart. J. micr. Sci.*, 104, pp. 57-68.

MAGOR J., 2007- Atelier international sur l'avenir des biopesticide dans la lutte contre le criquet pèlerin. (12-15 février, 2007), Saly, Sénégal. Ed. FAO/AGPP., Rome, 37p.

- MAZET I. & BOUCIAS D.G., 1996-** Effects of the fungal pathogen, *Beauveria bassiana* on protein synthesis of infected *Spodoptera exigua* larvae. *Journal of Insect Physiology*, 42: 91–99.
- MESTRE J., 1988** - Les acridiens des formations herbeuses d'Afrique de l'Oest. Ed.CIRAD-PRIFAS, Paris, 330p.
- MILNER R., 2000-** *Metarhizium* biopesticides registered in Australia. *Biocontrol. News and Information* 21(2). (Disponible sur <http://pest.cabweb.org/Journals/BNI/BNI21-2/Gennews.htm>).
- MORDUE A. J. and HILL L., 1970-** The utilisation of food by the adult female desert locust, *Schistocerca gregaria*. *Ent. Exp. & appl. North-Holland Publishing co., Amsterdam*. 13:352-358.
- MOUMEN A., 1995-** Choix et normes d'utilisation des pesticides en lutte antiacridienne. Stage de formation en lutte antiacridienne (17 - 27 septembre), Alger. Ed. INPV – OADA, El Harrach : 92- 102.
- MOUMEN K. et BEN HAMOUDA, 2001-** Identification d'un composé de la matière spumeuse responsable de la grégarisation chez le criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Orthoptera, Acridoidae). *Jour. tech. phyto., Inst. nat. prot. vég., El-Hrarrach, Alger*, pp.72-82.
- NORRIS, M. J. 1954.** Sexual maturation in the desert locust (*Schistocerca gregaria* Forskål) with special reference to the effects of grouping. *Anti-Locust Bull.* 18, 43 pp.
- OUEDRAOGO R. M., GOETTEL M. S. and BRODEUR J., 2004-** Behavioral thermoregulation in the migratory locust: a therapy to overcome fungal infection. *Oecologia*, V.138, n° 2 :312-319.
- OUEDRAOGO R. M., CUSSON M., GOETTEL M. S. and BRODEUR J., 2003-** Inhibition of fungal growth in thermoregulating locusts, *Locusta migratoria* infected by the fungus *Metarhizium anisopliae* var *acridum*. *Journal of invertebrate pathology*, V. 82, n° 2, pp. 103-109.
- OULD AHMEDOU M. L., BOUAICHI A. et IDRISSE HASSANI L. M., 2001-** Mise en évidence du pouvoir répulsif et toxique de *Glinus lotoides* (Aizoacées) sur les larves du criquet pèlerin, *Schistocerca gregaria* Forskål (Orthoptera, Acrididae). *Zool. baetica*, 12: 109-117.
- UTTAR F., 2006** -Effet de deux entomopathogènes, *Beauveria bassiana* Bals. et *Metarhizium anisopliae* var. *acridum* Metch. (Hyphomycetes, Deuteromycotina) sur l'état embryonnaire du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) (Cyrtacanthacridinae, Acrididae). Thèse, Ing Sci. Agro. Inst. Nati. Agro. El Harrach, 102 p.
- PAPILLON et CASSIER, 1977-** Perturbations morphologiques et physiologiques dues à la présence du protozoaire parasite *Melameba locustae* (Ket T) chez *Schistocerca gregaria* (Forskål). *Acrida*, T.7, n°2 :82-101.
- PEDGLEY D.E., 1981.** # *Desert Locust forecasting manual (vol1 et 2)*. Ed.Centre for Overseas Pest Research (COPR), London, 444 p.
- PRIOR, C. and D.J. GREATHEAD. 1989.** Biological control of locusts: the potential for the exploitation of pathogens. *FAO Plant Protection Bulletin* 37: 37–48.

- QUESADA-MORAGA E., RUIZ-GARCIA A. and SANTIAGO-ALVAREZ C., 2006-** Laboratory Evaluation of Entomopathogenic Fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* Against Puparia and Adults of *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). *Journal of Economic Entomology*, V.99(6): 1955-1966.
- QUESADA-MORAGA E., SANTOS-QUIROS R., VALVERDE-GARCIA P. and SANTIAGO-ALVAREZ C., 2004-** Virulence, horizontal transmission, and sublethal reproductive effects of *Metarhizium anisopliae* (Anamorphic fungi) on the German cockroach (Blattodea: Blattellidae). [Journal of Invertebrate Pathology](#) . [V. 87\(1\)](#)):51-58.
- RACCAUD-SCHOELLER J., 1980** – *Les insectes : physiologie et développement*. Ed. Masson, Paris, 296 p.
- RACHADI T., 1991-** Promesse et limites de la lutte chimique dans la stratégie antiacridienne. La lutte antiacridienne. Ed. AUPELF-UREF, John Libbey Eurotext, Paris, pp. 151-165.
- ROFFEY and MAGOR, 2003-** *Desert Locust population dynamics parameters*. Ed. FAO, AGP/DL/TS, DESERT LOCUST TECHNICAL SERIES n°30, Rome, 35p.
- ROY J., 2001-** Histoire d'un siècle de lutte anti-acridienne en Afrique: contribution de la France. Ed. L'Harmattan, 278 p.
- SEIDELMANN K. ., WEINERT H. and FERENZ H.J, 2003-** Wings and legs are production sites for the desert locust courtship-inhibition pheromone, phenylacetone nitrile. *Journal of Insect Physiology*, 49 :1125–1133.
- SEYMOUN E., BATEMAN R.P. and CHARNLEY A.K., 2002-** The effect of *Metarhizium anisopliae* var *acridum* on haemolymph energy reserves and flight capability in the desert locust, *Schistocerca gregaria*. *J. Appl. Ent.* 126: 119–124.
- SHOEMAKER K. L., PARSONS N. M and ADAMO S. A., 2006-** Egg-laying behaviour following infection in the cricket *Gryllus texensis*. *Can. J. Zool.*, 84(3): 412–418.
- SHOWLER A.T., 1996-** The Desert Locust in Africa and Western Asia: Complexities of War, Politics, Perilous Terrain, and Development (disponible sur <http://ipmworld.umn.edu/chapters/showler.htm>)
- SHOWLER A. T., 2002-** A summary of control strategies for the desert locust, *Schistocerca gregaria* (Forskål). *A. T. Agriculture, Ecosystems and Environment* 90 : 97–103.
- SIEGLAFF D. H., PEREIRA. R. M. and CAPINERA J. L., 1997-** Pathogenicity of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium flavoviride* (Deuteromycotina) to *Schistocerca americana* (Orthoptera: Acrididae). [Journal of Economic Entomology](#) , V. 90, N° 6 (7), pp. 1539-1545.
- SIMPSON S.J., RAUBENHEIMER D., BEHMER S.T., WHITWORTH A. and WRIGHT G.A., 2002-** A comparison of nutritional regulation in solitary and gregarious phase nymphs of the desert locust, *Schistocerca gregaria*. *Journal of Experimental Biology* 205: 121-129.
- STEEDMAN A., 1988.** *Locust Handbook (2nd edition)*. Ed. Overseas Development. Natural Resources Institute, London, 180 p.

-
- SUNDBERG S.V., LUONG-SKOVMAND M.H. and WHITMAN D.W., 2001-** Morphology and development of oocyte and follicle resorption bodies in the Lubber grasshopper, *Romalea microptera* (Beauvois). *Journal of Orthoptera Research*, V. 10, pp. 39–51.
- SYMMONS P.M., CRESSMAN K., DOBSON H.M., VAN DER VALK H. et EVERTS J.W., 2003** – Criquet pèlerin. Directives. ED. FAO, Rome, 588 p.
- TAIL G., 1998-** Action de quelques substrats alimentaires sur quelques paramètres biologiques de *Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775) (Orthoptère, Acrididae). Efficacité entomopathogène de *Pseudomonas fluorescens* (Pseudomonadaceae) sur quelques aspects physiologiques du criquet pèlerin. Thès. Mag. sci. agro., Inst. Nat. Agro., El Harrach, 190p.
- USAID, 2001-** Lutte d'urgence contre les invasions transfrontalières de ravageurs en Afrique et en Asie. Ed. USAID, Maryland, 143p.
- VAN DER VALK, 2007-** *Review of the efficacy of Metarhizium anisopliae var acridum against the Desert Locust*. Ed. FAO, AGP/DL/TS, DESERT LOCUST TECHNICAL SERIES n°34, Rome, 81 p.
- VAN DER ZEE B., BEHMER S.T. and SIMPSON S.J., 2002-** Food mixing strategies in the desert locust: effects of phase, distance between foods and food nutrient content. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, **103** : 227-237.
- VAN HUIS A., 1995-** Desert locust plagues. *Elsevier science*, pp.118-124.
- WADE V., 2007-** Atelier international sur l'avenir des biopesticides dans la lutte contre le criquet pèlerin (Sénégal, 12-15 février 2007). Ed. The orthopterist's society, 32 p.
- WIGGLESWORTH B., 1972** – *The principles of insects physiology*. Ed. Chapman and Hall, London, New york, 827 p.

ANNEXES

Annexe n°1 : Analyse de la variance de la mortalité cumulée des adultes.

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr. > F
temps	2	76383,419	38191,709	137,013	< 0,0001
sexe	1	2627,859	2627,859	9,427	0,003
traitement	1	118,384	118,384	0,425	0,516

Annexes n°2 : Analyse de la variance de la mortalité cumulée des imagos.

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
temps	6	163493,080	27248,847	86,285	< 0,0001
sexe	1	618,372	618,372	1,958	0,162
traitement	1	87572,852	87572,852	277,304	< 0,0001

Annexes n°3 : Analyse de la variance de la moyenne pondérale quotidienne des femelles adultes.

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
temps	2	0,223	0,111	1,156	0,322
traitement	1	0,926	0,926	9,616	0,003

Annexes n°4 : Analyse de la variance de la moyenne pondérale quotidienne des mâles adultes.

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
temps	2	0,006	0,003	0,358	0,701
traitement	1	0,046	0,046	5,733	0,022

Annexes n°5 : Analyse de la variance de la moyenne pondérale quotidienne des adultes.

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
temps	2	0,069	0,034	0,492	0,613
traitement	1	0,662	0,662	9,488	0,003
sexe	1	12,018	12,018	172,279	< 0,0001

Annexes n°6 : Analyse de la variance de la moyenne pondérale quotidienne des femelles imagos.

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
temps	2	11,772	5,886	167,800	< 0,0001
traitement	1	0,092	0,092	2,615	0,110

Annexes n°7 : Analyse de la variance de la moyenne pondérale quotidienne des mâles imagos.

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
temps	2	0,552	0,276	7,630	0,001
traitement	1	0,802	0,802	22,143	< 0,0001

Annexes n°8 : Analyse de la variance de la moyenne pondérale quotidienne des imagos.

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
temps	2	8,602	4,301	72,120	< 0,0001
traitement	1	0,661	0,661	11,083	0,001
sexe	1	12,173	12,173	204,115	< 0,0001

Annexes n°9 : Analyse de la variance de la moyenne journalière de la quantité de matière sèche de l'aliment ingéré par les adultes.

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
temps	2	0,534	0,267	3,465	0,041
traitement	1	0,367	0,367	4,765	0,035

Annexes n°10: Analyse de la variance de la moyenne journalière du poids sec des fécès des adultes

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
temps	2	0,130	0,065	1,603	0,214
traitement	1	0,205	0,205	5,053	0,030

Annexes n°11 : Analyse de la variance de la moyenne journalière de la quantité de matière sèche de l'aliment ingéré par les imagos.

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
temps	2	4,058	2,029	4,191	0,019
traitement	1	2,068	2,068	4,271	0,043

Annexes n°12 : Analyse de la variance de la moyenne journalière du poids sec des féces des imagos.

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
temps	2	0,432	0,216	24,542	< 0,0001
traitement	1	0,000	0,000	0,045	0,833

Annexes n°13 : Analyse de la variance de la moyenne quotidienne du E.C.I. des adultes.

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
temps	2	46970,478	23485,239	1,598	0,215
traitement	1	41344,643	41344,643	2,814	0,101

Annexes n°14 : Analyse de la variance de la moyenne quotidienne du A.D. des adultes.

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
temps	2	118,233	59,116	0,099	0,906
traitement	1	2011,877	2011,877	3,367	0,074

Annexes n°15 : Analyse de la variance de la moyenne quotidienne du E.C.D. des adultes.

Effet du bio pesticide « Green Muscle » (*Metarhizium anisopliae* var *acridum* IMI 330189) sur la reproduction du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775) (Acrididae, Cyrtacanthacridinae) en conditions contrôlées.

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
temps	2	117177,107	58588,554	0,556	0,578
traitement	1	18996,086	18996,086	0,180	0,673

Annexes n°16 : Analyse de la variance de la moyenne quotidienne du E.C.I. des imagos.

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
temps	2	100577,245	50288,623	6,958	0,003
traitement	1	359340,195	359340,195	49,717	< 0,0001

Annexes n°17 : Analyse de la variance de la moyenne quotidienne du A.D. des imagos.

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
temps	2	57,739	28,870	0,491	0,617
traitement	1	3506,927	3506,927	59,656	< 0,0001

Annexes n°18: Analyse de la variance de la moyenne quotidienne du E.C.D. des imagos.

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
temps	2	474548,883	237274,441	4,841	0,015
traitement	1	1940187,761	1940187,761	39,582	< 0,0001

Annexes n°19 : Analyse de la variance de la moyenne quotidienne du taux de résorption ovocytaire durant la première semaine.

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
traitement	1	806,667	806,667	0,980	0,337
ovaire	2	1283,333	641,667	0,780	0,475

Annexes n°20 : Analyse de la variance de la moyenne quotidienne du taux de résorption ovocytaire durant la deuxième semaine.

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
traitement	1	33,333	33,333	0,034	0,856
ovaire	1	100,000	100,000	0,103	0,753

Annexes n°21 : Analyse de la variance de la moyenne quotidienne du taux de résorption ovocytaire durant la troisième semaine.

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
traitement	1	2133,333	2133,333	12,000	0,041
ovaire	1	66,667	66,667	0,375	0,584

Annexes n°22 : Analyse de la variance de la moyenne de l'évolution du nombre de pontes émises par les adultes.

Effet du bio pesticide « Green Muscle » (*Metarhizium anisopliae* var *acridum* IMI 330189) sur la reproduction du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775) (Acrididae, Cyrtacanthacridinae) en conditions contrôlées.

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
temps	2	231,390	115,695	49,104	< 0,0001
traitement	1	18,125	18,125	7,693	0,008

Annexes n°23 : Analyse de la variance de la moyenne de l'évolution de la taille de l'ovocyte de base des imagos

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
temps	2	256,202	128,101	194,012	< 0,0001
traitement	1	0,329	0,329	0,499	0,482
ovaire	1	0,020	0,020	0,031	0,861

Annexes n°24 : Analyse de la variance de la moyenne de l'évolution du nombre de pontes émises par les imagos durant la semaine 3.

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
traitement	1	2,178	2,178	18,200	0,001

Annexes n°25 : Analyse de la variance de la moyenne de l'évolution du nombre de pontes émises par les imagos durant la semaine 4.

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
traitement	1	10,971	10,971	24,847	< 0,0001

Annexes n°26 : Analyse de la variance de la moyenne de l'évolution du nombre de pontes émises par les imagos durant la semaine 5.

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
traitement	1	5,505	5,505	6,669	0,014

Annexes n°27 : Analyse de la variance de la moyenne de l'évolution du nombre de pontes émises par les imagos durant la semaine 6.

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
traitement	1	15,471	15,471	18,566	0,000

Annexes n°28 : Analyse de la variance de la moyenne de l'évolution du nombre de pontes émises par les imagos durant la semaine 7.

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
traitement	1	55,207	55,207	43,140	< 0,0001

Annexes n°29 : Analyse de la variance des moyennes quotidiennes du taux des protéines hémolympatiques des adultes de *S. gregaria*

Effet du bio pesticide « Green Muscle » (*Metarhizium anisopliae* var *acridum* IMI 330189) sur la reproduction du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775) (Acrididae, Cyrtacanthacridinae) en conditions contrôlées.

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
temps	2	1,696	0,848	1,123	0,351
traitement	2	5,750	5,676	7,520	0,015
sexe	1	49,285	49,285	65,297	<0,0001

Annexes n°30 : Analyse de la variance des moyennes quotidiennes du taux des protéines hémolymphatiques des femelles imagos de *S. gregaria*

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
temps	2	34,784	17,392	33,511	<0,0001
traitement	1	1,491	1,491	2,872	0,112

Annexes n°31 : Analyse de la variance des moyennes quotidiennes du taux des protéines hémolymphatiques des mâles imagos de *S. gregaria*

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
temps	2	3,331	1,666	22,194	<0,0001
traitement	1	1,811	1,811	24,136	0,000

Annexes n°32 : Analyse de la variance des moyennes quotidiennes du taux des protéines hémolymphatiques des imagos de *S. gregaria*

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
temps	2	29,347	14,673	26,611	<0,0001
traitement	1	3,294	5,294	5,974	0,020
sexe	1	26,471	26,471	48,008	<0,0001

