

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

UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA



FACULTE DES SCIENCES AGRO-VETERINAIRES ET BIOLOGIQUES
DEPARTEMENT D'AGRONOMIE

MEMOIRE

de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master en sciences
agronomiques

Spécialité : Biotechnologie des Plantes Médicinales et Aromatiques et des Produits
Naturel

THEME

**Etude comparative du pouvoir acridicide des souches locales
fongiques de *Metarhizium* sp., *Beauveria* sp., et *Trichoderma* sp. à un
biofongicide formulé le 'green muscle' vis-à-vis des larves L5 de
*Schistocerca grégéria***

Présenté par: **Sadoune-Arous Assia .**

Devant le jury composé de:

Mme BENFKIH – Allal L	Pr	USDB	Présidente
Mme. MOUMENE S.	M.A.A	USDB	Promotrice
Mme. BELGENDOUZ R.	M .A.A	USDB	Examinatrice
Mr. BENSAAD H.	Dr	INPV	Examineur

Année universitaire 2012/2013

Remerciement

Je remercie le dieu, le tout puissant, pour m'avoir donnée la force, le courage et patience.

*J'exprime mes profonds remerciements tout particulièrement à Mme le professeur **HOUMANI Z.** Pour l'accueil qu'elle m'a réservé au sein de son laboratoire de recherche des plantes aromatique et médicinales à la faculté des sciences Agrovétérinaires.*

*j'adresse mes sincères remerciements à Mme **MOUMENE**, ma promotrice pour tout l'aide qu'elle m'a apportée, depuis le début du mémoire et jusqu'à la réalisation du présent travail. je lui sais gré pour la confiance qu'elle m'a accordée, sa présence, disponibilité, aide et écoute et ses nobles qualités humaines ont été le moteur de ma motivation. sa rigueur scientifique reste pour moi un modèle.. J'ai énormément apprécié sa vision éclairée et sa logique. Par sa simplicité et sa sympathie. merci madame.*

*Je tiens à remercier la présidente Mme **BENFKIH Allal L**, pour avoir honoré de sa présence ce jury en acceptant de le présider.*

*Je remercie les membres de jury Mme **BELGUENDOUZ R** et Mr **BENSAAD H.** d'avoir aimablement accepté d'examiner et juger ce travail.*

*Mr **MOUMENE** directeur de l'institut national de la protection des végétaux d'el Harrach pour l'aide qu'il ma apporté dans la réalisation de mon travail qu'il trouve ici toute ma gratitude.*

*Je remercie vivement le personnel D' **INPV** et tous les chefs services, spécialement Mr **LAZAR M** sans oublier Mr **CHAOUCH A** et Mme **HAMDI S.** également pour le personnel de la station régionale de la protection des végétaux de Boufarik et le personnel du service de cytologie au centre hospitalo universitaire d'Hussein dey à Alger.*

Ma reconnaissance et mes remerciements vont également à l'encontre de toute personne qui a participé de près au de loin, à la réalisation de ce modeste travail.

Dédicace

Je voudrais en toute modestie dédier ce travail à :

Mes chers parents qui ont toujours été à mes côtés, qui n'ont jamais cessé de m'encourager et m'aider dans mes études, leur fierté à mon égard aujourd'hui est pour moi la meilleure des récompenses.

A mon cher mari ADBELLAH, qui a suivi mon parcours tout au long de ce travail avec beaucoup de sacrifices. Que dieu te protège.

A m'adorable fille CELINE EL RITEDJ.

A mes chères beaux-parents, qui ont m'aidé a gardé ma petite.

A mes chères sœurs, et chères belles sœurs.

A mes chers frères et beaux-frères.

A chaque membre de la famille SADOUNE et AROUS.

A tous mes amis : Laila, Sabrina, Amina, Donia, Khadîdja, Hassiba.

Merci.

ASSJA

Liste Des Tableaux

Tableau 01. Taux de mortalité selon les champignons testés, leurs modes d'application et la durée d'incubation	41
Tableau 02. : Analyse de la variance des taux de mortalité des larves L5 de <i>S.grégaria</i> selon les champignons testés (Mode T), les modes d'application par ingestion et contact (Mode A) et selon la durée d'incubation (Jours).	42
Tableau 03. Analyse de la variance des taux de mortalité selon les champignons testés et la durée d'incubation concernant le mode par contact.....	43
Tableau 04. Analyse de la variance des taux de mortalité selon les champignons testés et la durée d'incubation pour le mode par ingestion	44

Liste Des Figures

Figure 1: Morphologie du criquet pelerin <i>S.gregaria</i> à différents stades (DURANTON et LECOQ, 1990).....	04
Figure 2 : Schéma de l'appareil digestif d'un acridien en vue dorsale (modifier d'après JANNONE , 1939).....	05
Figure 3: Principaux types d'hémocytes d'après (MATHUR et SONI, 1937).....	06
Figure 4 : Cycle biologique de <i>Schistocerca gregaria</i> (DURANTON et LECOQ ,1990)...	09
Figure 5: Schéma de polymorphisme phasaire (ALBERCHT,1967).....	11
Figure 6 : Aire d'invasion et de rémission du criquet pèlerin (Keita, 2009).....	13
Figure 07 : Foyers de grégarisation du Criquet pèlerin entre 1926 et 1976 d'après (Lecoq, 1999b)	13
Figure 8 : Aspect cultural (a) et morphologique (GX125) de <i>Beauveria bassiana</i> (CHAOUCHE ,2009).....	19
Figure 9 : Aspect cultural (a) et morphologique (b) (Gx125) de <i>Metarhizium anisopliae</i> (KARA-TOUMI, 2010).....	21
Figure10: Aspect cultural (a) et Morphologique (b) de <i>Trichoderma harzianum</i> (BOTTON et al., 1985).....	28
Figure11 : les cages d'élevage des L5 de <i>Schistocerca gregaria</i>	34
Figure12 : les isolats des quatre champignons testé. a :souches <i>Metarhizium</i> sp.b: <i>Beauveria</i> sp. c: <i>Green muscle</i> . d: <i>Trichoderma</i> sp.	34
Figure13: Analyse de la variance globale des taux de mortalité des larves L5 de <i>S.gregaria</i> en modèle GLM selon les champignons testés (ModeT), les deux modes d'application des champignons (ModeA) et la durée d'incubation (Jour)	42
Figure14 : Analyse de la variance des taux de mortalité selon les champignons testés et la durée d'incubation en modèle GLM concernant le mode par contact.....	43

Figure15 : Analyse de la variance des taux de mortalité des larves L5 de <i>S.gregaria</i> en modèle GLM selon les champignons testés (ModeT), les deux modes d'application des traitements (ModeA) et la durée du traitement.....	44
Figure16 : Les mue imaginale des témoins et celle traité 1 :la mue des larves témoin(a :imagos, b :exuvie),2 :adulte a partir des larves traité par <i>Trichoderma</i> sp. 3 :l'arrêt de la mue pour les larves traité par <i>Beauveria</i> sp. 4 : déformations au niveau des élytres pour les larves traité par <i>Metarhizium</i> sp.....	46
Figure17: a :présence et abondance de <i>Beauveria</i> sp. à l'intérieur de tube digestif ,b : fructification du Green muscle sur le cadavre, c : <i>Metarhizium</i> sp. debut de momification , d : coloration rougeâtre causé par Green muscle.....	46
Figure18 : Coloration de l'hémolymphe selon les traitements des L5 de <i>S.gregaria</i> par les champignons testés.....	47
Figure19 : Recherche des champignons testés dans l'hémolymphe des L5 de <i>S.gregaria</i> traitées.....	48
Figure20: Structure de l'épithélium mesenteral du tube digestif des L5 de <i>S.gregaria</i> témoins et traitées par les champignons testés (G :X125, G :X500).....	49

Liste Des Abréviations

GLM : General Linear Model .

M.A.A: Maitre Assistant Classe A .

INPV : Institut National de la Protection des Végétaux .

USDB : Université de Saad Dahlab Blida .

L5: Larves de cinquième stade .

BEAU :*Beauveria* sp.

GrMs :Green Muscle.

Metar : *Metarhizium* sp.

Tricho:*Trichoderma* sp.

S.gregaria: *Schistocerca gregaria*

Tab: Tableau.

Table des matières

Introduction	01
1 Données bibliographiques sur le criquet pèlerin	03
1.1 Position systématique.....	03
1.2 Morphologie.....	03
1.2.1 L'œuf.....	03
1.2.2 Les larves	04
1.2.3 Imagos et adultes.....	04
1.3 Structure Anatomique du criquet pèlerin.....	04
1.3.1 L'appareil digestif du criquet pèlerin	05
1.3.2 L'hémolymphe.....	05
1.4 Biologie du criquet pèlerin	07
1.4.1 Ponte et embryogénèse	07
1.4.2 L'état larvaire.....	07
1.4.3 Etat imaginal.....	07
1.4.4 Maturation sexuelle.....	08
1.5 L'alimentation chez le criquet pèlerin	09
1.6 Dégâts et importance économique.....	09
1.7 Polymorphisme phasaire.....	10
1.8 Répartition géographique.....	11
1.9 Aire de distribution	12
1.9.1 Aire de d'invasion	12
1.9.2 Aire de rémission.....	12
1.9.3 Aire grégarigènes.....	12
1.10 Le criquet pèlerin en Algérie.....	13
1.10.1 Distribution.....	13
1.10.2 Historique.....	14

1.11 La lutte antiacridienne.....	15
1.11.1 Lutte préventive.....	15
1.11.2 Lutte écologique.....	15
1.11.3 Lutte chimique.....	16
1.11.4 Lutte biologique.....	16
1.11.4.1 Lutte par l'utilisation des extraits végétaux ou de molécules allélochimique.....	16
1.11.4.2 Lutte pour l'utilisation d'entomopathogène.....	17
1.11.4.3 Lutte par microbiologique.....	17
1.12 Aperçus sur deux champignons entomopathogènes acridicides.....	18
1.12.1 Beauveria bassiana.....	18
1.12.1.1 Historique.....	18
1.12.1.2 Position systématique.....	18
1.12.1.3 Aspect cultural et morphologie.....	18
1.12.1.4 Utilisation de beauveria bassina contre les ravageurs.....	19
1.12.1.5 Metarhizium.....	19
1.12.2 Historique.....	20
1.12.2.1 Position systématique.....	20
1.12.2.2 Morphologie.....	20
1.12.3 Green muscle.....	21
1.12.3.1 Historique.....	21
1.12.3.2 Formulation et historique.....	22
1.12.3.3 Efficacité du Green muscle en plein champ.....	23
1.12.4 Mode d'action des entomopathogènes.....	23
1.12.4.1 Phase d'adhésion.....	24
1.12.4.2 Phase de germination.....	24
1.12.4.3 Phase de différenciation.....	24
1.12.4.4 Phase de pénétration.....	24

1.12.5 Facteurs affectant l'efficacité de deux champignons entomopathogènes.....	25
1.12.5.1 Facteur lie aux pathogènes.....	25
1.12.5.2 Facteur dépendent de l'hôte.....	25
1.12.5.3 Facteur de l'enivrement.....	25
1.12.5.4 Facteurs du sol.....	26
1.12.6 Conservation de deux entomopathogènes.....	26
1.13 Généralités sur les Ttrichoderma.....	26
1.13.1 Introduction.....	26
1.13.2 Taxonomie.....	27
1.13.3 Caractérisation culturelle et morphologique.....	27
1.13.4 Pouvoir antagoniste.....	28
1.13.5 Intérêts de l'utilisation de Trichoderma spp dans L'agriculture biologique.....	29
2 Matériels et méthodes.....	32
2.1 Introduction.....	32
2.2 Matériel biologique.....	32
2.2.1 Criquet pèlerin.....	32
2.2.2 Les champignons.....	33
2.3 Elevage des larves L5 en masse du criquet pèlerin.....	33
2.4 Etude de la toxicité des isolats fongiques.....	35
2.4.1 Toxicité par contact.....	36
2.4.2 Toxicité pat ingestion.....	36
2.5 Toxicité par l'effet des champignons sur la mortalité et morphologie de L5 de S.gregaria.....	36
2.6 Etude de l'effet des champs par mode contact sur l'hémolymphe.....	37
2.7 Etude de l'effet des traitement fongique par mode ingestion sur le tube digestif.....	37
2.7.1 Sacrifice et prélèvement des tubes digestifs.....	37
2.7.2 Déshydratation.....	38

2.7.3 Imprégnation et inclusion.....	38
2.7.4 Confection des blocs.....	38
2.7.5 Confection des coupes.....	39
2.7.6 Etalement des coupes.....	39
2.7.7 Déparaffinage, réhydratation et coloration (Trichoderma de masse).....	39
2.7.8 Montage et observation microscopique.....	39
2.8 Analyses statistiques.....	40
3.Résultats et discussion	41
3.1 Etude de la toxicité des traitements à base des trois champignons testés.....	41
3.2 L'effet des champignons sur le comportement et la morphologie des larves L5 de S.gregaria.....	44
3.3 Recherche des champignons testés dans l'hémolymphe des L5 de S.gregaria.....	47
3.4 Etude de l'effet des traitements fongiques sur la morphologie et la structure de tube digestif de S.gregaria.....	48
3.5Discussion.....	50
Conclusion.....	57

Références bibliographiques

Annexes.

Sommaire.

Résumé

Etude comparative du pouvoir acridicide de souches algériennes fongiques de *Metarhizium* sp., *Beauveria* sp. et *Trichoderma* sp. à un biofongicide formulé le 'green muscle' vis-à-vis des larves L5 de *Schistocerca gregaria*

Ce présent travail vise l'évaluation de l'activité acridicide de quatre champignons : *Beauveria*, *Metarhizium*, *Trichoderma* et le *Green muscle* appliqués sous forme de suspensions conidiennes à une concentration de 10^6 conidies/ml sur les larves du cinquième stade (L5) de *Schistocerca gregaria*.

L'effet de la toxicité des champignons précités a été étudiée *in vitro* selon le mode par contact, et par ingestion sur le comportement, la mortalité, la morphologie, l'hémolymph, et la partie mesenterale du tube digestif des L5 du criquet pèlerin.

En effet, le traitement à base de *Trichoderma* sp. a révélé des résultats comparables à ceux des témoins (eau, gasoil), confirmant sa non toxicité sur le criquet pèlerin.

En revanche, des taux de mortalité importants ont été enregistrés pour le mode d'application par contact (35,5%) respectivement pour le green muscle (68%), *Beauveria* sp. (57%) et *Metarhizium* sp. (55%). Des changements morphologiques affectant la taille et la couleur ont été observés avec des présentations des anomalies chez les individus traités. Le passage des conidies dans le corps des L5 traitées par contact a permis leur réisolement à partir de l'hémolymph sur milieu PDA. Comme, elles ont engendré des modifications structurales au niveau de l'épithélium mesenteral, traduites par une désintégration cellulaire et l'altération progressive des cils pour le mode par ingestion. Les résultats issus des traitements à base des champignons testés ont confirmé leurs potentialités acridicides en vue de leur utilisation dans la lutte antiacridienne contre *S.gregaria*.

Mots clés : *Metarhizium* sp. , *Trichoderma* sp. , *Beauveria* sp., Green muscle , *Schistocerca gregaria*, potentialités acridicides.

Abstract

Comparative study of acridicidal power of Algerian fungal strains of *Metarhizium* sp., *Beauveria* sp. and *Trichoderma* sp. to a biofungicidal formulated 'green muscle' against L5 larvae of *Schistocerca gregaria*

The present work is to evaluate the acridicidal activity of four fungi: *Beauveria*., *Metarhizium*., *Trichoderma*. and the Green muscle applied as conidial suspensions at a concentration of 10^6 conidia / ml on the fifth stage larvae (L5) of *Schistocerca gregaria*.

The effect of the above toxicity of fungi was studied *in vitro* according to modes by contact and ingestion on the behavior, the mortality, morphology, the hemolymph, and mesenterale of the digestive tract of L5 tested.

Indeed, treatment based on *Trichoderma* sp. showed similar results to those of controls(water,gasoil), confirming its non-toxicity locust.

In contrast, high mortality rates were recorded for the mode application by contact (35, 5%) respectively for the green muscle (68%), *Beauveria* sp. (57%) and *Metarhizium* sp. (55%). Morphological changes in the size and color were observed with stopping moulting and presentations abnormalities in individuals treated. The passage of conidia in the body of L5 processed by contact allowed them to re-isolation from the hémolynphe on PDA medium. As they have resulted in structural changes mesenteral epithelium, resulted in a progressive disintegration and cellular alteration eyelashes for ingestion by the user. As they led to structural changes on tmesenteral epithelium, causing a cell disintegration and a progressive deterioration of the lashes.for mode by ingestion.

The results from treatments based of fungi tested confirmed their acridicidal potentialities for their use in the Desert Locust control.

Key words : *Metarhizium* sp. , *Trichoderma* sp. , *Beauveria* sp., Green muscle , *Schistocerca gregaria*, acridicidal potentialities.

ملخص

دراسة مقارنة لتأثير ثلاث سلالات من الفطريات الجزائرية *Trichoderma sp* ، *Metarhizium sp* و *Beauveria sp* بنوع معالج مصنع Green muscle ضد الجراد الصحراوي

يتمحور العمل في تقييم سمومة الفطريات الأربعة المجرية = *Trichoderma Beauveria Metarhizium* ، التي طبقت بجرعة نسبتها *Green muscle* ، *Iospox/me* على حوريات الطور الخامس لـ *Schistocerca gregaria*.

تأثير سمومة الفطريات المذكورة أعلاه، جربت بالمخبر باستخدام طريقة التلامس و عن طريق التغذية على نسبة موت و هيكل و دم و الجهاز الهضمي لحوريات الطور الخامس للجراد الصحراوي.

حيث أظهرت المقارنة بـ *Trichoderma sp* نتائج مطابقة لشاهد الماء و المازوت، و التي أكدت عدم فعالية سمومتها على الجراد الصحراوي.

و قد سجلت معدلات موت هامة بالنسبة لريق التلامس (35,5%) بالترتيب على التوالي *Green muscle* 68% ، *Beauveria sp* 57% ، *Metarhizium sp* 55%.

كذلك لوحظت ثغرات أثرت على الحجر والون مع توفيق الانسلاخ الذي أظهر تشوهات على مستوى لهيكل حريات المحاربة. انتقال الامساج داخل حبس بطريقة التلامس. سمحت أعادت عزل الفطريات من الدم، في وسط عدائي مصنع أساسه البطاطا هذه الأخيرة تسببت في تغيرات على مستوى الجهاز الهضمي التي بتجريب الخلايا و الزوال التدريجي لها بطريقة التغذية.

النتائج المتحصل عليها من العلاج المقاوم بالفطريات المستخدمة، أكدت فعاليتها الجهد ضد الجراد و نريد تجربتها على ارض الواقع.

كلمات المفتاح = *Green muscle* ، *Beauveria sp.* ، *Trichoderma sp.* ، *Metarhizium sp.* ، *Schistocerca gregaria* الجهد ضد الجراد.

Introduction

Les relations entre l'homme et les sauterelles ont toujours été conflictuelles. Elles sont considérées comme des ennemis détruisant ses ressources naturelles. Parmi ces acridiens, le criquet pèlerin est celui qui cause le plus de dégâts à l'homme en s'attaquant aux parcelles cultivées et aux pâturages. Il est reconnu comme un ravageur transe frontal suscitant des inquiétudes et une attention particulières. C'est une espèce très redoutable du fait de son aptitude à devenir grégaire et à former des essaims qui peuvent parcourir plusieurs milliers de kilomètres. Les transformations phasaires se produisent aisément et fréquemment dans les deux sens. Le passage de l'état solitaire à l'état grégaire est induit par les facteurs dynamiques de leur environnement qui entraîne un accroissement de la densité de population (Uvarov, 1966). Ceci provoque un bouleversement dans leurs comportements, leurs physiologies et leurs morphologies. A ce moment, le milieu prend une nouvelle signification pour *Schistocerca gregaria*.

Le développement de l'agriculture saharienne depuis 1990 par l'aménagement des périmètres irrigués en cultures sous serres et céréalières sous pivots, a créé un cadre favorable à la pullulation des individus solitaires des sauterelles à savoir : *Schistocerca gregaria* et *Locusta migratoria* (Allal-Benfekih, 2006). En effet Kara, (1997) a observé un dimorphisme saisonnier de taille à Adrar chez les mâles et les femelles des populations du criquet pèlerin, issus de deux saisons différentes, l'une sèche et l'autre humide. Plus récemment, Ould El hadj, (1999) a établie la relation entre le développement agricole au Sahara algérien et la présence permanente de cette espèce d'une part et sa fréquente pullulation d'autre part.

Connaître la bio écologie du criquet pèlerin en phase solitaire dans son biotope naturel ou anthropisé, équivaut à se donner les moyens de prévoir et d'expliquer les phénomènes qui engendrent leurs multiplications. Une connaissance précise de la localisation et du fonctionnement de ces foyers de grégarisation est indispensable.

La dernière invasion qu'a connue la région occidentale d'octobre 2003 au mois de mai 2005 (F.A.O., 2004), a révélé des insuffisances dans l'exécution des programmes de surveillances et de lutttes notamment dans les pays du Sahel. Ainsi, il a suffi de deux mois de bonne pluviométrie en Mauritanie durant l'été 2003 pour assister au retour massif des populations grégaires au mois d'octobre de la même année (Lecoq, 2005).

Pour faire face à cette invasion, les pays du Maghreb et du Sahel, comme dans le passé, ont eu recours à toute une panoplie de produits chimiques réputés ayant un effet de choc contre les acridiens. Plus de 13 millions de litres de pesticides ont été déversés dans les biotopes infestés, dont 09 millions en Algérie et au Maroc durant l'année 2003 et 2005. Les conséquences qui peuvent résulter d'une mauvaise application et du non respect des précautions d'emploi sont réelles tant sur la santé humaine, animale que sur l'environnement (Doré et al., 2008).

Une prise de conscience de ces dangers amène les instituts de recherche à s'orienter vers la mise en œuvre d'autres formes de lutttes moins nocives. La lutte biologique basée sur l'utilisation des bactéries, des champignons et des virus s'avérera comme une variante envisageable.

En Algérie, l'utilisation de ces microorganismes pour lutter contre les sauterelles a fait l'objet de travaux, entre autres, citons ceux Bissaad (1998), de Hallouane (1997, 2007), Hassani (2000), Hémour (2005), Moussa (2003), sur le plan international, les travaux de Fernandes et al. (2010), Inglis et al. (2007), Nam et al. (1998).

L'objet de notre travail, en continuation là même problématique sur la bio écologie et la stratégie de lutte contre *Shistocerca gregaria* a mené sur l'efficacité de deux entomopathogènes : *Beauveria* sp., *Metarhizium* sp., un biopesticide formulé 'le Green muscle', et un antagoniste algérien '*Trichoderma* sp.'

le présent travail comprend trois chapitres. le premier est consacré aux données bibliographiques sur le criquet pèlerin et sur les quatre champignons. Le second portera sur le matériel et les méthodes de travail. en fin le troisième chapitre comprend les résultats et les discussions des paramètres suivis.

1 Données bibliographiques sur le criquet pèlerin

1.1 Position Systématique

Schistocerca gregaria est appelée usuellement criquet pèlerin, c'est le « Djrade el Arbi » qui signifie « Sauterelle des arabes » ou encore « Criquet du désert » (Desert locust en anglais) (DELASSUS et PASQUIER, 1929). 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'Égypte 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).

Schistocerca gregaria présente deux sous-espèces, l'une nominative et la plus connue *Schistocerca gregaria gregaria* (FORSKÅL, 1775) et l'autre, *Schistocerca gregaria flaviventris*, plus modestement répartie en Afrique du Sud- Ouest (LATCHININSKY et LAUNOIS-LUONG, 1997). Selon GRASS (1970), la position systématique du Criquet pèlerin est comme suit :

- **Embranchement** : *Arthropodes*
- **Sous embranchement** : *Mandibulales*
- **Classe** : *Insectes*
- **Sous classe** : *Ptérygotes*
- **Super ordre** : *Orthoptéroïdes*
- **Ordre** : *Orthoptères*
- **Sous ordre** : *Caelifères*
- **Super famille** : *Acridoïdes*
- **Famille** : *Acrididae*
- **Sous famille** : *Cyrtacanthacridinae*
- **Genre** : *Schistocerca*
- **Espèce** : *Schistocerca gregaria*

1.2. Morphologie

1.2.1 L'œuf

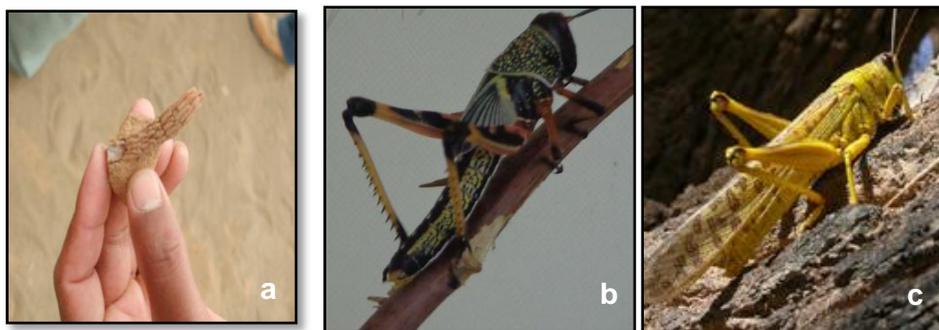
L'œuf et de couleur jaune claire à brunâtre est se présente sous une forme allongée et légèrement incurvée dont la longueur est comprise entre 7 et 8 mm (Figure 1a). (DURANTON et LECOQ, 1990). Ces derniers sont pondus groupées dans le sol sous forme d'oothèque surmontée par un bouchon de matière spumeuse (POPOV et *al.*, 1991). D'après MORALES AGACINO (1952), la disposition des oothèques dans le sol dépend de texture et de l'humidité superficielle de celui-ci. Chez les solitaires, les œufs sont petits et en plus grand nombre (LAUNOIS-LUONG et POPOV, 1992).

1.2.2 Les larves

Les larves de phase solitaire et la phase grégaire se distinguent par leurs couleurs très diversifiées. La plupart d'elles en première phase ont une pigmentation uniforme verte au cours des premiers stades, peuvent devenir brune en fin de développement (DURANTON et LECOQ, 1990). En phase grégaire, les deux premiers stades présentent une pigmentation noire (Figure 1b), les autres stades présentent une maculature plus au moins accentuée (DURANTON et LECOQ, 1990 ; LAUNOIS-LUONG et POPOV, 1992).

1.2.3 Imagos et adultes

Le criquet pèlerin est un acridien de grande taille (Figure 1c), en phase grégaire les femelles mesurant de 5 à 6 cm de long, les males de 4,5 à 5 cm, les individus solitaires sont plus grands, les femelles mesurent 6 à 9 cm de long, les males de 4,5 à 6 cm (LAUNOIS-LUONG et POPOV, 1992). Selon MESTRE (1988), cet acridien présente des antennes filiformes, un pronotum concave latéralement chez les grégaires et convexe chez les solitaires avec une longueur des ailes et des élytres dépassant nettement l'extrémité abdominale. La coloration du criquet pèlerin est très variable, elle dépend de l'état phasaire et de la maturation sexuelle, chez les solitaires, la teinte générale à dominance jaune sable, brune ou grise. Chez les grégaires immatures, la couleur est rose plus ou moins foncée et les imagos matures sont de couleur jaune.



a : Oothèque b ; Larve L5 c : adulte

Figure 1 : Morphologie du criquet pèlerin *S. gregaria* à différents stades (DURANTON et LECOQ, 1990)

1.3 Structure Anatomique du criquet pèlerin

Les principaux organes internes peuvent être classés selon la fonction qu'ils remplissent :

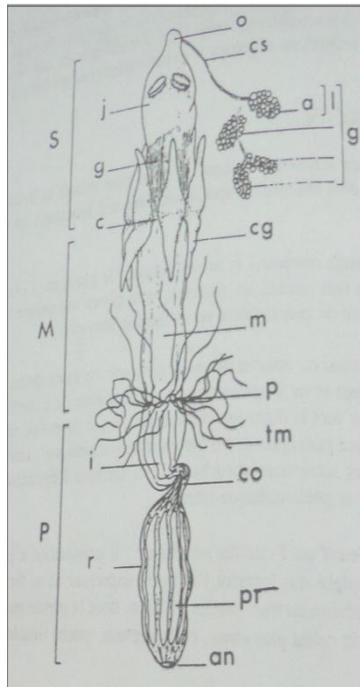
- **Nutrition** : l'appareil digestif, l'appareil circulatoire, l'appareil respiratoire et l'appareil excréteur.

- **Relation entre les organes ou avec le milieu extérieur** : les muscles, le système nerveux, le système endocrinien et les organes sensoriels
- **Reproduction** : l'appareil reproducteur

1.3.1 L'appareil digestif du criquet pèlerin

le tube digestif est un simple conduit reliant la bouche à l'anus et présentant une succession de poches spécialisées regroupées en trois ensembles importants (Fig2) :

- **le stomodeum** qui comprend la cavité buccale, le pharynx, l'œsophage, le jabot et gésier.
- **le mesenteron** est une région spécifiquement digestive.
- **Le proctodeum** se différencie à partir du pylore où se placent de nombreux tubes de Malpighi excréteurs, une valvule rectale marque la limite entre colon et rectum.



a : acinus, an : anus, c : cacia, cg : coeca gastriques, co : colon, es : canaux salivaires, g : gésier, gl : glandes salivaires, i : iléon, j : jabot, l : lobe, M : mesenteron, m : partie moyenne, o : œsophage, P : proctodeum, p : pylore, pr : papille rectale, r : rectum, S : stomodeum, tm : tube de Malpighi.

Figure 2 : Schéma de l'appareil digestif d'un acridien en vue dorsale (modifié d'après JANNONE, 1939)

1.3.2 L'hémolymphe

Le sang des acridiens (**hémolymphe**) n'est pas entièrement canalisé dans les vaisseaux comme chez les Vertébrés. Il remplit la cavité générale du corps (**hémocoèle**) et la lumière centrale des appendices. Son débit est assuré par les pressions engendrées par les mouvements du corps et les effets du **vaisseau dorsal pulsatile**, appelé "cœur" (par rapprochement avec les

Vertébrés.

L'hémolymphe ne sert pratiquement pas aux échanges gazeux. Elle transporte des substances chimiques nutritives ou porteuses d'informations. Le pH varie de 6,0 à 7,5. Le sang est formé de plasma et d'hémocytes (Figure 3).

– Le **plasma** est un mélange d'eau, de protéines, de glucides et d'acide urique. Il contient quelques éléments non organiques: potassium, sodium, manganèse, calcium et plus rarement le cuivre. Sa densité est de 1,02 à 1,03 g/ml. La pression osmotique oscille entre 4 et 13atmosphères.

– les **hémocytes** sont les principales cellules en suspension dans le plasma. S'y ajoutent quelques cellules adipeuses et des débris tissulaires. La densité varie de 7000 à 20000 cellules par mm^3 de plasma. Les hémocytes sont agrégées pour l'essentiel. Certaines cellules ont un rôle dans la coagulation, la lutte contre l'infection ou certains parasites internes. On connaît au moins quatre types principaux d'hémocytes mais, il s'agit vraisemblablement d'une suite ontogénique, c'est-à-dire des différentes phases d'évolution d'une même cellule.

A : jeune cellule mère.
 B : cellule mère à maturité.
 C-D : pro-leucocyte.
 E : phagocyte.
 F : leucocyte granulaire.
 c : cytoplasme, g : corps de Golgi, m : mitochondrie, n :
 noyau, a : granules d'albumine.
 La structure du noyau de E et F n'a pas été représentée.

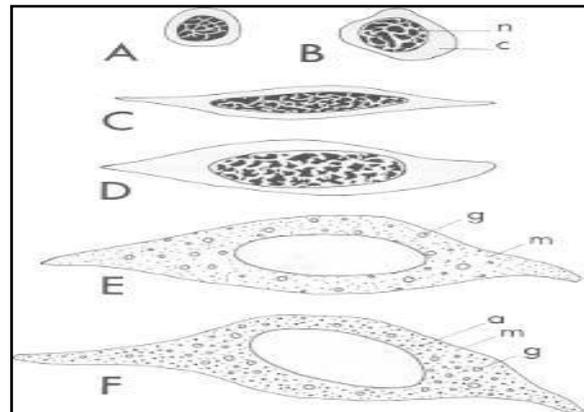


Figure 3: Principaux types d'hémocytes d'après (MATHUR et SONI, 1937)

1.4 Biologie du criquet

Le cycle biologique du criquet pèlerin comprend trois étapes successives : l'état embryonnaire, l'état larvaire, et l'état imaginaire (Figure 4) (DURANTON et LECOQ, 1990).

1.4.1 Ponte et embryogénèse

Arrivés à maturité sexuelle, et après accouplement les femelles prospectent activement le milieu à la recherche d'un site de ponte propice qui se caractérise par la dureté du sol, l'exposition du soleil, la teneur en eau, la texture, ainsi que la présence des sels minéraux (DURANTON et al., 1982). D'après NUREIN (1989); DHOUIBI et JARRAYA (1990), les femelles grégaires peuvent déposer au courant de leur vie 5 à 10 oothèques contenant chacune 50 à 80 œufs. L'oviposition se déroule quand l'humidité et la température sont favorables (30 à 50°C) (5 à 15 cm de profondeur) (CHAPMAN et JOERN, 1990) si non la ponte n'aura pas lieu. De GREGORIO (1996) a noté que le bouchon spumeux qui sert à combler le trou de ponte, joue un rôle dans la protection thermique et hydrique de l'oothèque. Il constitue également la voie d'accès vers l'air libre pour les larves qui vont éclore.

1.4.2 L'état larvaire

A l'éclosion, la sortie de la larve est facilitée par une enzyme sécrétée par les pleuropodes de l'embryon, suite à cela vient la première forme larvaire, dite vermiforme ou néonate. Peu de temps, cette larve néonate se débarrasse de sa cuticule post embryonnaire au cours de la mue intermédiaire et devient alors une larve de premier stade (GRASS, 1949).

Selon Duranton et LECOQ (1990), le nombre de stades larvaires est fonction de l'état phasaire de l'insecte. Il est de cinq chez les solitaires et de 5 à 6 chez les grégaires (ANONYME, 1982). Pour De GREGARIO (1996), dans la zone méditerranéenne, la durée de développement larvaire des grégaires oscille entre 28 et 48 jours. Cette durée larvaire dépend de la photopériode (LEBERRE, 1956 et ZITOUNI, 1979 in GHIDAUI, 1990), de la température et de l'humidité (DOUMANDJI et DOUMANDJI-MITICH, 1994). En conditions contrôlées de laboratoire, la durée du développement larvaire est en fonction de la température maintenue à l'intérieur des cages (PARKER, 1930 et Dudley, 1961 in GHIDAUI, 1990).

1.4.3 Etat imaginal

Le développement imaginal commence avec la mue imaginale et donnera des imago immatures, le terme imago correspond à l'insecte ailé, le terme adulte est réservé à l'imago en période de maturité sexuelle (DURANTON et al., 1982; DURANTON et LECOQ, 1990; De GREGARIO, 1996). Après durcissement cuticulaire, l'insecte se consacre à la recherche d'un biotope favorable à son alimentation afin de constituer et accumuler des réserves de corps gras. Mis à point la possibilité d'une quiescence imaginale qui lui permet de lutter contre l'aridité, le criquet utilise les réserves accumulées pour effectuer des déplacements

de longues distances qui lui permettent d'atteindre des biotopes favorables à la reproduction (DURANTON et LECOQ, 1990).

1.4.4 Maturation sexuelle

Cette maturation sexuelle selon Duranton et LECOQ (1990) est en fonction des conditions externes, parmi les quelles l'alimentation joue un rôle important puisque les réserves nutritives servent aussi au développement de l'ovogénèse et de la spermatogénèse d'où atteinte de la maturité sexuelle (PAPILLON-TCHELEBI, 1962 ; LAUNOIS-LUONG, 1975 et LAUNOIS et LECOQ, 1993). Cette maturation est également accélérée par la présence de male mature, par l'excrétion épidermique d'une phéromone sexuelle et ou par la présence des fèces des males matures (LOHER, 1960; NORRIS, 1962 ; CASSIER et DELORME, 1976). suite à cette maturation sexuelle qui est traduite par des parades sexuelles, que les males font entendre en présence des femelles, une poursuite, des battements d'ailes au sol et des vols spéciaux, les premiers accouplements vont se poursuivre pendant toute la période reproductive (DURANTON et LECOQ, 1990).

L'accouplement prolongé selon De GREGORIO (1996) correspond souvent à l'échange de plusieurs spermatophores, la femelle se livre à des activités multiples tels que l'alimentation, la marche, et le vol limité.

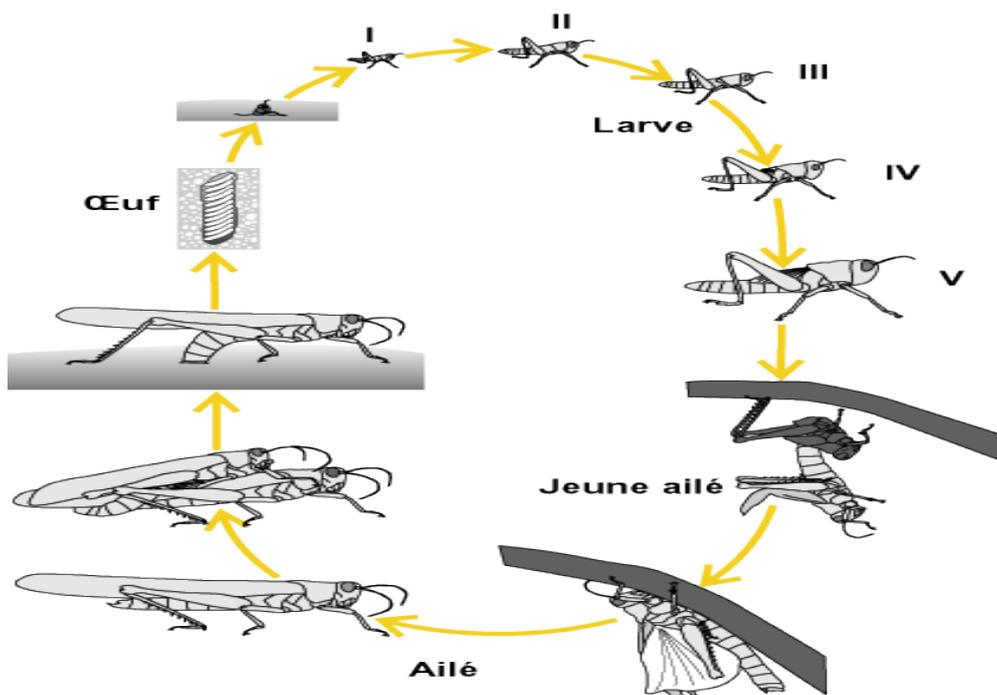


Figure4 : Cycle biologique de *Schistocerca gregaria*(DURANTON et LECOQ ,1990)**1.5L'alimentation chez le criquet pèlerin**

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.

1.6Dégâts 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 (GUENDOUZ-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 (VANHUIS, 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'invasion de 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 millions \$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 avoisinaient les 13 millions d'hectares (VAN HUIS, 1995 ; BENHALIMA, 2006).

1.7 Polymorphisme phasaire

Le polymorphisme phasaire désigne la faculté qu'ont les acridiens d'une même espèce de criquet à présenter des formes variées réversibles (ALBERCHT, 1967). Le phénomène de phases a été constaté et décrit pour la première fois par UVAROV (1929). Entre les deux phases, il existe deux états intermédiaires appelés transiens. Les criquets sont transiens *congrégans* quand ils évoluent vers la phase grégaire et transiens *deggrégans* lorsqu'ils évoluent vers la phase solitaire (Figure 5) (ZOLOTAREVSKY, 1946 in DJEZZAR, 2007).

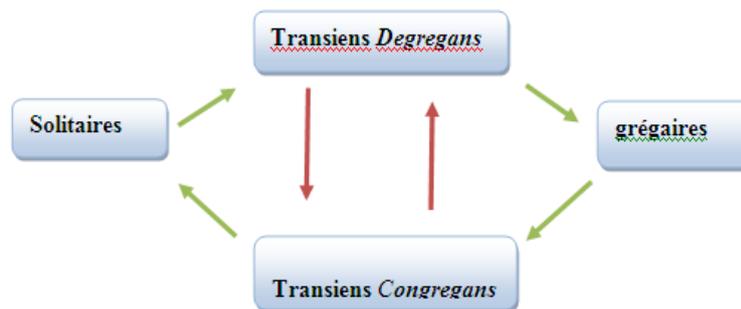


Figure 5: Schéma de polymorphisme phasaire (ALBERCHT, 1967).

Le passage de la phase solitaire à la phase grégaire demande en générale plusieurs générations successives (4 ans minimum) au cours desquelles les conditions favorisant la transformation phasaire se maintiennent. Le passage de la phase grégaire à la phase solitaire est beaucoup plus rapide et s'effectue souvent en l'espace d'une ou de deux

générations (DURANTON et LECOQ, 1990). Le principal facteur déclenchant l'un ou l'autre des deux pôles phasaires et la densité (DURANTON et al., 1982 ; FESCEMYER, 1993).

D'après GIRARDIE (1991) les effets de groupes et les facteurs abiotiques seraient les causes primaires du polymorphisme phasaire des criquets grégaires arisables, parmi ces facteurs abiotiques qui influencent le comportement, la morphologie, et la couleur des imagos et des adultes nous avons l'humidité, la température et la photopériode (Rowell and CANNIS, 19971 ; GILLETT, 1978).

Des individus grégaires ou solitaires peuvent être obtenus à partir d'une même ponte si les larves néonates sont élevées en groupe ou isolement (DURANTON et al., 1982).

1.8 Répartition géographique

Le criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* 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) (STEEEDMAN, 1988). L'aire de rémission couvre environ 16 millions de km² (VAN HUIS, 1995).

L'aire grégarigène inclut la région sub-sahélienne 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)

1.9 Aire de distribution

L'aire de distribution du criquet pèlerin peut être classée en trois catégories principales dont l'aire d'invasion, l'aire de rémission, et l'aire grégarigène :

1.9.1 Aire d'invasion

Elle représente l'aire maximum atteinte par les essaims de criquet pèlerin durant les invasions (Figure 6) (LECOQ, 2004). Elle est limitée à l'ouest par l'océan atlantique, au Nord par la mer méditerranée et la mer caspienne, à l'est par la chaîne himalayenne et le Pakistan oriental, et en fin au Sud par l'océan indien sur la côte Est de l'Afrique (COPR, 1982) ; POPOV et al. (1991) ont mentionné que plus de la moitié de cette aire ne concerne que par l'invasion des essaims errants, les zones de reproduction intéressent environ 13,6 millions de km². En Algérie, durant les périodes d'invasion, les essaims du Criquet pèlerin peuvent envahir tout le territoire national. Ils effectuent au moins deux générations selon les années, une automno-hivernale et l'autre plus fréquemment hiverno-printanière (GUENDOZ_BENRIMA, 2005).

1.9.2 Aire de rémission

L'aire de rémission regroupe l'aire où des populations solitaires ont été signalées durant les périodes de rémission (Figure 6) (LECOQ, 2004). *S. gregaria* se trouve répartie en phase solitaire à des faibles densités sur une ceinture de 16 millions de Km² des régions arides et semi-arides, s'étendant de l'Ouest Atlantique au Nord-est de l'Inde.

1.9.3 Aires grégarigènes

Les aires grégarigènes sont des zones regroupant des foyers grégarigènes (Figure 7). Dans ces aires, des populations de locustes peuvent trouver certaines années de conditions écologiques favorables à une activité acridienne importante conduisant à la grégarisation et la formation des bandes larvaires et des essaims d'ailés. Elles correspondent aux zones à surveiller et contrôler en priorité dans le cadre de la prévention (LECOQ, 2004). Les populations acridiennes se réfugient dans les zones grégarigènes suivantes :

- La frontière Indo-Pakistanaise.
- Le bord de la mer rouge et du golfe d'Aden.
- Les bordures de massifs montagneux.

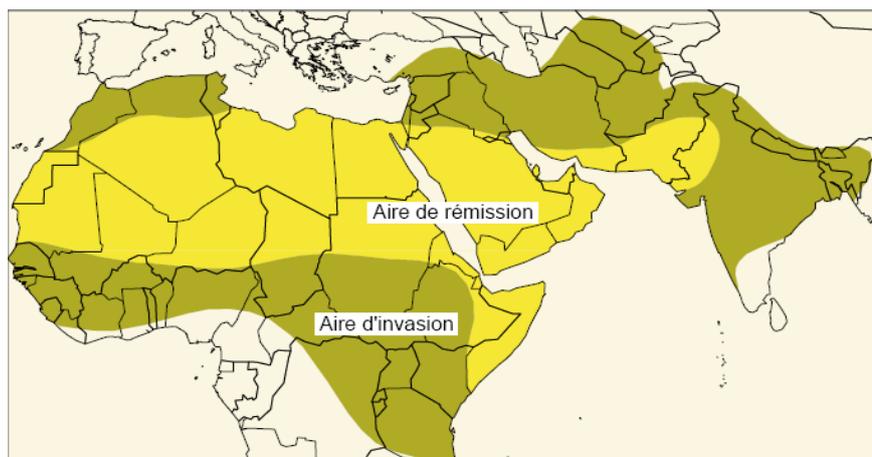


Figure 6 : Aire d'invasion et de rémission du criquet pèlerin (Keita, 2009)

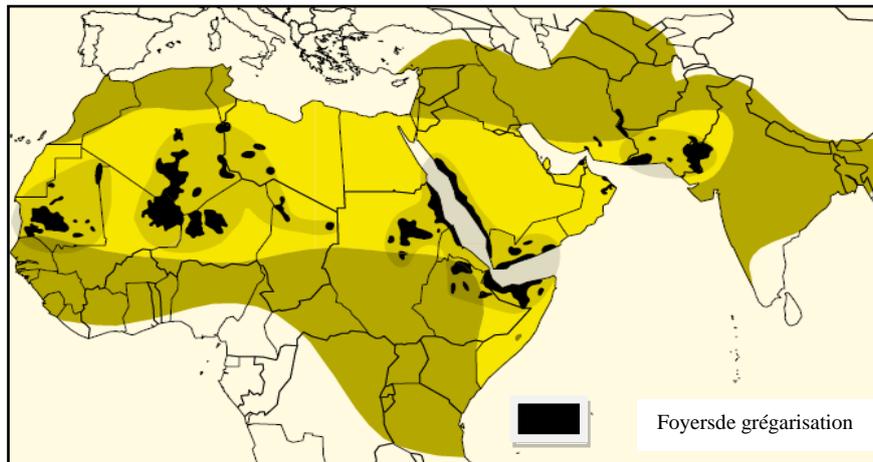


Figure 07 : Foyers de grégarisation du Criquet pèlerin entre 1926 et 1976 d'après (Lecoq, 1999b)

1.10 Le criquet pèlerin en Algérie

1.10.1 Distribution

Au cours des rémissions les populations du criquet pèlerin sont confinées dans la partie centrale, la plus aride de l'aire de distribution, couvrant environ 16 millions de Km² et les aires de reproduction sont quelques peu disjointes (GUENDOOUZ_BENRIMA, 2005).

POPOV (1997) a noté que les différences dans la distribution des populations d'invasion et de rémission sont essentiellement dues aux différences dans leur comportement de vol à la façon marquée dont les criquets solitaires qui ne sont pas dominés par l'impulsion grégaire, répondent aux conditions d'habitats. Ainsi, l'intense grégarité d'individus en essaims conduit fréquemment les essaims à survoler des habitats convenant à des populations non essaimantes, pendant que ces dernières, volant de nuit, sont ainsi soumises à de plus basses températures et de ce fait, ne parviennent pas à gagner les zones atteintes par les essaims. Il en résulte que l'aire d'invasion est presque double de celle de l'aire de rémission.

En période d'invasion, le criquet pèlerin envahit les zones méditerranéennes où il effectue au moins deux générations. Les reproductions, des deux, sont essentiellement observées en zone méditerranéenne jusqu'aux régions côtières. Celles qui sont signalées dans le Sahara sont erratiques. Le pic des larves est atteint au mois de mai (Popov, 1997 ; GUENDOOUZ-BENRIMA, 2005). Ces reproductions font courir des risques considérables à l'agriculture du pays.

En période de rémission, Popov (1997) a divisé la région du sud algérien en deux parties selon le 2^{ième} parallèle Nord, avec une reproduction intervenant le plus souvent en été au sud de celui-ci et au printemps le plus souvent au nord. Il s'agit là d'unes lieux de plus haute fréquence de reproduction durant cette période.

En effet, selon les données de la FAO-COPR cités par GUENDOOUZ-BENRIMA en 2005, les individus du criquet pèlerin à l'état solitaire (ou faiblement *transiens*) se répartissent essentiellement dans la zone désertique. Deux reproductions sont possibles : une printanière au Sahara central et qui est plus abondante et une deuxième automnale au Sahara méridional. Cependant, les remontées de populations vers la zone septentrionale sont essentiellement dues à la présence d'individus transiens, considérés comme non grégaires par la FAO. De ce fait, nous pouvons rajouter que l'Algérie est cœur d'un ensemble de régions étroitement interdépendante des activités dans les pays voisins de l'Afrique occidentale d'où la nécessité d'une stratégie de surveillance et de lutte efficace.

1.10.2 Historique

Le problème du criquet pèlerin en Algérie est très ancien. A la fin du 19^{ème} siècle, K. d'Herculais dans ces travaux en parlait souvent. Les informations qui suivent sont établies dans le but de dresser un historique des manifestations du criquet pèlerin et les mesures prises pour les combattre GUENDOOUZ-BENRIMA(2005)

L'historique du problème acridien en Algérie est fondé sur les travaux de recherches de GUENDOOUZ-BENRIMA(2005) effectués sur lestravaux de K . D'HERCULAIS (1905), CHARA(1998), ROY(2001) ainsi que les informations données par BEN HALIMA, secrétaire général de la CLCPRO(FAO) et par Mr MOUMEN , ex_chef de département de la lutte anti_acridienne de l'INPV d'El_Harrach.

1.11 La lutte antiacridienne

Quatre méthodes de lutte peuvent être préconisées contre le criquet pèlerin :

1.11.1 Lutte préventive

Son objectif est de prévenir tout départ d'invasion car une fois déclenchée, elle serait très difficile à l'arrêter, même avec des opérations intensives de lutte curative (DURANTON ET LECOQ, 1990).

La stratégie de lutte préventive contre le criquet pèlerin comporte trois étapes essentielles :

- La surveillance des conditions écologiques dans les aires potentielles de reproduction et de grégarisation (données météorologiques, imagerie satellitaire)
- L'organisation de prospections, aériennes et terrestres, dans les aires devenues potentiellement favorables à la suite de précipitations abondantes.
- La lutte contre toutes les populations de criquet pèlerin dépassant un certain seuil, principalement dans les biotopes réputés constituer des foyers grégarigènes (DURANTON et LE COQ, 1990)

1.11.2 Lutte écologique

Elle consiste à modifier l'environnement aux désavantages de l'acridien. Parmi les méthodes utilisées, se retrouvent :

- L'inondation temporaire de certains sites de reproduction.
- Le labourage des clairières.
- La reforestation des clairières.
- Les semis des plantes répulsives.
- La suppression des jachères.

L'inconvénient de cette forme de lutte réside dans la difficulté de son application sur de vastes surfaces (DURANTON et *al.*, 1987).

1.11.3 Lutte chimique

Les pesticides chimiques sont largement utilisés pour lutter contre les invasions et les pullulations acridiennes. En effet, la lutte chimique fait appel à un arsenal très diversifié aussi bien par :

- Sa nature : organochloré, organophosphoré, carbamates, pyréthrinoides, dé régulateurs de croissance.
- Sa présentation : poudre, gaz, suspension huileuse.
- Que par les moyens d'épandage : manuels, motorisés terrestres ou aériens (RACHADI, 1991 ; MOUMEN, 1995).

La plupart des pesticides modernes de substitution sont beaucoup moins toxiques et sont pour cela appliqués plus fréquemment dans les traitements de couverture.

De ce fait la majorité de pesticides utilisés durant la campagne de lutte antiacridienne 2003\2005 appartiennent à la liste des produits recommandés par le groupe consultatif sur les pesticides de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), dont les plus utilisés sont : le chlorpyrifos, le malathion, le fénéthion, et la

deltaméthrine. Ce dernier est jugé performant en terme d'effet de choc et de la vitesse de dégradation (BRADER et *al.*, 2006).

1.11.4 Lutte biologique

L'académie nationale des Sciences des Etats-Unis a adopté en 1987 la définition de la lutte biologique comme étant toute utilisation d'organismes naturels ou modifiés génétiquement dans une lutte biologique, en vue de réduire les effets d'organismes indésirables, comme les plantes cultivées, les arbres, les animaux, les insectes et les microorganismes néfastes.

Plusieurs méthodes de lutte biologique sont utilisées, nous citons essentiellement celles utilisées dans la lutte contre les acridiens nuisibles en général et *Schistocerca gregaria* en particulier. Le projet de lutte biologique contre les Locustes et les sautereaux a débuté en 1989 pour répondre aux préoccupations des régions arides et semi-arides (REGNAULT-ROGER et *al.*, 2002).

1.11.4.1 Lutte par utilisation des extraits végétaux ou de molécules allélochimiques

La lutte à base d'extraits de plantes ou d'huiles essentielles de plantes présente plusieurs propriétés qui devraient leur permettre de s'inscrire dans des stratégies alternatives à l'emploi des pesticides de synthèse et dans tout un programme de lutte intégrée. Les plantes aromatiques méditerranéennes synthétisent des terpènes et des polyphénols toxiques pour un large éventail d'insectes. Leur potentiel phytosanitaire a été souligné :

Certaines feuilles de plantes sont riches en phytoecdystéroïdes structurellement analogues aux hormones de mues des insectes (MARION et *al.*, 2002). Actuellement, les huiles essentielles dans le domaine phytosanitaire se sont développées notamment au Nord américain. L'activité biologique s'exerce à plusieurs niveaux et limite le renouvellement des générations. Ainsi, il a été constaté que certaines huiles essentielles des végétaux à effet insecticide inhibent le cycle de reproduction chez les insectes. Il existe une variabilité dans l'efficacité des huiles essentielles et de ses constituants allélochimiques qui est fonction non seulement du profil phytochimique de l'extrait végétal mais aussi de l'espèce entomologique considérée (REGNAULT-ROGER, 2002).

1.11.4.2 Lutte par utilisation d'entomophages

Il s'agit d'une lutte par l'utilisation d'organismes antagonistes du ravageur, qui peut être un animal (oiseau, poisson, insecte) et dans la plupart des cas, c'est un insecte (REGNAULT-

ROGER et *al.*, 2005). Dans les conditions naturelles, les acridiens sont des hôtes pour les parasites ou de prédateurs à chacun de leur état de développement : embryon, larve, ailé.

1.11.4.3 Lutte microbiologique

Les microorganismes entomopathogènes sont les principaux acteurs dans cette lutte. Les principaux agents microbiens utilisés sont les bactéries, les champignons et les virus ou les protozoaires. Ils infectent l'hôte en général par ingestion et possèdent une forme de résistance leur permettant de persister et de se conserver dans le milieu (sol, feuillage, litière). L'agent pathogène se multiplie dans l'hôte et cause la mort par destruction de tissu ou par septicémie, et parfois par l'émission d'une substance toxique (LIN et *al.*, 2003).

Parmi ces microorganismes, 800 espèces appartenant à tous les groupes majeurs de champignons ont été reconnues comme pathogènes d'insectes ou d'acridiens. Ils se distinguent des autres agents de la lutte microbiologique (virus, bactéries ou protozoaires) par leur mode d'infection transcutanée ne nécessitant pas l'ingestion des propagules infectieuses. A ce titre, ils sont particulièrement bien adaptés pour lutter contre les insectes (LACEY et GOETTEL, 1995). Parmi les espèces les plus remarquables on peut citer *Entomophora grulli*, pathogène du criquet et des sautereaux. Les hyphomycètes, (Deuteromycètes) comprenant des espèces très cosmopolites appartenant aux genres *Beauveria*, *Metarhizium* qui sont inféodés à des hôtes acridiens. Ils apparaissent très fréquents dans les zones humides et dans les zones sèches en cultures irriguées (FERRON et *al.*, 1991; FARGUS, 2003).

1.12 Aperçu sur deux champignons entomopathogènes acridicides

1.12.1 *Beauveria bassiana*

1.12.1.1 Historique

La souche de *Beauveria bassiana* a été signalée la première fois par BASSI sur les larves du ver à soie *Bombyx mori* et la description de cette espèce a été faite en 1853 par BALSAMO, qui a nommé ce champignon *Botrytis bassiana*. La première appellation *Beauveria bassiana* a été donnée par VUILLEMIN en 1912 (MOREAU, 1952).

En Algérie, ce champignon a été isolé la première fois à partir d'un criquet pèlerin capturé au niveau d'un pivot à la station de Zaouiet Kounta dans la région d'Adrar. L'isolement a été réalisé au niveau du département de Botanique de l'Institut National Agronomique d'Alger (DOUMANDJI - MITICHE et *al.*, 1997a in CHAOUICHE, 2009).

1.12.1.2 Position systématique

Beauveria bassiana est un hyphomycète qui présente d'après ALEXOPOULOS et *al.*, 1996 la classification suivante :

- **Sous embranchement:** *Deuteromycotina*
- **Sous classe :** *Deutéromycètes*
- **Ordre:** *Moniliales*
- **Famille:** *Moniliaceae*
- **Genre :** *Beauveria*
- **Espèce:** *B. bassiana*

1.12.1.3 Aspect cultural et Morphologique

Le champignon *B. bassiana* est une espèce fréquemment retrouvée dans les sols du monde entier. Cette espèce produit des colonies cotonneuses de couleur blanchâtre à jaunâtre (Figure 8a). Il forme des hyphes transparents et septaux de 3,5 μ de diamètre. Le genre est caractérisé par un conidiophore à base renflée et à extrémité terminale en zigzag formant de façon sympodiale de petites spores unicellulaires. Le conidiophore continue à croître après avoir donné naissance aux spores et chaque spore laisse une cicatrice en relief (aspect denticulé)(Figure 8b) Les bouquets de conidiospores donnent un aspect en "faussetête". On distingue deux types de spores selon la présence ou l'absence d'oxygène: les conidiospores formées en présence d'air et les blastospores en condition d'anaérobiose. Les conidiospores prennent une forme sphérique ou ovale tandis que les blastospores sont uniquement ovales. Les deux types de spores peuvent avoir le même effet pathogène sur les insectes infectés (WEISER, 1972 et LIPA, 1975).

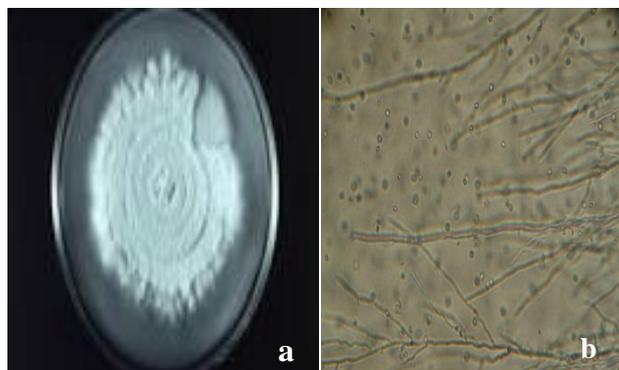


Figure 8 : Aspect cultural (a) (CHAOUCHÉ, 2009) et morphologique (GX125) de *Beauveria bassiana*.

1.12.1.4 Symptomatologie

Les symptômes d'un criquet atteint par *Beauveria* ont été décrites par NOURZHANOV *et al.* (1987) in LATCHININSKY et LAUNOIS-LUONG (1992). L'insecte s'alimente peu, perd le contrôle de ses mouvements, ses pattes sont agitées de tremblement puis une paralysie générale survient. Une teinte cramoisie se surimpose à la coloration générale du corps. Le criquet meurt intoxiqué par des toxines produites par les blastospores qui se sont multipliées dans l'hémocoel. La tête, le pronotum et l'extrémité abdominale se couvrent d'un mycélium de couleur blanchâtre et d'aspect velouté.

1.11.1.5 Utilisation de *B. bassiana* contre les ravageurs

Contrairement aux insecticides chimiques qui tuent rapidement les insectes, la plupart des mycètes entomopathogènes, mettent quelques jours avant de tuer leur hôte. Selon LIU *et al.* (2003b), une période minimum d'incubation de six jours après un traitement fongique est nécessaire afin d'évaluer l'efficacité de *B. bassiana* sur l'insecte hôte. Plusieurs études ont montré que *B. bassiana* peut infecter une grande variété d'insectes (GOETTEL, 1992). Chez l'ordre des lépidoptères, la virulence de 23 isolats de *B. bassiana* a été testée au laboratoire contre les larves du troisième stade de la tordeuse à bandes obliques, *Choristoneura rosaeana* (*Tortricidae*) (TODOROVA *et al.*, 2002a). Tous les isolats ont causé plus de 66 % de mortalité des larves et des pupes après 16 jours. Une réduction du comportement d'alimentation a été observée 3 jours après l'inoculation des larves du deuxième stade de la pyrale de maïs *Chilo partellus* (*Pyralidae*) par *B. bassiana* (TADELA et PRINGLE, 2003). Cette réduction a été attribuée à la production de substances toxiques par les mycètes et/ou la rupture mécanique de l'intégrité structurale de l'insecte par la croissance des hyphes. Des travaux effectués sur des espèces de l'ordre des coléoptères ont démontré que *B. bassiana* peut entraîner une mortalité élevée contre la coccinelle maculée, *Coleomegilla maculata* (*Coccinellidae*) (TODOROVA *et al.*, 1996 ; TODOROVA *et al.*, 2002b). Également, l'utilisation de certains isolats de *B. bassiana* contre le scarabée argentin, *Cyclocephala signatellus* (*Scarabaeidae*), peut provoquer une mortalité de 70 % de larves du troisième stade après 16 jours (CORNIA et BEATRIZ, 2004). D'autre part, TODOROVA *et al.*, (1994) ont observé, au laboratoire, l'effet pathogène de certains isolats de *B. bassiana* contre la doryphore de la pomme de terre (*Leptinotarsa decemlineata*) (*Chrysomelidae*). Chez les homoptères, l'effet pathogène de *B. bassiana* a été évalué au champ contre le puceron russe du blé *Diuraphis noxia* (*Aphidae*) (HATTING *et al.*, 2004). Ces chercheurs ont

démontré que les applications de ce mycète, à une concentration de 5×10^{13} conidies/ha, ont provoqué une mortalité d'insectes de 75 % par rapport au témoin.

Beauveria est reconnue aussi par son activité biocide sur les criquets. Dans les régions tempérées, il existe des souches efficaces infectant ces derniers. La plupart de ces champignons ne provoquent pas de symptômes visibles avant la mort. Les criquets atteints perdent l'appétit et deviennent de moins en moins actifs et leur couleur devient parfois rougeâtre (GREATHEAD *et al.*, 1994).

1.12.2 *Metarhizium*

1.12.2.1 Historique

D'après AMOURIQ (1973), le genre *Metarhizium* est le premier champignon entomopathogène utilisé par METCHNIKOFF en 1879 in CHAOUICHE (2009), contre les insectes nuisibles à l'agriculture.

1.12.2.2 Position systématique

Metarhizium anisopliae est un champignon imparfait qui présente d'après GREATHEAD *et al.* (1994) la classification suivante :

- **Sous embranchement:** *Deuteromycotina*
- **Sous classe:** *Deutéromycètes*
- **Ordre:** *Moniliales*
- **Famille:** *Moniliaceae*
- **Série :** *Sympodulosporae*
- **Genre:** *Metarhizium*
- **Espèce:** *M. anisopliae*

1.12.2.3 Morphologie

D'après ZIMMERMAN (1993), *Metarhizium anisopliae* peut être aisément identifié par les conidies cylindriques à allongées vertes de longueur variant de 5 à 8 μm (Figure 9b), qui sont produites en chaînes et qui forment une couche compacte de spores. Ses colonies sont subaériennes de couleur vert-olive (Figure 9a) (AMOURIQ, 1973).

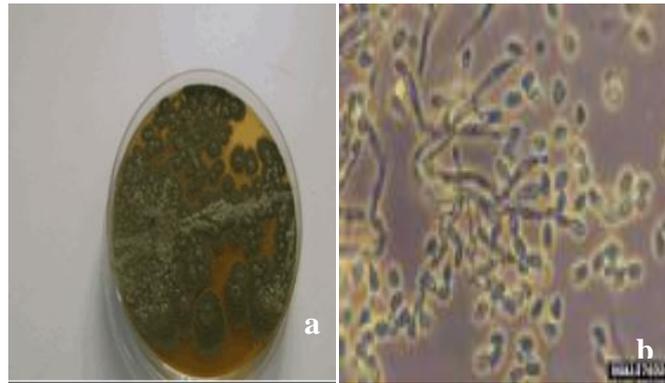


Figure 9 : Aspect cultural (a) et morphologique (b) (Gx125) de *Metarhizium anisopliae* (KARA-TOUMI, 2010)

1.12.3 le Green Muscle

1.12.3.1 Historique

Le *Metarhizium* est un genre du groupe des champignons anamorphes, autrefois appelés Imperfecti Fungi 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 déduire 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 de L'ARN ribosomale (ARNr) 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).

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*, *Locustamigratoria*, *Locustana pardalina*, *Nomadacris septemfasciata*, *Oedaleus senegalensis* et d'autres espèces du complexe des criquets sahéliens (KOOYMAN, 2007).

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).

1.12.3.2 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 (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 d'olive. 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).

1.12.3.3 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 DERVALK, 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 qui est concentrée à $2,5 \times 10^{13}$ 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).

1.12.4 Mode d'action des entomopathogènes

Les champignons 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) Le champignon *B. bassiana* infecte l'insecte par contact et n'a pas besoin d'être ingéré par son hôte pour causer l'infection. En général, le processus d'infection des champignons entomopathogènes est divisé en quatre phases distinctes soit les phases d'adhésion, de germination, de différenciation et de pénétration.

1.12.4.1 Phase d'adhésion

Elle constitue la première étape du processus d'infection. Elle se déclenche par un mécanisme de reconnaissance et de compatibilité des conidies avec le tégument de l'insecte (BOUCIAS et PENDLAND, 1991).

1.12.4.2 Phase de germination

Elle dépend des conditions environnementales et également de la physiologie de l'hôte (composition biochimique de la cuticule) qui peut favoriser ou inhiber la germination (FERRON *et al.*, 1991). Il a été démontré que la germination des spores était affectée par des lipides épicuticulaires et les acides gras (BOUCIAS et PENDLAND, 1991)

1.12.4.3 Phase de différenciation

C'est une phase importante dans le processus d'infection. Au cours de laquelle, la spore germée produit une structure appressoriale, qui sert de point d'ancrage et de ramollissement de la cuticule ce qui a pour effet de favoriser la pénétration de la spore (MAGALHAES et al., 1989).

1.12.4 Phase de pénétration

Elle consiste à la pénétration du champignon dans l'hôte à travers les orifices naturels, la cuticule ou par ingestion. (ANDERSEN, 1979). Lorsque l'insecte meurt, *B. bassiana* sécrète un antibiotique, l'oosporine, qui lui permet de surmonter la compétition des bactéries intestinales. Il s'ensuit une momification du cadavre transformé en sclérote, phase nommée saprophyte. Le développement des hyphes de *Metarhizium* 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. Du mycelium pousse ensuite dans les tissus, lors de ce processus la cuticule rougit ce qui est dû à la production de l'oosporine par le champignon. Après la mort de l'insecte, le mycélium blanchâtre commence par sortir des articulations. Au bout d'un certain temps, le champignon fructifie et le cadavre devient vert. 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).

1.12.5 Facteurs affectant l'efficacité des deux champignons entomopathogènes

Le potentiel infectieux des champignons entomopathogènes comme agents de lutte biologique dépend de leurs propriétés physiologiques, de la population de l'hôte et des conditions du milieu (FERRON et al., 1991).

1.12.5.1 Facteurs liés aux pathogènes

La virulence et la spécificité de l'hôte sont deux éléments essentiels dans le choix d'un bon candidat à la lutte biologique. Il a été démontré que les insectes d'une même population révèlent une sensibilité qui diffère selon les isolats de *B. bassiana*, et de *Metarhizium anisopliae* (FERRON et al., 1991, TODOROVA et al., 1994).

1.12.5.2 Facteurs dépendant de l'hôte

Il est maintenant reconnu que tous les stades de développement de l'insecte, de l'œuf jusqu'à l'adulte, peuvent être sensibles à l'infection fongique. L'épizootie (épidémie) fongique survient généralement à de fortes densités de la population hôte favorisant ainsi la probabilité de contact entre le pathogène et l'hôte, de même qu'entre les insectes infectés et non infectés (FERRONet *al.*, 1991).

1.12.5.3 Facteurs de l'environnement

L'efficacité du *B. bassiana* et de *Metarhizium anisopliae* contre les insectes est souvent influencée par les conditions environnementales. Les radiations ultraviolettes sont le principal facteur abiotique limitant la viabilité des conidies sur le feuillage. L'exposition aux rayons ultraviolets peut influencer de manière significative la mortalité des larves d'*Ostrinia nubilalis* (ravageur de maïs) par des isolats de *B. bassiana* en interférant avec leurs propriétés physiologiques (CAGANI et SVERCEL, 2001). La lumière du soleil d'une longueur d'onde de 290 à 400 nm affecte la persistance des conidies sur le feuillage et peut directement affecter la composition génétique du champignon (MCCOY et *al.*, 1990). Malgré son effet nocif sur la persistance des conidies, la lumière peut stimuler certaines étapes du cycle évolutif des champignons entomopathogènes cultivés *in vitro* ou *in vivo* (SILVY et RIBA, 1989).

La température est un autre facteur important qui peut affecter le taux de germination, la croissance, la sporulation et la survie des hyphomycètes entomopathogènes (HASTUTI et *al.*, 1999) ont démontré que 100 % des larves de *Paropsis charybdis* (Coleoptera: Chrysomelidae) sont tuées par *B. bassiana* après une incubation de 21 jours à 35°C. Généralement, les températures au-dessus de 35°C empêchent la croissance et le développement des mycètes entomopathogènes. Les conidies de *B. bassiana* ne peuvent pas survivre plus que 15 minutes à 40°C (MCCOY et *al.*, 1990). L'humidité affecte aussi la persistance et la survie des champignons entomopathogènes. La plupart de ces mycètes exigent au moins 95 % de l'humidité relative à la surface de l'insecte afin de germer (HALLSWORTH et MAGAN, 1999, LIU et *al.*, 2003b).

1.12.5.4 Facteurs du sol

Le sol constitue un réservoir naturel pour les insectes infectés par des mycètes fongiques sur le feuillage qui plus tard tombent sur le sol (KELLER et ZIMMERMANN, 1989). En effet, les mycètes dans le sol sont protégés contre la dessiccation, le rayonnement ultraviolet et les

températures extrêmes (MCCOY et *al.*, 1990). En général, la simple présence de la microflore dans le sol peut influencer l'efficacité des hyphomycètes (GRODEN et LOCKWOOD, 1991).

1.12.6 Conservation des deux entomopathogènes

Selon SWEARINGER (1993), la conservation des spores de *B. bassiana* et *M. anisopliae* est faite en formulation à base de poudre d'argile avec de l'eau. D'après LOMER et PRIOR, (1991), la conservation de ces champignons est meilleure en formulation huileuse car elle évite la nécessité traditionnelle de maintenir une humidité élevée pour le champignon.

1.13 Généralités sur les *Trichoderma*

1.13.1 Introduction

Le genre *Trichoderma* est très répandu dans la nature, aussi bien en milieu terrestre que marin. Il possède une grande capacité d'adaptation aux différentes conditions climatiques (ROQUEBERT, 1996 ; ESPOSITO et SILVA, 1998). En effet, *Trichoderma* spp. se développent dans tous les sols (forestiers et cultivés) et sur les végétaux en décomposition, mais sont rarement parasites de plantes vivantes (ROQUEBERT, 1996, ESPOSITO et SILVA, 1998). Tous ces critères leur confèrent une place importante dans le maillon des chaînes biologiques (WIDDEN et ABITROL, 1980 ; VINING, 1990 ; KUBICEK et *al.*, 2002). D'ailleurs en milieu terrestre, leur production d'enzymes, de substances bioactives et leur développement rapide font d'eux des agents potentiels en agroalimentaire et une matière de choix pour l'exploitation industrielle (PRIETO et *al.*, 1997).

1.13.2 Taxonomie

Les *Trichoderma* peuvent se présenter sous deux formes :

-**La forme parfaite** : connu par le genre *Hypocrea* de la classe des *Deuteromycètes* et appartenant à l'ordre des *Sphéariales* et la famille des *Hypocréacées* (ROQUEBERT, 1996).

-**La forme imparfaite** : représenté par le genre *Trichoderma* appartenant à la classe des *Ascomycètes*, l'ordre des *Hyphales* et la famille des *Mucédinacées* (ROQUEBERT, 1996).

En revanche, la biologie moléculaire a révélé que des espèces de *Trichoderma* génétiquement différents, présentent des similitudes morphologiques et leurs caractéristiques se chevauchent

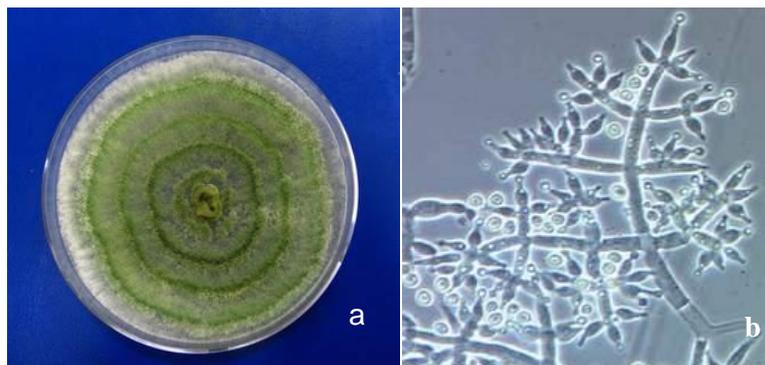
, ce qui explique que les seules critères morphologiques ne suffisent plus une classification incontestable des formes anamorphes de *Trichoderma* spp. (COURNUT, 1984 ; SUIGIYAMA, 1987 ; GAMS et BISSETT, 1998 ; SAMUELS et al., 1994). Ainsi, selon BISSETT (1984), la taxonomie actuelle classe les *Trichoderma* spp. Comme suit :

- **Embranchement** : *Amastigomycota* et /ou Eumycètes
- **Sous-embranchement** : *Ascomycota*
- **Classe** : *Sordariomycètes*
- **Sous-classe** : *Sordariomycetidae*
- **Ordre** : *Hypocreales*
- **Famille** : *Hypocreaceae*
- **Genre** : *Trichoderma*

1.13.3 Caractérisation culturelle et morphologique

les cultures de *Trichoderma* spp. sont d'aspect floconneux, compactées en touffes. Elles sont colorées en fonction de la pigmentation des phialides et sont caractérisées par une croissance rapide (Figure 10a). Au microscope optique, le mycélium est composé d'hyphes jaunes, septés, ramifiés à parois lises. Les conidiophores ont une forme conique ou pyramidale. Très ramifiés, ils portent des phialides en forme de flasque ou de quille qui à leur tour, portent les phialospores ou les conidies (fig 10b). (COURNUT, 1984, LANDREAU, 2001, KUBICEK et al., 2002).

Les conidies sont vertes, globuleuses et lisses de dimensions 2,8- 3,2 x 2,5-2,8 µm pour *T.harzianum*, par contre, globuleuses et granuleuses de dimensions 3,5-4,5 x 2,5-3,2 µm pour *T.viride* (BOTTON et al., 1985). Les structures de résistance sont représentées par les chlamydospores globuleuses, hyalines, atteignant 14 µm de diamètre pour *T.viride* et 6 à 12 µm pour *T.harzianum* (BOTTON et al., 1985).



a : Culture sur PDA , b : Phialides et conidies

Figure 10: Aspect cultural (a) et Morphologique (b) de *Trichoderma harzianum* (BOTTON et al., 1985).

1.13.4 Pouvoir antagoniste

Les propriétés antagonistes des *Trichoderma* spp. sont connues depuis longtemps, puisque la première publication qui en fait mention date de 1887 néanmoins, l'étude approfondie du phénomène d'antagonisme de son application comme moyen de lutte à l'égard des agents phytopathogènes n'a débuté qu'entre les deux guerres mondiales (CARON et al., 2002).

Les modèles étudiés s'intéressaient essentiellement aux parasites du sol, mais déjà, en 1952, WOOD signalait l'efficacité de *Trichoderma* spp. pour contrôler *Botrytis cinerea* sur la laitue. Cette antagoniste a la capacité d'attaquer les agents pathogènes à travers différents modes d'action. Il peut agir par :

- Antibiose qui résulte de la production de substances agissant comme des antibiotiques inhibant la croissance de l'agent phytopathogène.
- Compétition qui se manifeste par leur aptitude à les mêmes ressources du milieu (aires d'alimentation, sites de développement) que les champignons pathogènes.
- Parasitisme qui se manifeste par la destruction de l'agent pathogène en s'enroulant autour de celui-ci, soit en l'étranglant, en pénétrant à l'intérieur et/ou en lui injectant des enzymes qui le détruisent.

D'après CARON et al. 2002, les *Trichoderma* possèdent plusieurs mécanismes d'attaque qui demeurent complexes. Ils peuvent employer un ou plusieurs modes d'action en même temps pour maîtriser un agent pathogène. Le déploiement des modes d'action varie également selon les partenaires en présence, et les conditions physico-chimiques du milieu. Ce genre est efficace lorsqu'on lui permet de s'installer avant l'arrivée des agents phytopathogènes.

Son action est donc préventive. Il permet au niveau des racines de créer un manchon protecteur autour de celles-ci et ainsi contrer l'entrée des agents pathogènes à l'intérieur des racines.

Une fois installés, les *Trichoderma* peuvent avoir un effet stimulant pour la plante en absence de champignons pathogènes, alors qu'en présence de ce dernier, ils deviennent inhibiteurs de croissance mycélienne, en diminuant sensiblement l'incidence de la maladie par sa pulvérisation sur la partie aérienne. A ce moment, son action est curative (CARON et al ; 2002).

D'après BESSELAT (1985) et LANUSSE et al (1983), les *Trichoderma* sont antagonistes de nombreuses phytopathogènes comme *Alternaria spp* ; *Armellaria mella*, *Athelia rolfsi*, *Colletotrichum lini*, *Fusarium oxysporum*, *Gaeumannomyces graminis*, *Helminthosporium sp*, *Macrophomina phaseolus*, *Pythium sp*, *Rhizoctonia solani*, *Verticillium albo-atrum* et *Verticillium dahliae*

DOMSCH (1993) a révélé leur hyper parasitisme sur les sclérotés de *Sclerotinia sclerotiorum*, *Sclerotium cepivorum*, *Sclerotinia trifoliorum*, *Sclerotinia borealis*, *Claviceps purpurea*, *Rhizoctonia solani* . Il a affirmé qu'elles sont également des mycoparasites d'*Actinomucor elegant*, *Armellaria mellea*, *Athelia rolfsii*, *Cachliobolus sativus*, *Circinella muscae*, *Fusarium oxysporum*, *Gaeumannomyces graminis*, *Leentinus edodes*, *Mucor plumbeus*, *M.hiemalis*, *Phaeolus schweinitzii*, *Phytophthora parasitica*, *Phytophthora citrophthora*, *Phthium sp*, *Phycomyces nitens*, *Rhizopus oryzae*, *Rhizoctonia solani*, *Zygorrhynchus moelleri* et *Syncephalastrum ramosus*.

1.13.5 Intérêts de l'utilisation des *Trichoderma spp.* dans l'agriculture biologique

Ce champignon a la capacité d'augmenter le taux de croissance de la plante et son développement (BESNARD et DAVET, 1993 ; ALTOMARE et al., 1999 in HAMDI, 2013)

C'est aussi un excellent agent de bio-contrôle (LEPOIVRE et SEMAL, 1988) qui produit des métabolites secondaires chez les mycètes, dans le rôle est de :

- Retarder la germination des spores .
- Protéger les spores en dormance contre des amibes
- Eliminer dans l'environnement les microorganismes concurrents de la germination (DEMAIN et FANG, 2000).

En effet, la mise en évidence de la production des métabolites secondaires par les *Trichoderma spp.* concernant un antifongique a été rapporté pour la première fois par Weidling (1934), puis Papavizas, (1985).

Sandgren et al, (2005), ont identifié les métabolites des *Trichoderma spp.* comme des enzymes et des molécules bioactives. La production des xylanases et cellulases est variable d'une souche à l'autre (KUBICEK et al., 2002). Ainsi que les substances bio-actives tels que les métabolites volatils (VIZSCAINO et al, 2005). Les métabolites non volatils diffusibles (BLUMENTHAL, 2004). Les métabolites polypeptidiques les ciclosporines et les peptaiboles (LANDREAU, 2001).

D'après RIDOUT et *al.* (1986), l'activité enzymatique induite par les *Trichoderma* spp. a aussi un effet sur les protéines des cellules parois des agents phytopathogènes, tels que *Rhizoctonia solani*.

En Tunisie, des études ont été menées sur l'effet des substances volatiles de *T.harizianum* qui inhibent le développement mycélien de *Fusarium oxysporum f.sp. radidis lycopersici* sur les plantes de tomate (BENHAMOU et CHET, 1997 ; HIBAR et *al.*, 2005).

En Algérie, une étude récente portant sur le développement et l'extraction des métabolites secondaires de *Trichoderma viride* algérien et leur effets biologiques actifs a permis de lister ces métabolites et leur effet (MOUSSAOUI, 2010).

Ainsi, il existe aujourd'hui quelques souches de *Trichoderma* inscrites en tant que fongicides et des préparations correspondantes commercialisées en tant que préparations bio-fongicides pour lutter contre les maladies des plantes telles que causées par *Rhizoctonia solani* kuhn. Ou *Phytium ultimum* Trow, alors que d'autres sont commercialisées en tant que fertilisants ou agents de croissance et germination, en absence de phytopathogène (LYNCH et *al.*, 1991a ; 1991b).

Il est établi donc que ce genre est un agent de lutte biologique contre un large spectre de phytopathogènes, par le biais de son mycoparasitisme, son antibiose ou les deux en même temps (LEPOIVRE, 2003).

D'autres études ont été menées au Maghreb pour démontrer l'effet inhibiteur tant *in vitro* qu'*in vivo* des *Trichoderma* spp. sur des agents pathogènes redoutables tels que les *Fusarium*, les *pythium* sur tomate, sur blé et sur fève (BENHAMOU et CHET, 1997 ; YEDIDIA et *al.*, 1999 ; HIBAR et *al.*, 2005).

En Algérie, des travaux récents portant sur le bio-contrôle de certains phytopathogènes par l'utilisation des *Trichoderma* spp. Algériens ont été menés, sur le mildiou de la pomme de terre, confirmant l'effet antagoniste ou bio-fongicide des isolats Algériens antagonistes des *Trichoderma* spp. vis à vis des isolats de *Phytophthora infestans* (HASNI, 2012 ; BENCHEIKH, 2012 ; ZANOUNE, 2012). Ainsi que l'activité antagoniste de trois espèces de *Trichoderma*, à savoir *T.harizianum*, *T.viride* et *T.longibrachaitum* vis-à-vis de *Botrytis fabae* et *Botrytis cinerea* sur fève (BENDAHMANE et *al.*, 2012).

2. Matériel et méthodes

2.1 Introduction

Ce présent travail a porté sur l'évaluation du pouvoir acridicide de quatre champignons dont trois entomopathogènes : *Beauveria* sp., *Metarhizium* sp. et le 'Green muscle' et un antagoniste du genre *Trichoderma* sp. ont été appliqués sur les larves du cinquième stade (L5) de *Schistocerca gregaria* provenant d'un élevage permanent maintenu au niveau de la salle d'élevage du département de lutte antiacridienne de l'institut National de la protection des végétaux (INPV) d'El Harrach, selon deux modes par ingestion et par contact. Notre étude a été basée sur l'effet des traitements à base de champignons suscités sur :

- Le comportement et la mortalité des larves L5,
- La morphologie des larves traitées et témoins,
- L'hémolymphe et l'histologie du mesenteron du Tube digestif des L5.

Notre expérimentation s'est déroulée au niveau de trois laboratoires différents :

- Le laboratoire de mycologie de la station régionale de l'INPV de Boufarik wilaya de Blida où ont été réalisés tous les travaux concernant les champignons testés,
- Le laboratoire de cytologie au niveau de centre Hospitalo-Universitaire de Hussein Dey wilaya d'Alger où ont été effectuées les coupes histologiques du tube digestif des larves L5 du criquet pèlerin,
- Le laboratoire de Lutte anti-acridienne (LAA) de l'INPV d'El Harrach où ont été réalisés les bio-essais du pouvoir antiacridien des champignons étudiés.

Ce travail a nécessité l'utilisation d'un matériel biologique en adoptant une méthodologie rigoureuse comportant plusieurs étapes.

2.2 Matériel biologique

Le matériel biologique est représenté par le criquet pèlerin et les champignons étudiés.

2.2.1 Le criquet pèlerin

L'étude a été menée sur les larves de cinquième stade (L5) d'une espèce acridienne *schistocerca gregaria* (FORSKAL, 1775). Les individus utilisés proviennent d'un élevage en masse de criquet pèlerin réalisé et maintenu au niveau de la salle d'élevage du département

de LAA de l'institut national de la protection des végétaux (INPV) d'El Harrach. Les individus sont été collectés de la région de Taghit « Oued Zouzfana » Wilaya de Bechar par les prospecteurs de l'INPV, au mois d'Avril 2013 suite à l'infestation de la période printanière.

2.2.2 Les champignons testés

Deux isolats fongiques provenant respectivement l'un d'un cadavre d'hyménoptère montrant un feutrage blanchâtre prélevé d'un verger d'agrumes dans la région de Chlef au mois de Mars 2012 et l'autre d'un cadavre de criquet pèlerin, présentant un brunissement au niveau de la tête et de l'abdomen ont été collectés de la région d'Adrar lors des prospections acridiennes durant le mois de mai 2010. Après isolement et purification, la caractérisation culturelle et morphologique ont permis l'identification respectivement des genres *Beauveria* et *Metharhizium* (Figures : 12a et 12b). Ces deux champignons entomopathogènes ont été purifiés et cultivés en masse sur milieu PDA à la température 25° C au laboratoire de mycologie de la station régionale de l'institut National de la protection des végétaux de Boufarik.

Un autre champignon entomopathogène *Metarhizium anisopliae* var. *acridum*, industriel, dont le nom commercial est le 'GREEN MUSCLE' fabriqué par LUBILOSA (Lutte biologique contre les Locustes et les Sauteriaux) formulé sous forme de poudre sèche emballée dans des sachets de 100g nous a été proposées par le département de la LAA de l'INPV d'El Harrach. (Figure 12c).

Parallèlement une souche Algérienne de *Trichoderma* sp. purifiée et ayant déjà montré un pouvoir éliciteur sur *Tuta absoluta* (Moumene et al., 2013) a été également testé contre le criquet pèlerin. (fig d12)

2.3 Elevage des larves en masse du criquet pèlerin

L'élevage des larves a été réalisé dans des cages en plastique transparente, sous forme de cube de dimension 1,00m X 0,55m X 0,60m, une petite trappe qui coulisse située à la face avant permet l'accès à l'intérieur de la cage dont le fond comporte des pondoirs remplis de sable humidifié régulièrement, l'arrière de la cage est constitué d'un grillage en toile qui permet l'aération. L'élevage est maintenu à une température de 30±4°C et avec une humidité relative de 60±5%. Des lampes de 75W assurent un éclairage 16H, L'alimentation est

constituée essentiellement des feuilles de gazons *Stenotaphrum americanum* L. Le renouvellement de la nourriture,; le nettoyage et l'humidification des pondoirs s'effectuent quotidiennement (Figure 11).



Figure11 : les cages d'élevage des L5 de *Schistocerca gregaria*



a :souches *Metarhizium* sp.b:*Beauveria* sp. c:*Green muscle*. d:*Trichoderma* sp.

Figure12 : les isolats des quatre champignons testés

Les quatre champignons retenus pour notre étude ont fait l'objet de préparations de suspensions conidiennes.

Sur chacune des cultures pures des trois champignons algériens des genres *Beauveria*, *Metarhizium* et *Trichoderma* âgées de 20 jours ont été versés séparément 10 ml d'eau distillée stérile. Chacune de ces cultures a été raclée par une pipette pasteur stérile. Les suspensions conidiennes ont été récupérées séparément dans des flacons contenant 50 ml d'eau distillé stérile pour assurer une libération maximale des spores

Cependant pour le *Metarhizium* formulé la suspension sporale ne peut pas être aqueuse. A cet effet 0,8g de spores ont été mélangées avec 20ml de gasoil (LANGEWALD, 1999).

On procède à l'agitation de chaque suspension fongique à l'aide de l'agitateur de tube Vortex pendant 10 minutes.

La concentration en spores de chaque suspension fongique a été déterminée par la cellule de Malassez sous microscope optique au grossissement (X 125). Pour la souche de *Beauveria* sp. on a rajouté du tween 20 pour agrandir et mieux visualiser ses petites spores. Ainsi chaque suspension fongique a été ajustée à 10^6 spores /ml par de l'eau distillée stérile pour l'ensemble des souches mis à part le Green muscle dont on a rajouté du gasoil.

2.4 Etude de la toxicité des isolats fongiques

L'étude de la toxicité concerne le traitement des L5 par les suspensions fongiques préparées des champignons testés où deux modes d'application de traitements ont été retenus, l'un par contact et l'autre par ingestion.

Pour un suivi à long terme, et éviter les effets de masse, les interférences, ou les perturbations, les insectes ont été placés individuellement dans 12 boites (8 pour les traitement et 4 pour les témoins (eau et gasoil) en plastiques de dimensions (0,12m x 0,16m x 0,24m) recouvertes par un grillage en plastique à la taille des boites pour assurer l'aération. Les L5 ont été déposées respectivement en nombre de 8 par boite pour un total de 96 individus maintenus dans les mêmes conditions de température et d'humidité que leur élevage en masse dans les cages (annexe).

2.4.1 Toxicité par contact

Les suspensions fongiques ont été pulvérisées directement sur les juvéniles du cinquième stade de *Schistocerca gregaria* précisément entre la tête et thorax (pronotum) afin d'étudier leur action par contact. Les individus de chacune des deux boîtes réservées aux témoins ont été pulvérisés séparément par de l'eau distillée stérile ou/et le gasoil. Les individus de ce mode de traitement ont été soumis à un prélèvement de l'hémolymphe.

2.4.2 Toxicité par ingestion

Le test consiste à alimenter les insectes L5 mis à jeuner pendant 24 heures afin de leur permettre de vider leur tube digestif et les affamer, par des fragments de surfaces déterminées provenant de la plante nourricière. Pour la présente étude, les insectes sont alimentés avec du gazon traité séparément par les suspensions des trois champignons séchés à l'air libre pendant 12 heures. Le témoin consiste à pulvériser l'aliment séparément par l'eau ou/et le gasoil. Des individus de ce mode de traitement seront sacrifiés pour l'étude histologique du tube digestif.

2.5 Etude de l'effet des champignons sur la mortalité et la morphologie des L5 de *S. gregaria*

La toxicité des traitements fongiques a été basée sur la description morphologique et la détermination des taux de mortalité des L5 de *S. gregaria*. L'effet des champignons sur la mortalité des individus de *S. gregaria* a été suivi à partir du 4^{ème} jour après traitement selon les deux modes. Chaque jour, le nombre des larves mortes a été déterminé pour les individus témoins et traités. L'expérimentation a été suivie jusqu'à la mortalité de la totalité des individus des lots traités.

Des malformations, des anomalies et des changements morphologiques de taille et de couleur sont aussi notés par une observation à l'œil nu et sous loupe de la partie externe et interne (par incision) de l'insecte. La durée de cette étude est fixée jusqu'à la mue, la malformation ou la mort pour les individus témoins et traités selon les deux modes de pénétration.

2.6 Etude de l'effet des champignons sur l'hémolymphe

Cette partie consiste à prélever l'hémolymphe des individus le 4^{ème} jour après traitement par contact par les suspensions fongiques étudiées. Le prélèvement a été réalisé selon la méthode de Guzoet Stoltz (1987) in chaouche (2009) où 3 à 5 µl d'hémolymphe fraîche des L5 traitées et des témoins de cet acridien sont prélevés séparément à l'aide d'une micropipette dans des tubes Eppendorf suite à une incision entre la patte postérieure et le thorax (Mahamat et al., 1997) in chaouche (2009). Les échantillons d'hémolymphe prélevés ont été caractérisés par observation macroscopique et microscopique pour affirmer les changements induits par les traitements ou leur présence dans l'hémolymphe. La confirmation de la présence des hyphes des quatre champignons consiste à leur réisolement à partir de l'hémolymphe sur le milieu de culture PDA incubé à une température de 25°C.

2.7 Etude de l'effet des traitements fongiques par mode ingestion sur le mesentron du tube digestif

L'objectif de cette étude est d'observer et de suivre l'effet de quatre champignons *Beauveria* sp., *Metarhizium* sp., *Trichoderma* sp et le *Green muscle* par le mode ingestion sur le tube digestif des L5 de *Schistocerca gregaria*.

Elle consiste à des observations macroscopiques à l'œil nu et microscopiques du tube digestif des individus témoins et ceux traités par les différents champignons testés. L'observation microscopique a porté sur la partie du tube digestif présentant des modifications structurales surtout au niveau du mesenteron.

Ainsi, la préparation des coupes histologiques a été basée sur la technique de MARTOJA et MARTOJA –PIERSON (1967) qui comporte les étapes suivantes(Annex) :

2.7.1 Sacrifice et prélèvement des tubes digestifs

Les individus de criquet pèlerin traités ont été sacrifiés le jour même ou quelques heures après leur mortalité. Le prélèvement du tube digestif est réalisé par la coupure des élytres et des fémurs. Une large incision a été effectuée au niveau de la partie ventrale de l'individu jusqu'à la capsule céphalique

Nous mettons les tubes digestif dans des piluliers contenant un liquide fixateur (Formol à 10%), pour les fixer dans le but de les garder dans un état proche de ce lui du vivant. Ces piluliers portent des étiquettes, où sont mentionnés les différents caractères. Le délai de fixation est de 24 heures. Après cette durée les tubes digestifs sont mis dans l'alcool à 70° en attente jusqu'au la deuxième étape, qui est la déshydratation.

2.7.2 Déshydratation

Cette étape a pour but d'éliminer totalement l'eau, elle consiste à passer les tubes digestifs dans des bains d'alcool de concentrations croissantes (70°, 95° et 100°), chaque bain dure une demi heure et on va passer directement par les quatre bains du xylène pendant 30 minutes chacun.

2.7.3 Imprégnation et inclusion

L'imprégnation se fait par un solvant à la paraffine à l'aide d'un Automate de type : *Myr Stp 120*, dans le but d'éliminer complètement les traces d'alcool et pour éviter le risque de ne pas avoir une pénétration complète de la paraffine a travers des différents parties du tube digestif, car l'alcool et la paraffine ne constituent pas un mélange de paraffine-Xylène) pendant 1 heure suivi d'un bain de paraffine pendant 2 heures.

2.7.4 Confection des blocs

La confection des blocs est réalisée grâce à des moules spéciaux : *les barres de leuckart* à l'aide d'Automate d'inclusion type : *leica EG 1150H*. Ces moules seront remplis par la paraffine fondue et chaude qui infiltre les différents tissus du tube digestif. Après refroidissement par : *Leica EG 1150C*. on se trouve en présence de blocs de paraffine, durs, contenant les tubes digestifs.

2.7.5 Confection des coupes

Pour la réalisation des coupes histologiques, nous utilisons le microtome de type *Leica RM2125RT*, qui effectue des coupes de sections de 2 μ m d'épaisseur. Les coupes sont récupérées sous forme d'un ruban, recueilli à l'aide d'un pinceau et placées dans une boîte.

2.7.6 Etalement des coupes

Sur des lames nettoyées avec de l'alcool, séchées et étiquetées, une goutte de l'eau gélatinée est déposée. Trois à quatre coupes sont étalées par des fragments du ruban, puis placées sur la plaque chauffante de type *Stuart Cb60* pour faciliter l'étalement. Enfin les lames sont placées dans l'étuve à 37°C pendant 48 heures avant la coloration.

2.7.7 Déparaffinage, réhydratation et coloration (Trichrome de Masson)

Cette coloration permet de mieux identifier les différents éléments de la préparation. En accentuant les contrastes, les lames sont plongées dans une succession de bains en commençant par deux bains de xylène de 15 minutes chacun, suivie de différents bains d'alcools de concentrations décroissantes (100°, 95°, 70°) à raison de deux bains chacun pendant 3 minutes. On termine par un bain dans l'eau distillée assurant l'hydratation finale. Les lames sont d'abord plongées dans l'hématoxyline de Groat pendant 3 minutes puis rincées pendant 5 minutes dans l'eau courante. Ces lames sont plongées dans un bain de Fushine Ponceau pendant 30 minutes, ensuite rincées avec de l'eau sous le robinet puis avec de l'eau distillée. Puis dans deux bains de solution phosphomolybdique et la solution Verte lumière pendant 5 minutes pour chacun et rincées dans de l'eau courante. Les lames sont passées dans l'alcool 100° pendant 5 à 10 secondes, et par la suite plongées dans deux bains de Xylène pendant 3 minutes.

2.7.8 Montage et observation microscopique

Le montage a pour but de protéger les coupes colorées grâce à des lamelles, permettant ainsi une bonne observation microscopique.

La lamelle est d'abord nettoyée avec peu de xylène en suite elle est appliquée sur la lame grâce à une goutte résine de montage (Eukitt) de façon à ce que la résine recouvre l'ensemble de la coupe. La résine polymérisée en une vingtaine de minutes, puis sont prêtes pour l'observation au microscope photonique aux grossissements : (X 125) puis (X 500).

2.8Analyse statistique

Les résultats obtenus ont été représentés sous forme de graphes en fonction des traitements fongiques et les deux modes de leur application, et cela à l'aide de logiciel Microsoft Excel. Afin de vérifier une éventuelle efficacité des champignons testés vis à vis des individus de *schistocerca gregaria* et comparer les deux modes de traitements, des analyses statistiques ont été effectuées au moyen du logiciel SYSTAT vert 7, en déterminant la variance à l'aide de GLM (Général Linder Model), les différences ont été considérées comme significatives pour un $P \leq 0,05$ (PHILIPPEAU , 1992).

3.1 Etude de la toxicité des traitements à base des trois champignons testés

Seuls les champignons entomopathogènes testés sur les L5 de *S.gregaria* ont enregistré des taux de mortalité à partir du 4^{ième} jour et ceci pour le green muscle appliqué par ingestion. L'ensemble des traitements ont révélé leur activité biocide au 5^{ième} jour pour les deux modes d'application mis à part pour *Metarhizium* sp. appliqué par ingestion. Une évolution temporelle de la mortalité a été remarquable au 6^{ième} jour où les taux de mortalités enregistrés ont atteint et même dépassé les 50%. Selon le mode par contact et par ingestion, on a pu établir le classement des champignons testés selon leur activité biocide dans l'ordre décroissant suivant : Le Green Muscle (62,5/50%), *Beauveria* sp. et *Metarhizium* sp. (50/25%). Ainsi, ils ont progressé jusqu'à atteindre leur maximum (100%) au 9^{ième} et 10^{ième} jour (Tab01).

Tableau 01: Taux de mortalité selon les champignons testés, leurs modes d'application et la durée d'incubation.

Traitement par Mode %	Temoins eau /gasoil		<i>Trichoderma</i> sp.		<i>Green muscle</i>		<i>Metarhizium</i> sp.		<i>Beauveria</i> sp.	
	Cont	Ing	Cont	Ing	Cont	Ing	Cont	Ing	Cont	Ing
4 ^{ième}	00	00	00	00	00	12,5	00	00	00	00
5 ^{ième}	00	00	00	00	25	25	12,5	00	25	12,5
6 ^{ième}	00	00	00	00	62,5	50	50	25	50	25
7 ^{ième}	00	00	00	00	87,5	75	62,5	62,5	62,5	62,5
8 ^{ième}	00	00	00	00	100	75	75	62,5	75	62,5
9 ^{ième}	00	00	00	00	100	100	87,5	75	100	75
10 ^{ième}	00	00	00	00	100	100	100	100	100	100

(Ing :Mode par ingestion /Cont :Mode par contact)

L'analyse de la variance des taux de mortalité des larves L5 de *Schistocerca gregaria* a montré des différences hautement significatives selon les champignons testés (Mode T) et selon la durée d'incubation (Jours) (P=0,000) mais des différences non significatives selon le mode d'application par ingestion et contact (Mode A) (P=0,284) (Tabl02).

Tableau02 : Analyse de la variance des taux de mortalité des larves L5 de *S.grégaria* selon les champignons testés (Mode T), les modes d'application par ingestion et contact (Mode A) et selon la durée d'incubation (Jours).

Facteurs	Somme des carrés	ddl	Carré moyenne	F	P
Mode T	55334.821	4	13833.705	37.034	0.000
Mode A	437.500	1	437.500	1.171	0.284
Jours	29482.143	6	4913.690	13.154	0.000

L'analyse de la variance globale des taux de mortalité des L5 de *S.grégaria* en modèle GLM a montré des taux de mortalité n'excédant pas 50% jusqu'au 10^{ième} jour avec une légère variabilité selon les modes d'application. Ainsi le mode par contact a induit les plus importants taux de mortalité (35,5%). De même, une variabilité a été notée en ce qui concerne les champignons testés avec des taux de mortalité plus importants pour le Green muscle (70%), suivi par *Beauveria* sp. (54%) et par *Metarhizium* sp. (51%). Parallèlement, il est à noter que ceux enregistrés pour *Trichoderma* sp. ont été négligeables et identiques à ceux des témoins négatifs. Comme ils ont montré aussi une évolution temporelle jusqu'à atteindre 60% au 10^{ième} jour (Fig13).

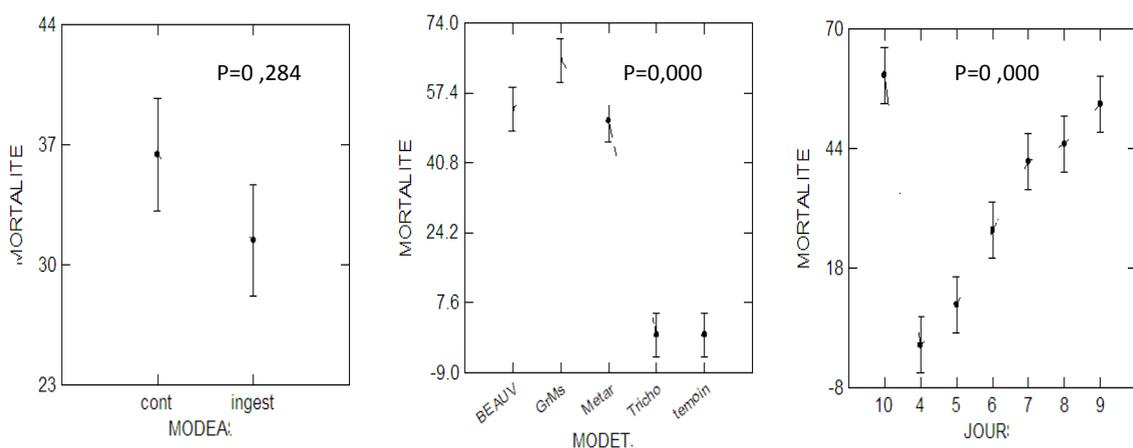


Figure 13: Analyse de la variance globale des taux de mortalité des larves L5 de *S.grégaria* en modèle GLM selon les champignons testés (ModeT), les deux modes d'application des champignons (ModeA) et la durée d'incubation (Jour) .

L'analyse de la variance des taux de mortalité a montré une différence hautement significative selon les champignons testés et significative selon la période d'incubation pour le mode d'application par contact (Tab03).

Tableau03. Analyse de la variance des taux de mortalité selon les champignons testés et la durée d'incubation concernant le mode par contact

Facteur	somme des carrés	Ddl	Carrés moyens	F	P
Champignons	31544.643	4	7886.161	17.178	0.000
Période	15678.571	6	2613.095	5.692	0.001

Pour le mode d'application par contact, les taux de mortalité en modèle GLM ont tous dépassé les 50% pour respectivement *Metarhizium* sp. (55%) *Beauveria* sp. (57%) et le Green muscle (68%). Ils ont connu une progression temporelle à partir du 4^{ième} jour pour atteindre et dépasser les 50% du 8^{ième} (51,5%) jusqu'au 10^{ième} jour (64%) (Fig14).

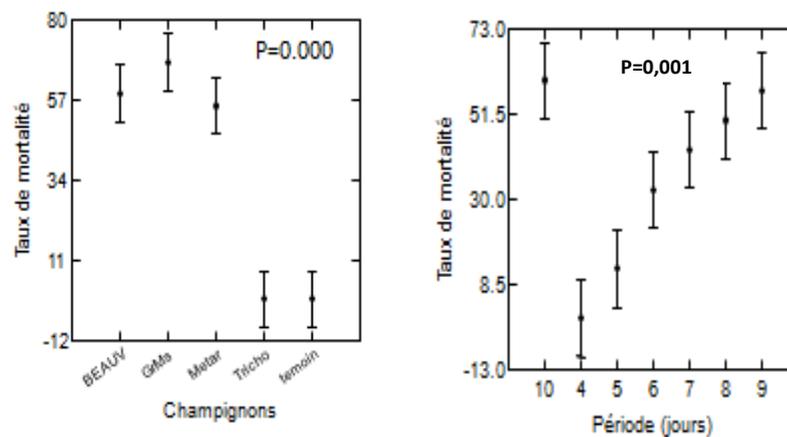


Figure14 : Analyse de la variance des taux de mortalité selon les champignons testés et la durée d'incubation en modèle GLM concernant le mode par contact

Analyse de la variance des taux de mortalité a montré une différence hautement significative selon les champignons testés et significative selon la période d'incubation pour le mode d'application par ingestion (Tab04).

Tableau04 . Analyse de la variance des taux de mortalité selon les champignons testés et la durée d'incubation pour le mode par ingestion

Facteur	somme des carrés	Ddl	Carrés moyens	F-ratio	P
Champignons	24133.929	4	6033.482	14.677	0.000
Période	14241.071	6	2373.512	5.774	0.001

Pour le mode d'application par ingestion, les taux de mortalité en modèle GLM ont avoisiné et atteint les 50% pour respectivement *Metarhizium* sp. (42%) et *Beauveria* sp.(45%) mais ont dépassé les 50% pour le Green muscle (59%) (Figure ???). Ils ont connu une évolution temporelle à partir du 4^{ième} jour pour atteindre et dépasser les 50% au 9^{ième} (50%) et 10^{ième} jour (60%) (Fig15).

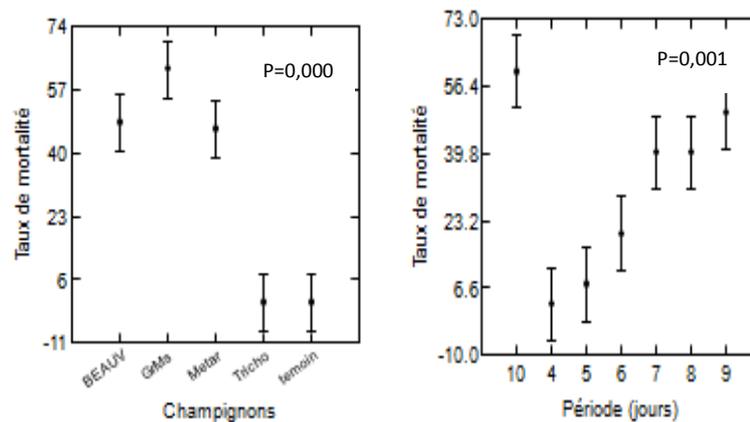


Figure15 : Analyse de la variance des taux de mortalité des larves L5 de *S.grégaria* en modèle GLM selon les champignons testés (ModeT), et la durée du traitement par mode ingestion.

3.2 Effet des champignons sur le comportement et la morphologie des larves L5 de *S. grégaria*

Les résultats obtenus ont montré que les larves traitées par les quatre champignons selon les deux modes d'application par ingestion et par contact, manifestent une activité normale similaire à celles des larves témoins pendant les 3 premiers jours de traitement. Sur le plan

morphologique, les larves traitées par *Beauveria* sp. ont montré une augmentation de la taille traduite par des gonflements au niveau de l'abdomen et du pronotum (fig 16_3) .Après dissection de l'abdomen, une abondance du champignon a été observée particulièrement au niveau du tube digestif (Fig17 _a).

Quant aux larves traitées au *Green muscle*, des changements morphologiques ont affecté la coloration : les larves deviennent complètement rouges(fig 17_d) et se momifient après leur mort (fig17_b). Les symptômes d'infection de ce champignon sur les larves se manifestent par une importante sporulation recouvrant complètement le corps du cadavre provoquant progressivement sa détérioration totale .

Par ailleurs, les larves traitées par *Beauveria* sp. ont présenté la même symptomatologie. Au moment de la mue imaginale, elles ont été affaiblies et ont présenté des difficultés pour muer : elles n'y parviennent pas à se débarrasser de leur exuvie. Elles sont restées emprisonnées et elles ont fini par mourir (fig16-3). Cependant quelques larves traitées par *Metarhizium* sp. ont réussi difficilement à effectuer leur mue avec des déformations au niveau des élytres. (Fig16-4).

En effet, aucun changement morphologique n'a été observé sur les larves traitées par *Trichoderma* sp. et les témoins. Tous les individus ont réussi à effectuer leur mue imaginale (Fig16-1et2).



1: la mue des larves témoin(a: imagos, b: exuvie),2: adulte à partir de larve traitée par *Trichoderma* sp., 3: l'arrêt de la mue de la larve traitée par *Beauveria* sp., 4: déformation au niveau des élytres de la larve traitée par *Metarhizium* sp.,

Figure16 : Comportement des L5 de *S.gregaria* témoins et traitées par les champignons testés

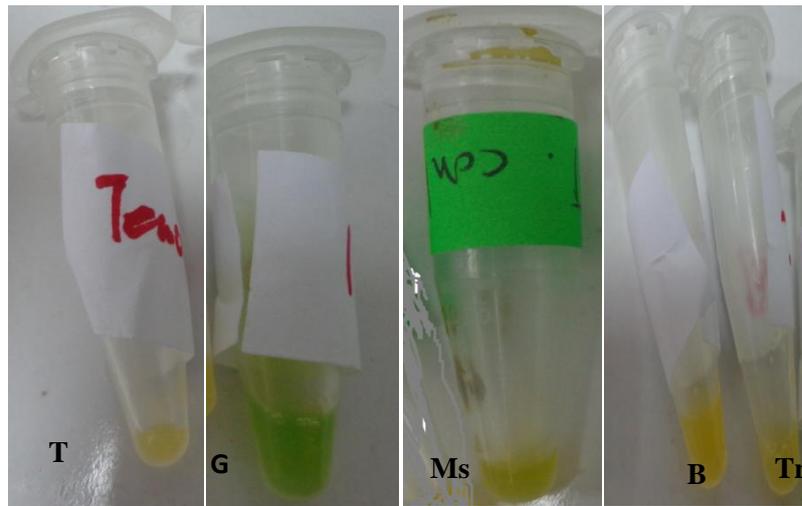


a : Présence et abondance de *Beauveria* sp. à l'intérieur de tube digestif, b : Fructification du Green muscle sur le cadavre, c : Début de momification causée par *Metarhizium* sp., d : Coloration rougeâtre causée par le Green muscle,

Figure 17: Morphologie des L5 de *S.gregaria* témoins et traitées par les champignons testés

3.3 Recherche des champignons testés dans l'hémolymphe des larves L5 de *S. gregaria*

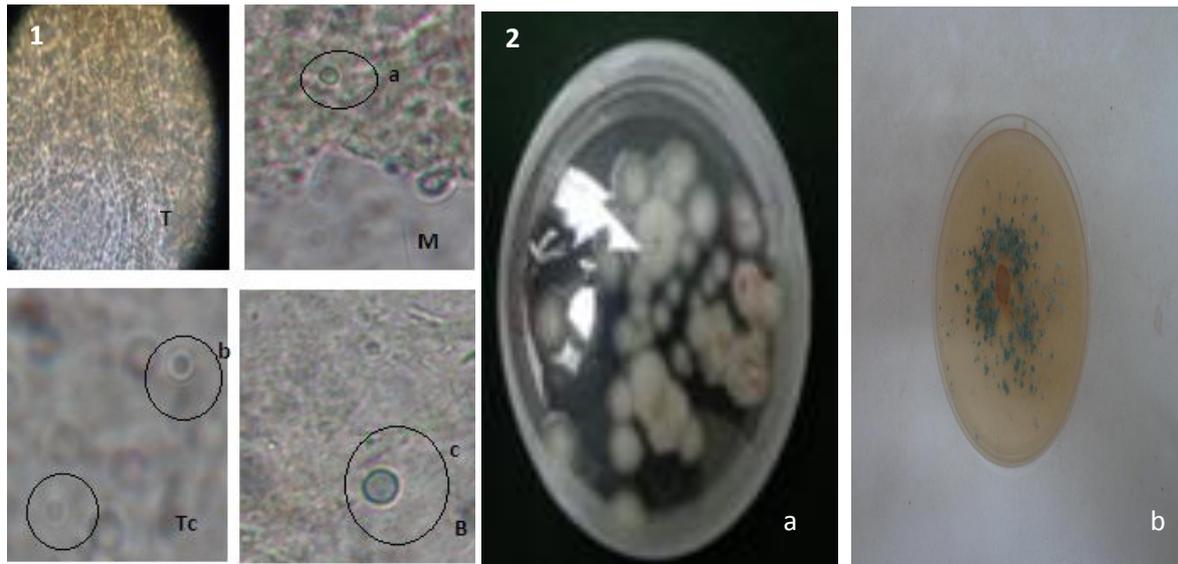
Un changement de couleur a affecté l'hémolymphe des L5 de *S.gregaria* traitées par quelques champignons testés. La couleur de celles des témoins et celles traitées par *Trichoderma* sp. était jaune claire. Cependant, le changement s'est traduit par une coloration jaune foncé pour *Beauveria* sp. vert clair pour *Metarhizium* sp. et vert foncé pour le Green muscle (Fig18)



T : l'hémolymphe témoin , Ms : l'hémolymphe traitée par *Metarhizium* sp., Tr : l'hémolymphe traitée par *Trichoderma* sp., G : l'hémolymphe traitée par le Green muscle, B : l'hémolymphe traité par *Beauveria* sp.

Figure18 : Coloration de l'hémolymphe selon les traitements des L5 de *S.gregaria* par les champignons testés

L'examen microscopique de l'hémolymphe prélevée à partir des L5 de *S.gregaria* traitées par les champignons testés a révélé la présence de quelques spores pour certains champignons seulement (Fig19), car l'hémolymphe a été conservée au congélateur pendant 5 mois. Ce qui a provoqué leur détérioration comme pour le Green muscle et *Trichoderma* sp. D'autre part, le repiquage de l'hémolymphe sur milieu PDA n'a pu révéler que le réisolement des colonies de *Beauveria* sp. et *Metarhizium* sp. ce qui confirme les résultats des observations microscopiques précédents (Fig19-aetb).



1 : Observation microscopique de l'hémolymphe des témoins (T) et celle traitée par *Metarhizium* sp. (M), *Trichoderma* sp. (Tc), *Beauveria* sp. (B) , (a,b,c) les spores .

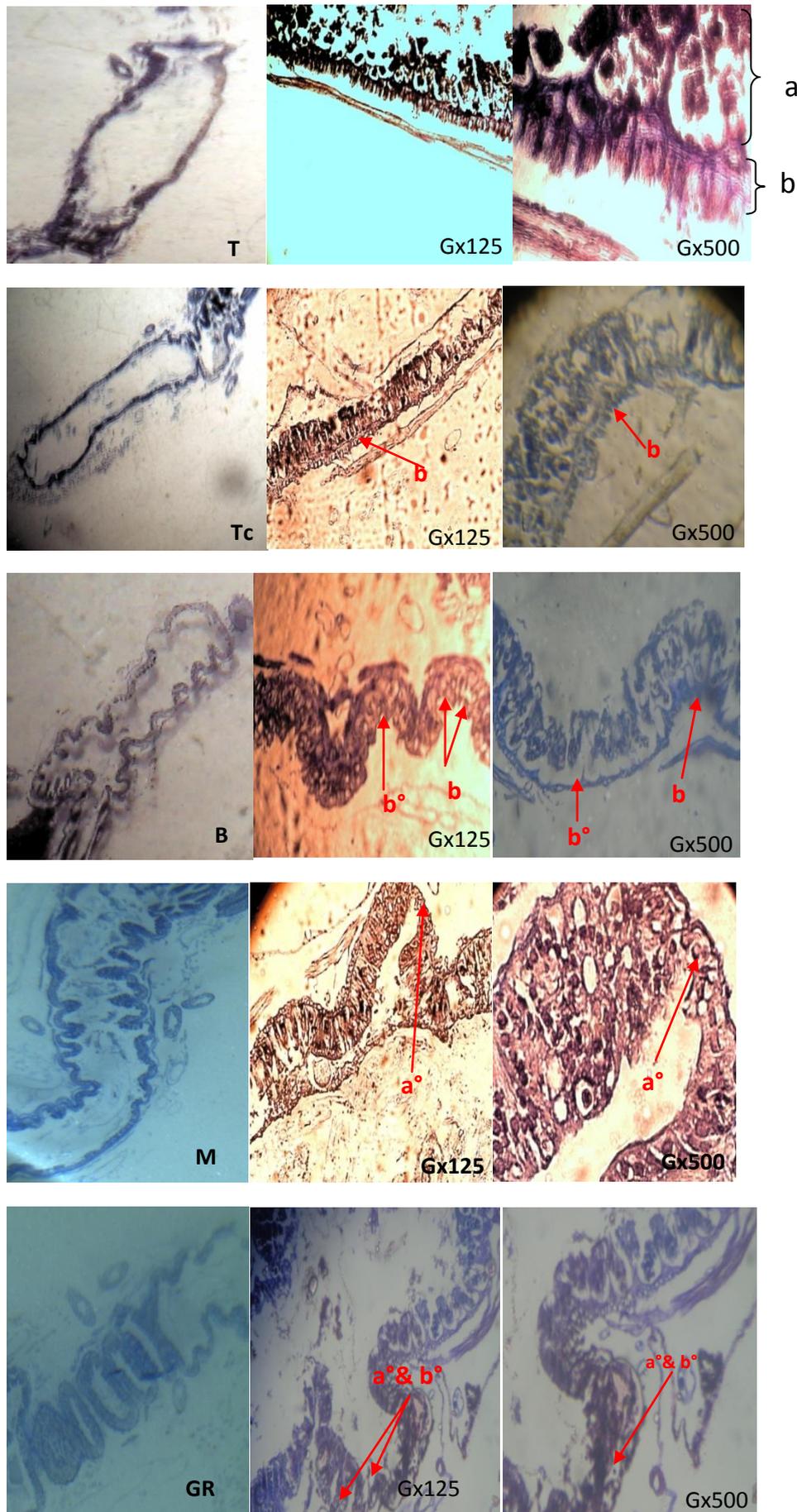
2 : : Réisolement de *Beauveria* sp (a). et de *Metarhizium* sp.(b) sur milieu PDA à partir l'hémolymphe.

Figure 19 : Recherche des champignons testés dans l'hémolymphe des L5 de *S.gregaria* traitées

3.4 Etude de l'effet des traitements fongiques sur la morphologie et la structure du tube digestif de *S. gregaria*

L'activité fongique a affecté la morphologie et la structure du tube digestif. Un aspect ridé a été noté sur certaines parties du tube digestif sous l'activité de certains champignons testés (Fig20 B ,Gr,M). L'histologie de la partie mesenterale du tube digestif des larves L5 du criquet pèlerin témoins et celles traitées par *Trichoderma* sp. a présenté un épithélium pseudo-stratifié palissadique avec une bordure en brosse (cils) et des cellules de régénérations situées à la base de l'épithélium. Les muscle sont très réduits, et formés d'une couche fine et circulaire interne et de quelques fibres longitudinales externes.

En revanche, les individus traités par *Metarhizium* sp. , *Beauveria* sp. et le Green muscle ont présenté des altérations importantes au niveau de la partie mesenterale suite à l'activité importante des champignons entomopathogènes testés. L'aspect histologique mesenteral a révélé une membrane péritrophique complètement détruite ou discontinue et un décollement entre les cellules épithéliales et les muscles circulaires internes. Comme, il a été noté une disparition progressive jusqu'à l'absence totale des cils (Fig20).



a : Cellules épithéliales bien délimitées, b : présence des cils, a° :cellules épithéliales mal délimitées ou désintégrées avec inclusions cytoplasmiques dispersées, b° : Disparition progressive ou absence de cils. T : tube digestif des témoins, Tc : tube digestif traité par *Trichoderma* sp. M : tube digestif traité par *Metarhizium* sp., B : tube digestif traité par *Beauveria* sp., GR : tube digestif traité par le Green muscle.

Figure 20: Structure de l'épithélium mesenteral du tube digestif des L5 de *S.grégaria* témoins et traitées par les champignons testés (G : X125. G : X500).

3.5 Discussion :

Cette étude a révélé que le traitement *Trichoderma* sp, n'a aucun effet sur la mortalité des L5 de *S. gregaria* et que ces résultats été identique a celle de témoin . ainsi, l'effet des reste traitements n'a pas lie qu'après le 3^{ième} jour après leur application, pour atteindre au 10^{ième} jour le taux maximale 100% .

Le taux de mortalité des L5 de *Schistocerca gregaria* en GLM ont montré une variabilité selon les mode d'applications ,ainsi le mode contact a induit la plus importante mortalité avec les traitements testé (35,5%). respectivement pour Green muscle (68%) ,suivi par *Beauveria* sp.(57%), suivi par *Metarhizium* sp. (55%).il est noter que des nombreux travaux sur le taux de mortalité causé par ces trois champignons coincident avec nos résultats.

HALOUANE (1997), signale que le traitement par *M. anisopliae* soit par contact ou par ingestion montre que ce champignon est extrêmement virulent vis-à-vis de *Schistocerca gregaria*, avec une sensibilité accentué chez les larves de 5^{ème} stade.

D'après LOMER (1997), le projet LUBILOSA produit le *Metarhizium flavoviride* selon un système à deux phases sur un substrat de riz ou de mil à l'IITA de Cotonou et à l'AGRHYMEde Niamey. Les rendements atteignent 100 g/kg. Les spores séchées supportent bien le stockage. Elles sont facilement utilisables en suspension dans différentes huiles pour constituer des formulations ULV. des applications de 100 g par hectare dans deux litres d'huile ont été faite, soit approximativement 5 x 10¹² spores à l'hectare. Des réductions de population ont été observées en plein champ après l'épandage de spores dans trois systèmes. Dans le sud du Bénin, les comptages de larves au 5^{ème} stade et de jeunes adultes de *Zonocerus variegatus* ont montré une diminution de 90% de la population dix jours après le traitement. *Hieroglyphus daganensis* a également été traité à Malanville dans le nord du Bénin par des épandages en ULV de spores de *Metarhizium*, mais la densité de la végétation a réduit les effets de l'application. Toutefois, le recyclage des spores sur la végétation traitée a permis une certaine compensation puisque 70% de la population a été anéantie en 14 jours. Des résultats similaires ont été obtenus contre *Oedaleus senegalensis* et *Kraussella amabile* à Mourdiah. Les résultats varient toutefois plus fortement dans les herbages sahéliens en raison probablement de la pression exercée par les prédateurs. L'application à des bandes de Criquet pèlerin en Mauritanie a provoqué leur destruction. La prédation a provoqué une grande mortalité parmi les criquets et a semblé se renforcer sous l'effet de l'infection fongique.

FARGUES *et al.*, (1997), ont trouvé un taux de mortalité entre 98 et 100% après 8 jours de traitement de *Schistocerca gregaria* avec *Metarhizium flavoviride* à une température comprise entre 25°C et 30°C.

D'après STEPHAN *et al.*, (1997), des bio-essais contre *Locusta migratoria* (L3) ont montré que l'efficacité des blastospores séchées par pulvérisation était comparable à celles de blastospores fraîchement produites (mortalité > 90%), bien que le temps écoulé pour tuer 50% des larves ait été légèrement plus long. Différentes formulations à base de blastospores séchées par pulvérisation ont été testées en Mauritanie dans des conditions semi-naturelles contre des larves de *Schistocerca gregaria* en utilisant la technique d'application en ULV. Les blastospores séchées par pulvérisation ont été hautement infectantes dans une formulation aqueuse, une émulsion huile/eau et une formulation huileuse. La plus forte mortalité de près de 100% après 15 jours a été constatée avec la formulation aqueuse (20% de mélasse, 80% d'eau).

BLANFORD et THOMAS (2001), ont obtenu un taux de mortalité supérieure à 90% après 10 jours dans des conditions de température constante, de 66% après 70 jours sous thermorégulateur optimal avec un traitement de *Metarhizium anisopliae* var *acridum* appliqué sur les adultes de *Schistocerca gregaria*.

KANE *et al.*, (2007), ont comparé à Akjoujt, centre ouest de la Mauritanie, la virulence de deux souches de *M. anisopliae* var *acridum* IMI 330189 et celle de l'institut de lutte biologique de Darmstadt (Allemagne) sur des larves et imagos du criquet pèlerin. Pour les bio-essais et le test sur l'effet des températures ambiantes (variant entre 22 et 26,5°C) sur la virulence du mycopesticide, deux doses ont été utilisées: 1,1 x 10³ et 5 x 10⁴ spores / insecte. Les souches IMI 330189 et celles de l'Allemagne ont causé la mortalité de 85 et 95% des larves du 4^{ème} stade (L4) traitées, respectivement. Chez les imagos, la mortalité enregistrée est de 55% pour toutes les doses excepté la forte dose de la souche IMI 330189 où elle s'élève à 95%. Par contre, sur les L4 exposées aux températures ambiantes qui variaient entre 11 et 31,5 °C, la mortalité était inférieure à 25% exceptée pour la forte dose d'IMI 330189 qui a tué 73,33% des larves testées. L'exposition des larves traitées avec la forte dose d'IMI 330189 à des températures comprises entre 32 et 46,5 °C pendant huit heures par jour, a fortement inhibé la virulence du biopesticide avec une mortalité 7%. Pour le test en conditions semi-naturelles, seule la souche IMI 330189 a été utilisée à la dose 5 x 10¹² conidies / ha.

Pour ce test, il y avait deux traitements: larves et végétation traitées et larves non traitées placées dans la végétation traitée pour évaluer l'effet du prélèvement secondaire. Dans le premier cas, une mortalité de 66% a été observée contre 41,25% pour le second cas.

VAN DER VALK (2007), annonce que la plupart des traitements effectués avec une dose de 5×10^{12} conidies/ha de *Metarhizium anisopliae* var. *acridum* 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; avec des doses d'application moindres, le contrôle était moins tangible.

Des essais ont été effectués par ENTZ et al., (2008), afin de tester deux variétés de *Metarhizium* : *Metarhizium anisopliae* var. *anisopliae* et *M. anisopliae* var. *acridum* sur quatre espèces de locustes : *Melanoplus sanguinipes*, élevé au laboratoire et *M. sanguinipes*, *M. bivittatus* et *M. packardii*, récolté du terrain. Ils ont trouvé avec les acridiens tirés du laboratoire traités au *M. anisopliae* var. *acridum* un taux de mortalité de 99% après 12 jours.

MILNER et al., (2003) après applications de *M. anisopliae* à 10^4 et 10^5 spores /ml sur *vittatum Phaulacridium*. Une mortalité de 100 % est obtenue au bout de Sept jours .

DOUMANDJI-MITICHE et al. (1997b) ont obtenu des mortalités totales sur les adultes de *S. gregaria* au 5ème jour de traitement par *M. anisopliae* avec une dose avoisinant les 105 spores/ml. Sur le même acridien

BLANFORD & THOMAS 1999; Elliot et al. (2002), constatent que *M. anisopliae* a été très virulent à la dose de 103 spores /ml avec un taux de mortalité de 75% sur *Schistocerca gregaria* après huit jours de traitement suivie par des sporulations sur des cadavres .

CHAUCHE , 2009 La mortalité des larves et des ailés de *Dociostaurus maroccanus* traités par les deux champignons *B. bassiana* et *M. anisopliae* avec deux doses différentes, montre que les 2 entomopathogènes affectent significativement cet acridien en fonction de son stade biologique et de la concentration des 2 entomopathogènes. Les larves traitées par *B. bassiana* et par *M. anisopliae*, atteignent 100 % de mortalité au 4ème jour après traitement par les 2 doses D1 et D2. Les ailés, enregistrent 100 % de mortalité respectivement aux 9ème et 6ème jour pour la 1ère dose, et au 4ème et 5ème pour la 2ème dose.

DELGADO *et al.* (1997) lors d'un essai sur terrain de *B. bassiana* contre *Locusta migratoria*, ont enregistré un pourcentage de mortalité de 56 % au 10^{ème} jour de traitement, Ce résultat a été noté également par KOOYMAN *et al.* (2005) dans le cadre de l'essai d'un biopesticide Green Muscle à base de *Metarhizium anisopliae* var. *acridum*, sur les larves du *Schistocerca gregaria* dans la Wilaya d'El Oued.

JARONSKI et GOETTEL (1997) testant l'effet de *B. bassiana* vis-à-vis des adultes de *Melanoplus sanguinipes* ont obtenu des mortalités de 72 % au 2^{ème} jour à la dose $1,2 \times 10^6$ spores/ml. Sur ce même acridien .

INGLIS *et al.* (1997) ont enregistré 80 % de mortalité au début du 4^{ème} jour pour la dose de $4,3 \times 10^3$ spores/ml.,

HADDADJ (2001) a enregistré 100 % de mortalité au 4^{ème} jour avec une dose $D = 1,42 \times 10^6$ spores/ml.

SABBAHI *et al.* (2008a) ont obtenu des mortalités supérieure à 90 % des adultes de *L. lineolaris* après 6 jours, lorsque ces derniers étaient soumis à une concentration de 1×10^8 conidies/ml de *B. bassiana*. En fraisière, cette mortalité était d'environ 70 % après 8 jours, suite à une application du même isolat de *B. bassiana* à une concentration de 10^{13} J conidies/ha. L'application des isolats INRS-CFL et INRS-IP de *B. bassiana* sur le feuillage de la vigne à des concentrations de 5×10^{13} conidies/ha a causé des mortalités supérieures à 67 % chez les adultes de *L. lineolaris* après 6 jours suivant leur application. Alors que dans les conditions de laboratoire, l'inoculation des adultes de *L. lineolaris* avec *B. bassiana* à une concentration de 1×10^6 conidies/ml a provoqué des mortalités supérieures à 86 % après 5 jours d'incubation. Ces résultats viennent confirmer les observations faites par d'autres travaux de recherche (Steinkraus et Tugwell, 1997, Kouassi *et al.*, 2002, Sabbahi *et al.*, 2008a).. La différence de la susceptibilité de *L. lineolaris* durant les expériences réalisées au laboratoire et sur le terrain est probablement due aux facteurs abiotiques tels que la température, les précipitations, les UV et l'humidité relative. De nombreuses études ont démontré que le potentiel infectieux des champignons entomopathogènes comme agents de lutte biologique est influencé par les rayons ultraviolet (Gardner *et al.*, 1977; Daoust et Pereira, 1986a; Jarrod et

ROBERT, 2005), la température (Roberts et Campbell, 1977; Doberski, 1981) et l'humidité relative (Ramoska, 1984; Jeffrey, 2005).

MILAT-BISSAAD et al ,2011, Le champignon *Beauveria bassiana* a été isolé d'adultes du criquetpélerin, *S. gregaria*. Des essais préliminaires sur la pathogénicité de ce champignon, agent de lutte biologique, ont été réalisés au laboratoire sur *S. gregaria* par pulvérisation. Quatre doses ont été utilisées : enregistré des mortalités dès les 1er jours pour la D1 et la D2 chez les L5 pour obtenir les 100% de mortalité au 5ème jour. Par contre aux plus faibles doses, les mortalités ne débutent qu'au 4ème jour pour atteindre les 100% au 7ème jour. Chez les adultes mâles, la mortalité débute au 2ème jour pour les D1 et D2 et atteint les 100% au 6ème jour pour la D1 et au 7ème jour pour la D2. Par contre, aux D3 et D4, elle débute au 3ème jour et au 6ème jour respectivement, pour atteindre les 100% au 8ème jour . Chez les femelles, les mortalités varient selon les doses. On obtient les 100% de mortalité au 3ème jour pour le D1 et au 4ème jour pour le D2. Aux faibles doses, la mortalité s'achève entre le 7ème et le 10ème jour pour la D3 et la D4.

En revanche, sur le plan morphologique , des changements de taille et de couleur on été observées , au moment de la mue , des déformation total ou partielle de l'insecte provoqué par *Beauveria sp* ,*Metarhizium sp.*, et Green muscle.

OUTAR,2009 D'après leur résultats, le traitement au *M. anisopliae* par les deux types de traitement a engendré des changements morphologiques au niveau de la coloration, donc les larves deviennent complètement rouge après leur mort ensuite se momifient.

D'après WELLING et ZIMMERMANN (1997), la cuticule des individus de *L. migratoria* infectées par *Sorospora sp.* devient pâle et se casse vers le haut facilement, libérant les masses des spores brun-rougeâtre qui remplissent le cadavre entier. Ces spores à parois épaisses sont globulaires, avec un diamètre du 7,5 µm et agglutiné dans les unités regroupent des dizaines ou centaines de spores.

Selon KOOYMAN (2007), *Metarhizium* infecte les insectes par contact, pas par ingestion, ce qui est similaire à l'action de beaucoup d'insecticides chimiques. Les spores trouvés sur la cuticule de l'insecte ou ramassées de la végétation, germent pendant 24 heures. Les hyphes sortant pénètrent dans la cuticule à l'aide des 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 capable de se libérer au moment où la température devient favorable. Du mycélium pousse ensuite dans les tissus et si l'humidité ambiante est suffisamment élevée, on peut le voir sortir du cadavre, surtout des articulations. Lors de ce processus la cuticule rougit, par l'oosporéine produite par le champignon. Des spores vertes sont formées 24h ou 48h après l'infection par le champignon, elles peuvent ensuite infecter d'autres individus. Si l'air est trop sec, la sporulation a lieu à l'intérieur du cadavre, où les spores peuvent survivre longtemps. A l'arrivée de la prochaine saison de pluies les restes du cadavre se désintègrent et les spores sont libérées pour infecter chaque criquet qui les piétine. C'est possible que les spores soient soufflées sur des nouveaux hôtes par le vent.*

GREATHEAD et al 1994, ont mentionné que *Beauveria bassiana* est connu depuis longtemps comme responsable de la maladie de la "muscardine blanche" chez les vers à soie et d'autres insectes. L'individu infecté est recouvert d'une importante couche de mycélium blanc, évoquant de la neige. Il existe des souches infectant des criquets et qui peuvent être très efficaces, surtout en régions tempérées. Des épandages de conidies de *B. bassiana* en solution huileuse, effectués au Mali sur un mélange de jeunes larves de *Kraussella amabile*, de *Cataloipus cymbiferus* et de *Hieroglyphus daganensis*, ont permis d'obtenir une mortalité globale de 72 % au bout de 2 semaines (JOHNSON *et al.*, 1992). Une autre espèce, *B. brongniartii*, a été identifiée sur le Criquet migrateur mais elle semble infecter plus souvent des larves de lépidoptères et de coléoptères.

L'examen microscopique a révélé la présence de quelques spores de certains traitements dans l'hémolymphe des L5 de *S.gregeria* qui se traduit par changement de couleur par rapport à celui de témoin jaune foncé pour *Beauveria* sp. vert clair pour *Metarhizium* sp, vert foncé pour *Green muscle* et qui confirme le passage des hyphes à travers la cuticule de l'insecte .

LATCHININSKY et LAUNOIS-LUONG (1992) ont mentionné que Le criquet meurt intoxiqué par des toxines produites par les blastospores de *Beauveria* qui se sont multipliées dans l'hémocoèle. La tête, le pronotum et l'extrémité abdominale se couvrent d'un mycélium de couleur blanchâtre et d'aspect velouté.

AMOURIQ, 1973 ; KOUASSI, 2001 ; KOOYMAN, 2007. On a montré que Le développement des hyphes de *Metarhizium* peut être observé dans l'hémolymphe des criquets à partir du

3ème 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. 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.

Des altérations importantes au niveau de la partie mesenterale suite à l'activité importante des champignons entomopathogènes testés. L'aspect histologique mesenteral a révélé une membrane péritrophique complètement détruite ou discontinue et un décollement entre les cellules épithéliales et les muscles circulaires internes. Comme, il a été noté une disparition progressive jusqu'à l'absence totale des cils. Nos, résultats sont assez comparables avec d'autres travaux réalisés par plusieurs auteurs sur l'histologie chez différents ordres d'insectes lors des traitements biologiques.

KARA_TOUMI (2010). montré que , l'examen des différentes parties De tube digestif des adultes et des Larves du cinquième stade larvaire de *S. gregaria* a mis en évidence très peu d'altérations structurales au niveau de stomodeum et du proctodeum Cependant ces différences sont notables au niveau de mesenteron, chez l'individu traité par les deux champignons entomopathogènes *M.flavoviride* et *M. anisopliae* utilisés.

BISSAD (2002) a montré que *Beauveria bassiana* a un effet sur le tube digestif au niveau de l'intestin antérieur et de l'intestin postérieur du criquet pèlerin *S. gregaria*.

PAPILLON ET CASSIER (1977) ont enregistré de forts troubles physiologiques via la destruction de l'épithélium intestinal chez les imagos de *S. gregaria* infestés par le protozoaire *Melamebae locustae*. Chez les acridiens traités par *Bacillus thuringiensis*, les différentes parties du tube digestif n'ont subi aucune altération puisque le PH du tube digestif des acridiens est acide, ce qui ne favorise pas la libération de toxines chez ces groupes d'insectes

HABBES (1989) note une désorganisation et une destruction de l'épithélium intestinal, un détachement des cellules épithéliales les unes des autres et une augmentation du nombre des cellules caliciformes de l'intestin moyen des larves de *Thaumetopea pityocampa* traitées par *B. thuringiensis*.

Conclusion générale

Ce présent travail s'inscrit dans l'axe de recherche de nouvelles méthodes de lutte biologique alternatives aux insecticides chimiques synthétiques utilisés dans la lutte contre *Schistocerca gregaria* ravageur redoutable sur une large gamme de cultures.

Trois paramètres ont été ciblés :

- Le comportement et la mortalité des larves L5 de *S. gregaria* vis-à-vis des traitements à base de champignons testés.
- La morphologie des larves traitées et témoins.
- Effet des traitements sur le tube digestif et l'hémolymphe.

Ainsi, deux modes d'application de traitements ont été retenus, l'un par contact direct et l'autre par ingestion. Pour une concentration de 10^6 spores/ml des suspensions conidiennes fongiques utilisées.

Au terme de cette expérimentation, il est important de rappeler les principaux résultats obtenus :

Cette étude a révélé que le traitement à base de *Trichoderma* sp. n'a aucun effet sur la mortalité des L5 de *S. gregaria* et que ces résultats étaient similaires à ceux des témoins. Cependant, l'effet des autres traitements n'apparaît qu'après le 3^{ème} jour de leur application, pour atteindre au 10^{ème} jour des taux maximaux (100%) .

Le taux de mortalité des L5 de *Schistocerca gregaria* ont montré une variabilité selon les modes d'application, ainsi le mode contact a révélé les plus importants taux de mortalité avec 68% pour le traitement Green muscle, 57% pour *Beauveria* sp. et 55% pour *Metarhizium* sp. .

Sur le plan morphologique, des changements de taille et de couleur ont été observés, au moment de la mue ainsi que les déformations totales ou partielles de l'insecte engendrées par *Beauveria* sp. et *Metarhizium* sp.

Une variation de la coloration de l'hémolymphe a été révélée pour les traitements à base de *Beauveria* sp., le Green muscle et *Metarhizium* sp. et l'observation microscopique a confirmé la présence de certaines conidies pour certains champignons. Cependant le prélèvement de l'hémolymphe issue de chaque traitement sur milieu PDA a confirmé la présence de l'ensemble des champignons testés mis à part le green muscle.

L'observation microscopique des coupes histologiques réalisées au niveau du mésenteron du tube digestif des individus de *S. gregaria* traités et témoins n'ont pas montré de grandes différences entre les témoins et ceux traités par *Trichoderma* sp. La partie la plus altérée du tube digestif des individus traités par les trois entomopathogènes est l'intestin moyen ou le mésenteron qui présente des destructions notables des cellules épithéliales au niveau de leur agencement, leur cohésion et au niveau de la membrane péritrophique qui apparaissait complètement lysée après traitement.

En perspectives, pour une meilleure poursuite de cette étude, il est souhaitable de :

- ✓ Tester les champignons les plus efficaces *in vitro* sur les différents stades du criquet pèlerin et en plein champ dans le biotope de ce ravageur ;
- ✓ Déterminer la DL50 des isolats testés ;
- ✓ Étudier leur toxicité, leur rémanence et leur persistance ;
- ✓ Les produire en masse et les formuler ;
- ✓ Les utiliser dans le biocontrôle d'autres insectes ravageurs ;
- ✓ Rechercher d'autres entomopathogènes efficaces pour lutter contre *Schistocerca gregaria* .
- ✓ Tester la souche de *Trichoderma* sp. sur d'autres insectes utiles pour sa formulation et son utilisation dans le biocontrôle des champignons phytopathogènes,

Références bibliographie :

- ❖ ALBRECHT F., 1967-Rhythmic activité of the grasshopper *poecilocus hieroglyphicus* (Acrididae pyrogomorphae). *Entomologie experimentalis et applicata* .(Amsterdam), n°11 :pp .341-347.
- ❖ ALABOUVETTE C., COUTEAUDIER Y., et LOUVET J., 1983 – Importance de phénomènes de compétition nutritive dans l'antagonisme entre microorganismes :pp 7-16. XXIV. Colloque de la société Française de phytopathologie. , n°34, Bordeaux (FR).
- ❖ ALEXOPOULOS C.J., MINS C.W.,and BLACKWELL M., 1996– *Introductory mycology*.Ed. Wiley, New York.,869 p.
- ❖ ALLAL–BENFEKIH L., 2006 - Recherches quantitatives sur le criquet migrateur *Locustamigratoria* (Orth. Oedipodinae) dans le Sahara algérien. Perspectives de lutte biologique à l'aide de microorganismes pathogènes et de peptides synthétiques.Thèse. Doct. Sciences agronomiques. INA., Alger: 140 p
- ❖ ALTOMARE C., YADAV .J., VERMA J.P., ET TIWARI K .N., 1999 - Plant Growth Promoting Activities of Fungi and their Effect on Chickpea Plant Growth in Science Alert. *Asian Journal of Biological Sciences*. ,4: 291-299p
- ❖ AMOURIQ L., 1973 – *Rapports entomologo-cryptogamiques : Eléments sur la relation entre les insectes et champignons*. Ed. Herman, Paris. 135 p.
- ❖ ANDERSEN S.O., 1979. Biochemistry of insect cuticle. *Annual Review of entomol*, 24: 29 _61 .
- ❖ ANONYME.,1993- *Schistocerca gregaria* (Forskal,1775).lettre d'information., S.A .S.,n°10,4p .

- ❖ ANONYME .,1982_the locust ,and grasshopper agricultural mammal .Ed.Cent .Avers.Pest.Rese.london.690p.
- ❖ BATEMAN R. P., 1991 – L’application de mycopesticides antiacridiens en gouttelettes calibrées., pp : 250-257 cité 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 ,Wallingford., 399 p.
- ❖ BEAUVÉRIE, J. 1911. Notes sur les Muscardines. Sur une muscardine du ver à soie, non produite par le *Botrytis bassiana*. Étude du *Botrytis effusa* sp. nov. Rapp. Comm. administrative du lab. d’études de la soie, Lyon, 14: 5-31.
- ❖ 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.
- ❖ 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.
- ❖ BENCHEIKH K, 2012 - Antagonisme in vitro de *Trichoderma* sp. à l’égard de *Phytophthora infestans* Mont.Bary agent causal du mildiou de la pomme de terre. 60p. Université Saad Dahleb Blida.
- ❖ BENDAHMANE B.S., MAHIOUT D., BENZOHRRA I.E. et BENKADA M.Y, 2012 - Antagonism of three Species against *Botrytis fabae* and *B.cinerea*, the causal agents of Chocolate spot of Faba Bean (*Vicia fabae* L) in Algeria in *World Applied Sciences journal* 17 (3): 278-283p.
- ❖ BESSELAT B., 1985 - Résultats obtenus par le service de la protection des végétaux dans le cadre de la lutte contre la pourriture grise de la vigne avec utilisation du *Trichoderma*. L’emploi des ennemis naturels dans la protection des culturesp ., pp 51-58. INRA Paris.

- ❖ BENHAMOU N. et CHET L., 1997 – Cellular and molecular mechanisms involved in the interaction between *Trichoderma harzianum* and *Pythium ultimum*. *Appl. Environ. Microbiol.*, 63, p. 2095–2099.
- ❖ BESNARD O. et DAVET P., 1993 - Mise en évidence de souches de *Trichoderma* spp. à la fois antagonistes de *Pythium ultimum* et stimulatrices de la croissance des plantes. *Biophytech. Agronomie*, 13, 413-421p.
- ❖ BLUMENTHAL C.Z., 2004 - Production of peptide metabolites in *Aspergillus niger*, *A. oryzae* and *Trichoderma reesei*: justification of mycotoxin testing in food grade enzyme preparations derived from the three fungi. *Regul. Toxicol. pharmacol.*, 39 (2) : 214-228p.
- ❖ BOTTON B., BRETON A., SERVE M., GUY PH., LARPEN T.J. et VEAU P., 1985 – Moisissures utiles et nuisibles. Importance industrielle , collection biotechnologie Ed. Masson, Paris. : 364p.
- ❖ BOUCIAS D. G., et PENDLAND I.C., 1991-Attachment of mycopathogens to cuticule: The initial event of mycosis in anthropod host. In: *The Fungal Spore and Disease Initiation in Plants and Animals*. G. T. Cole and H. C. Hoch (eds.), Plenum, New York.: 10 -128.
- ❖ BIOCONTROLE ., 2007- Efforts internationaux de biocontrôle des sauteriaux et des criquets. *Dossier Biocontrôle, Montréal, Canada, n°10, pp.5-6.*
- ❖ BISSETT, J., 1984 - A revision of the genus *Trichoderma* L. Section Longibrachiatum Sect. Nov. *Can. J. Bot.*, , 62 : 924-931p.
- ❖ BISSAD F.Z., 1998 – *Etude de l'activité biologique de Beauveria bassiana sur Schistocerca gregaria (Orthoptera , Acrididea) . Efficacité et effet sur la respiration et le rythme cardiaque de cet acridien.* Mém .Ing .agro. . Inst.Nat.Agro.ElHarach,: 94p.
- ❖ BISSAD F.Z., 2002 - *Etude comparative de l'effet du fipronil et d'un entomopathogène Beauveria Bassiana sur le criquet pèlerin Schistocerca gregaria (Forskal, 1775) (Orthoptera ,Acrididea)*.Thèse Magister, Sci.Agr.Inst.Nat.Agro.ElHarach, 112p.

- ❖ BLANFORD S. et M. B., THOMAS P., 1999 - Host thermal biology: the key to understanding insect-pathogen interactions and microbial pest control, *Agricultural and Forest Entomology* 1: 195–202.
- ❖ BLANFORD S., et THOMAS M. B., 2001- Adult Survival, Maturation, and Reproduction of the Desert Locust *Schistocerca gregaria* Infected with the Fungus *Metarhiziumanisopliae* var *acridum* *Journal of Invertebrate Pathology* 78: 1–8p.
- ❖ BREWER D., GREENWELL M. ET TAYLOR A., 1993 - Studies of *Trichoderma* sp. isolates from *Mytilus eludis* collected on the shores of cape Breton and Prince Edward islands. *Proc. N. S. Inst. Sci.*, 1993, 40 (1) : 29-40 p.
- ❖ CAGANI, L. et SVERSEL, M., 2001. The influence of ultraviolet light on pathogenicity of entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin to the European corn Borer, *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Crambidae). *J Central Eur Agric*, 2: 3-4.
- ❖ CASSIER.P. DELORME.J.C .,1976 -la différenciation imaginal de tégument chez les criquets CR pèlerins (l'évolution au cours de la mue et son déterminisme chez les males grégaires).*Ann.Scie.Nat.Zool.Paris* ,12^{ème} série ,T.18 :pp295_309.
- ❖ CARON J.L., LAVERDIERE, P.Q., THIBODEAU P.O. et BELANGER R.R., 2002 - Utilisation d'une souche indigène de *Trichoderma harzianum* contre cinq agents pathogènes chez le concombre et la tomate de serre au Québec. *Phytoprotection*, vol. 83, n° 2, 2002, p : 73-87
- ❖ CHAOUCH,A .,2009 .-Effets de deux champignons entomopathogènes ,*Beauveria bassiana* (Balsamo) et *Metarhizium anisopliae* var. *acridum* sur quelques paramètres biophysiques. I.N.A. EL HARRACH.107p.
- ❖ CHAPMAN.R.et JOERN A. ,1990- *Biologie of Grasshoppers* ,Ed.John wiley and SOHS,Newyork, 563p.
- ❖ CHOPARD L., 1943-orthoptérides de l'afrique du nord .Ed.Librairie Arose ,Paris,447p .

- ❖ CORNIA, M.B. et BEATRIZ, M.D., 2004. pathogenicity of hyphomycètes fungi against *cyclocephala signaticollis*. bio-control 00: 1-8, 2004. kluwer academie pubjishers. printed in the netherlands.
- ❖ COURNUT B., 1984 - Le genre *Trichoderma*, *Hyphomycetes*. Thèse de Doctorat d'état en Pharmacie : Aix Marseille 2. 77p.
- ❖ DAOUST, R.A. et PEREIRA. R.M., 1986a- Stability of entomopathogenic fungi *Beauveria. bassiana* and *Metarhizium anisopliae* on beetle-attracting tubers and cowpea foliage in Brazil. Environ. Entomol. 15: 1237-1243 .
- ❖ DAVET P., 1983 – Introduction et conservation de *Trichoderma* dans le sol. Les antagonistes microbiens, mode d'action et application à la lutte biologique contre les maladies des plantes, pp. 159-168. ACTA, INRA- ENSAM- Montpellier (FR).
- ❖ DE GREGORIO R.,1996-Le criquet pèlerin *shistocerca grégaria*, biologie et élevage , durée de développement et rythme de ponte dans des conditions de laboratoire .Ed, C.A.U.P .P.A ,Serv .film. Rech. Scie,Pau(PARIS).
- ❖ DELASSUS M.H.et PASQUIER R., 1929. La lutte contre les sauterelles en Algérie Pub.gow.gen.,Alger ,72p.
- ❖ DELGADO F.X., BRITTON J.H., LOBO-LIMA M.L., RAZAFINDRATIANAE. et SWEARINGEN W., 1997 – Small-scale field trials withentomopathogenic fungi against *Locusta migratoria* Capito inMAdagascar and *Oedalus senegalensis* in Cape Verde. New stratég.Locus. Contr., Verlag, pp: 171 – 176.
- ❖ DHOUBI M.H.,et JARRAYA A. , 1990 -l'invasion acridienne en Tunisie et son impact sur l'environnemen. Jour Internat ;Enn, Tunisie , 12p.
- ❖ DJEZZAR M.,2007_ effet d'un biobesticide n muscle sur les differents stades de schistocerca gregaria (forskal,1775).(orthoptera_acrididae) et impact sur quelques especes de la biocenose aquatique arcrididae cyrtacanthacridinae).pp20_21.p148.

- ❖ DOUTHWAITE B., LANGEWALD J., et HARRIS J., 2001- *Development and commercialization of the Green Muscle biopesticide*. Ed. CABI, IITA, Cotonou, Benin, 23p.
- ❖ DEMAIN A.L., et FANG A., 2000 - The natural functions of secondary metabolites. Depart. of Biology, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA. 13p.
- ❖ DORE M., BARBIER M., LECOQ M., et OULD BABAH M., **2008** - Prévention des invasions de criquet pèlerin analyse socio-technique d'un dispositif de gestion durable. *Cahiers Agricultures* **17**: 457–464.
- ❖ DOUMANDJI S., et DOUMANDJI MITICH B., 1994 *Criquet et Sauterelles (Acridologie)* ; Ed. off. Pud. Univ, Alger 99 p.
- ❖ DOMSCH K.H., GAMS W., et ANDERSON T.H., 1993 - *Compendium of soil fungi*. Vol. I & II, reprint IHW - Verlag. Eching, Germany, 859, 405 p.
- ❖ DURANTON D.F., et Lecoq M., 1990_ *le criquet pèlerin au sahel* .coll.arid.opert.d.CIRAD_PRIFAS ,Montpellier, 343P .
- ❖ .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.
- ❖ ENTZ S. C., KAWCHUK L. M., et JOHNSON D. L., 2008-Discovery of a North American genetic variant of the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* var. *anisopliae* pathogenic to grasshoppers. Ed. *BioControl* 53 : 327–339.
- ❖ ELLIOT S.L., BLANFORD S., THOMAS M.B., 2002-Host-pathogen interactions in a varying environment: temperature, behavioural fever and fitness. *Proceedings of the Royal Society of London Series B—Biological Sciences* 269, 1599–1607.
- ❖ ESPOSITO E., et SILVA M., 1998 - Systematics and environmental application of the genus *Trichoderma*. *Rev Microbiol* n° 24 (2):89-98p.
- ❖ FAO ., 2004- *Bulletin sur le criquet pèlerin*. Rome, 219: 1–5.

- ❖ FAO, 2007- Guidelines : Field efficacy trials with the entomopathogen *Metarhiziumanisopliae* var. *acridum* (Green Muscle™) against the Desert Locust (*Schistocercagregaria*) and Monitoring of its operational use. Ed. FAO/AGPP, Rome, 33 p.
- ❖ FARIA M., et WRAIGHT S.P., 2001- Biological control of *Bemisia tabaci* with fungi. *Crop Protection*. 20, 767-778.
- ❖ FARGUES J., OUEDRAOGO A., GOETTEL M.S., ET LOMER C.J., 1997 -Effects of temperature, humidity and inoculation method on susceptibility of *Schistocerca gregaria* to *Metarhizium flavoviride*. *Biocontrol Sci Technol* 7:345–356
- ❖ FARGUES J., GOETTEL M.S., SMITS N., OUEDRAOGO A. et ROUGIER M., 1997 -Effect of temperature on vegetative growth of *Beauveria bassiana* isolates from different origins. *Mycologia*, 89, 383–392.
- ❖ FARGUES, J., 2003 - New challenges for fungal bioinsecticides. *IOBC/WPRS Bull.*26: 9–20 p.
- ❖ FERRON P., FARGUES J., et RIBA G., 1991- Les champignons agents de lutte microbiologique contre les ravageurs. In *Handbook of applied mycology*, 2: 237-270.
- ❖ FERNANDES E.K.K., KEYSER C.A., CHONG J.P., RANGEL D.E.N., MILLER M.P. et ROBERTS D.W. ,2010 - Characterization of *Metarhizium* species and varieties based on molecular analysis, heat tolerance and cold activity. *Journal of Applied Microbiology* 108:115–128
- ❖ FESCEMYERH W .,1993- influence of phase polymorphisme on the morphometrie and physiological processus in preparation for insect migration .*J.Aгри. Entomol.*,n°10(4).219_237 .
- ❖ GAMS W.G. et BISSETT J., 1998 – Morphology and identification of *Trichoderma*. *Trichoderma and Gliocladium*. Vol. 1. Basic biology, taxonomy and genetics. London: Taylor & Francis Ltd. p. 3–25 p.
- ❖ GAUGLER R. L. ,et LASHOMB, J. J.,1989. Stability and efficacy of *Beauveria bassiana* soil inoculations. *Environ. Entomol.* pp.18: 412-418.

- ❖ GHIDAUI H. ,1990.élevage du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* Forsk et impact des divers substrats alimentaires sur la production. Mem .Ing,Eco.Sub. hort,Sousse, Tunis,44p.
- ❖ GIRARDIE.,1991_ Régulation endocrinienne du développent , de la reproduction et du polymorphisme phasaire _ la lutte anti_acridienne .Ed.Aupelf ,john lidday Eurotext ,Paris.pp.119_127.
- ❖ GILLETTS.D.,1978_ environmental determinants of phase polymorphism of the desert locust ,*Schistocerca gregaria* (forsk),reared crowded.Acrida, n°è(4).267_288.
- ❖ GENILLOUD O., PELAEZ F., GONZALEZ I., DYEZ M.T., 1994 - Diversity of actinomycetes and fungi on seaweeds from the Iberian coasts. Microbiologia SEM 10:413-422p
- ❖ GOETTEL M.S.,1992. Biological control of locusts and grasshoppers. Wallingford, UK: CAB. International, 122-130.
- ❖ GRASS P.P .,1949 -Traité de zoologie, anatomie , systématique , biologie .Ed .Masson .T.IX, Paris,1117p.
- ❖ GREATHEAD D.J., KOOYMAN C., LAUNOIS-LUONG M.H.et POPOV G.B., 1994 – Lesennemis naturels des criquets du Sahel. Ed. CIRAD /Prifas, n°8, Montpellier, 147 p.
- ❖ GRADEN, E., LOCKWOOD, J.L. 1991- Effects of soil fungistasis on *Beauveria bassiana* and its relationship to disease incidence in the Colorado potato beetll. *Leptinotarsa decemlineata*, in Michigan and Rhode Island soils. J. Invertebr. Pathol. pp. 57: 7-76.
- ❖ GREATHEAD D.I, KOOYMAN c., LAUNOIS-LUONG M. H., et Popov G.B. ,1994. Les ennemis naturels des criquets du Sahel. Collection Acridologie Opérationnelle N8 CILSS/DFPV, Niamey, 1262.
- ❖ GUENDOUZ-BENRIMA A . ,**2005** - *Ecophysiology et biogéographie du Criquet pèlerin Schistocerca gregaria (Forskal, 1775) (Orthoptera, Acrididae) dans le sud Algérien*. Thès. Doct. D’Etat, Inst. nat. agr. El-Harrach, 210p.

- ❖ HABBES D ., 1989 - Effet de *Bacillus thuringiensis* sur l'intestin, les hemocytes et sur le métabolisme général de *Thaumetopea pityocampa* Schiff (*Mepidoptera* ,*Notodontidae*). Thèse Magister, Sci.Agr. Univ. Annaba ,83p.

- ❖ HADDAJ F .,2001- *Evaluation de l'activité biologique de l'entomopathogène Beauveria bassiana* (Hyphomycetes , Deuteromycotina) , efficacité sur la cuticule des L5 de *Schistocerca gregaria* (Forsk. ,1775)(*Acrididae* , *Cyrtacanthacridinae*). Thèse Magister, Sci. Agr. Inst. Nat. Agro. ElHarach. 96p

- ❖ HALOUANE F ., 1997 - Cycle biologique de *Schistocerca gregaria* (Forsk. , 1775) et de *Locusta migratoria* (Linné ;1778) (*Orthoptera* ,*Acrididea*) Efficacité de *Metarhizium anisopliae* (Metch) (*Hyphomycetes* ,*Deuteromycotina*) et effet sur quelques paramètres physiologiques de *Schistocerca gregaria* . These Magister, Sci.Agr.Inst.Nat.Agro.ElHarach, 235p.

- ❖ HALOUANE F., 2007- *Recherche sur l'acridopathogène Beauveria bassiana* (Hyphomycète, Deuteromycotina) : biologie, production et application sur *Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775) et *Locusta migratoria* (Linné ; 1758) (*Orthoptera* ,*Acrididae*). Thèse doctorat ; Inst.Nati. Agro; El-Harrach, 285p.

- ❖ HALLSWOLTH et MAGAN, K.E. 1999. Hallsworth and N. Magan, Water and temperature relations of growth of three entomogenous fungi *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* and *Paecilomyces farinosus*, J. Invertebr. Pathol, 261-266.

- ❖ HALLING J.L., WRIGHT S.P et MILLER R.M. ,2004. Efficacy of *Beauveria bassiana* (Hyphomycetes) for Control of Russian wheat aphid (Homoptera: Aphidae) on resistant wheat under field condition. Biol, Sc, Technol. 14: 459-473.

- ❖ HASTUTI, B.S., GLARE T.R. et CHAPMAN, R. B. 1999. Effect of temperature and humidity on the susceptibility of *Parosia clarybdis* to *Beauveria bassiana*. Proc. 52nd N.Z. Plant Protection Conf, 103-107.

- ❖ HASNI A., 2012 - Antagonisme *in vitro* du genre *Trichoderma* indigène à la rhizosphère de la pomme de terre *Solanum tuberosum* L. à l'égard de *Phytophthora infestans* M. de Barry, agent responsable du mildiou en Algérie. 89p. Th. Ing. Univ. S. Dahleb de Blida.

- ❖ HASSANI M., 2000 – Developpement and proving of biocontrol methods based on *Bacillus thuringiensis* and entomopathogenic fungi against the cotton pests *spodopteralittoralis* , *Helicoverpa armegera* (*Lepidoptera* , *Noctuidae*) and *Aphis gossypii* (*Homoptera* , *Aphididae*) . Thesis Doctor Agri. Sci. Justus Leibig University, Giessen ,130p.
- ❖ 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* (Forskal,1775) (*Cyrtacanthacridinae* , *Acrididae*) . Mém.Ing. agro. . Inst.Nat.Agro.ElHarach , 94 p
- ❖ HIBAR K., DAAMI-REMADI M., KHIAREDDINE H. et El MAHDJOUR M., 2005 – Effet inhibiteur *in vitro* et *in vivo* du *Trichoderma harzianum* sur *Fusarium oxysporum* f.
- ❖ INGLIS G. DOUGLAS, DUKE GRANT M., GOETTEL MARK S., KABALUK J. TODD ,2007-Genetic diversity of *Metarhizium anisopliae* var. *anisopliae* in southwestern British Columbia, *Journal of Invertebrate Pathology* 98 : 101–113.
- ❖ JARONSKI S. T., ET GOETTEL M. S. M., 1997 – Development of *Beauveria bassiana* for control of grasshoppers and locusts. *Mem. Ent. Sci.Canada.*, N°171, pp: 225 – 237.
- ❖ KANE C.M.H., SAKHO El B.L. et WILPS H., 2007-Comparaison de la virulence de deux souches de *Metarhizium anisopliae* var *acridum* sur le Criquet Pèlerin, *Schistocerca gregaria* et l'effet de la température sur leur efficacité, 17ème Conférence de l'Association Africaine des Entomologistes, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 11 -15 juin 2007. Ed. The African Association Of Insect Scientists, Nairobi, Kenya.
- ❖ KARA F.Z., 1997- *Etude de quelques aspects écologiques et régime alimentaire de Schistocerca gregaria* (Forskal, 1775) (*Orthoptera:Acrididae*) dans la région d'Adrar et en conditions contrôlées. Thèse Magister, Institut National Agronomique, El Harrach, Algérie. 180p

- ❖ KARA F.,2010_ Evaluation du statut phasaire dans les biotopes solitaires du croquet pelerine *Schistocerca gregaria* en Algérie et essai de lutte par un biopesticide.p183.
- ❖ KELLER S., et ZIMMERMANN G. J ., 1989. Mycopathogens of soil insects. [n Wilding, N., N. Collins, N. M.Hammond, P. M. Webber, and 1. F. Webber (eds.), *Insect-Fungus Interactions*. Academie Press, London, p. 240-269.
- ❖ KLEESPIES R. G., and ZIMMERMAN G., 1992 – Production of blastospores by threestrains of *Metarhizium anisopliae* (Metch) Sorkin in submerged culture. *Biocont. Sci. Tech.*, n°2, pp : 127 – 137.
- ❖ KOOYMAN C., 2007- *Metarhizium anisopliae* var. *acridum*,la matière active duGreen 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
- ❖ KOUASSIM., CODERRE D ., et TODOROVAS.1. ,2002- Relative Performance of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin (Deuteromycotina: MoniliaJe) and the insecticide cygon (Dimethoate) in field control of the tarnished plant bug *Lygus lineolaris* (Palisot de Beauvois) (Hemiptera: Miridae). *J Entomol Sei*, 38:359-367.
- ❖ KUBICEK C.P., BISSETT J., DRUZHININA I., KULLNIG-GRADINGER C.M., et SZAKACS G., 2002 - Genetic and metabolic diversity of *Trichoderma*: a case study on South East Asian isolates. *Fungal Genet Biol*. 2003; 38:310–319.
- ❖ LACEY L.A.,et GOETTEL M.S., 1995 - Current developments in microbial control of insects and pests and prospects for the early 21st century. *Entomophaga* 40, 3-27.
- ❖ LANDREAU A., 2001 - Métabolites d’une souche de *Trichoderma koningii* Oudemans isolée du milieu marin : Etude chimique, biologique et risques pour les coquillages en culture. Thèse en Pharmacie, Université de Nantes, France, 201p.
- ❖ LANUSSE M., LUNG-ESCHARMANT B., DUBOT B. et TARIS B., 1983 - Etude *in-vitro* des propriétés antagonistes de 8 espèces de *Trichoderma* à l’égard de deux

souches d'*Armillaria mellea*, pp. 179-192. XXIV colloque de la société Française de phytopathologie, n°34, Bordeaux (FR).

- ❖ LAUNOIS_LUONG M.H.,1975_l'alimentation du criquet migrateur *locusta migratoria* capito(saus) en phase solitaire a Madagascar_ Régime et effets .Thèse doctorat d'état es_sc, Univ.Paris _Sud , Orsay,202p.
- ❖ LAUNOIS _LUONG M.H., et Popov G.B. ,1992_Schistocerca grégaria (Foskal,1775) Acrididae C .Ed. CIRAD_PRIFES .,Paris,4p
- ❖ LAUNOIS_LUONG M.H., et LECOQ M. ,1993-maueel explicatif du code ONMde transmission des informations sur les criquets ravageurs. Ed .Org .Mete,Mond.Org.Isl.Etu.sci.col,Genève,30p.
- ❖ 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.
- ❖ LATCHININSKY A.V., et LAUNOIS-LUONG M. H., 1992 – *Le Criquetmarocain, Dociostaurus maroccanus (Thunberg, 1815), dans la partieorientale de son aire de distribution. Etude monographique relative à l'ex-URSS et aux pays proches.* — CIRAD-GERDAT-PRIFAS : Montpellier / VIZR : Saint-Pétersbourg, 270 p.
- ❖ 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.
- ❖ LECOQ, 1999- Le Criquet pèlerin : enseignements de la dernière invasion et perspectives offertes par la biomodélisation. La lutte anti-acridienne. Ed. AUPELFUREF,John Libbey Eurotext, Paris, pp. 71-98.
- ❖ LECOQ M., 2005- Desert locust management: from ecology to anthropology.*Journal of Orthoptera Research* 14: 179–186.
- ❖ LEPOIVRE P., 2003 - Phytopathologie bases moléculaires et biologiques 427p.

- ❖ LOHER W.,1960 _The chemi-écac acceleration of the maturation ie and its hormonal control in the male of the desert locust.Proceedings of the Royal Society of London ,Series B,(London) ,n°153 ,pp.380_397.
- ❖ LIU H., SKINNER M., et PARKER B.L., 2003b. Bioassay method for assessing the virulence of *Beauveria bassiana* against tarnished plant bug, *Lygus lineolaris* (Hem, Miridae). 1. App!. Entomol. 127: 299-304.
- ❖ LIU B.H., Yu F.Y., WU T.S., LI S.Y., SU M.C., WANG M.C., SHIH S.M.,2003.Evaluation of genotoxic risk and oxidative DNA damage in mammalian cells exposed to mycotoxins, patulin and citrinin.Toxicol. Appl. Pharmacol. 191 (3), 255–263
- ❖ LOMER C.J., et PRIOR C., 1991 – Lutte biologique contre les acridiens. compte rendu d’un atelier tenu a l’inst. Internat. Agricult. Tropic., cotonou (Bénin), 383 p.
- ❖ LOMER C.J., 1997- *Metarhizium flavoviride*: recent results in the control of locustsandgrasshoppers, pp. 159-169 in KRALL S., PEVELING R. and BA DIALLO D., *New strategies in locust control*, Ed. Birkhäuser Verlag, Basel/ Switzerland, 522p.
- ❖ 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.
- ❖ LUZ C., TIGANO M.S., SILVA O., CORDEIRO C.M. et SALAH M.A. 1989- Selection of *B. bassiana* and *Metarhizium anÎ50pliae* Isolates to Control *Triatoma infestans*. Mem Inst Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro. 93: 839-846.
- ❖ LYNCH J.M., LUMSDEN R.D., ATKEY P.T. et OUSLEY M.A., 1991a - Prospects for control of *Pythium* damping-off of lettuce with *Trichoderma*, *Gliocladium*, and *Enterobacter* spp. Biology and Fertility of Soils, 12, 95- 99p.
- ❖ LYNCH J.M., WILSON K.L., OUSLEY M.A., WHIPPS J.M., 1991b - Response of lettuce to *Trichoderma* treatment. Letters in Applied Microbiology, 12, 56- 61p.

- ❖ MAGALHAES B.P., BUTT T.M., HUMBER R.A., SHIELDS E.J., ET ROBERTS, D.W. 1989. Formation of appressoria in vitro by the entomopathogenic fungus *Zoophthora radicans* (Zygomycetes: entomophthorales). 1. Inv. Pathol. 55: 284-288.
- ❖ 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.
- ❖ MARION POLL F., DINAN I., LAFONT R., 2002 – *Place des phytoecdystéroïdes dans la lutte contre les insectes phytophages*. Ed. Lavoisier, Paris : 97-114.
- ❖ MARTODJA, R et MARTODJA_PIERSON M., 1967 . initiation aux techniques de l'histologie animale, Masson & cie éditeurs, Paris, 329pp.
- ❖ MCCAY A., QUINTELA E.D. et FARIA M. , 1990. Environmental Persistence of Entomopathogenic Fungi. In, *New direction in biological control*. R.R. Baker and P.E. Dunn (eds), A.R. Liss, New York. p. 139-159. Mestre D ., 1988. les acridiens des formations herbeuses d'Afrique de l'ouest . Ed. CIRAD_PRIFAS, Paris, 330p .
- ❖ MESTRE D ., 1988-les acridiens des formations herbeuses d'Afrique de l'ouest . ed. cirad_prifas, paris, 330p pend land, le. 1982. resistant structures in the entomogenous hphomycete, *nomuraea rileyi*: an ultra structural study. cano 1. bot. 60: 1569-] 576.
- ❖ MILNER R.J., SAMSON P., et MORTON R., 2003 - Persistence of conidia of *Metarhizium anisopliae* in sugarcane fields: Effect of isolate and formulation on persistence over 3.5 years. *Biocontrol Science and Technology* 13 (5): 507-516.
- ❖ MILLAT-BISSAD F., BOUNACEUR F., HALOUNE F., et DOUMANDJI-MITICH B. , 2011. Etude de l'effet de deux champignons entomopathogènes *Beauveria bassiana* et *metarhizium anisopliae* var *acridium* sur le comportement alimentaire de *Schistocerca gregaria*. *Algerian journal of arid environment*. vol.1, n°2 Décembre 2011 :40-45 .

- ❖ MORALES AGACINO E., 1952_ Le problème antiacridien en Amérique centrale et au Mexique. Bulletin Phytosanitaire de la FAO (Roma),n°1(2),pp.19_21.
- ❖ MOUMENE S., BENCHEIKH K., ZANOUNE S., HOUMANI Z. et BOUZNAD Z., 2013 - Antagonisme *in vitro* et *in vivo* de *Trichoderma* sp. à l'égard de *Phytophthora infestans* Mont.Bary agent causal du mildiou de la pomme de terre. 60p. Université Saad Dahleb Blida.
- ❖ MOURIA A., OUEZZANI-TOUHAMI A., et DOUIRA .,2007 – Effet de diverses souches du *Trichoderma* sur la croissance d'une culture de tomate en serre et leur aptitude à coloniser les racines et le substrat. Revue Phytoprotection, Vol.88, n°3. Éd. Société de protection des plantes du Québec (SPPQ). p. 103-110.
- ❖ MOUSSAOUI M., 2010 - Développement et extraction des métabolites secondaires de *Trichoderma viride* et leurs effets biologiquement actifs. 64p. Univ. Mentouri Constantine.
- ❖ MOUSSA A., 2003 – Effet de l'huile de neem (*Azadirachta indica*) sur quelquesparamètres biologiques et physiologiques de *Locusta migratoria* (R et F , 1850) (*Orthoptera* , *Acrididae*) . Thèse Magister, Sci.Agr. Inst.Nat.Agro.ElHarach, 123p.
- ❖ NAM J. S., LEE D.H., LEE K. H., PARK H.-M. B., 1998 -Cloning and phylogeneticanalysis of chitin synthase genes from the insect pathogenic fungus, *Metarhizium anisopliae* var. *anisopliae*.*FEMS Microbiology Letters*. 159 77-84
- ❖ NORRIS M.J ;1962 _The effects of density and grouping on sexuelle maturation, feed in grand activity in caged *Schistocerca gregaria* .colleques internationaux du centre national de la Recherche scientifique(Paris),n°114,pp 1_10.
- ❖ NUREIN H.OM,1989_ le croquet pèlerin révision des locustes et sauteriaux Ed.Bayer ,France, 39p.
- ❖ Ould Elhadj M.D., 1999 - Etude du régime alimentaire de quatre espèces d'Acrididae dans les conditions naturelles de la ferme de jouifa dans la région de bénis Abbés (Sahara septentrional) *Ann. Inst. Nati. Agro.* , El Harrach, Vol. 20 (1-2) : 69 -75.

- ❖ OUTTAR F.2009 . utilisation de quelques biopesticides sur le criquet migrateur *locusta migratoria* (LINNE ,1758)(Oedipodinae,Acrididae) p.171 .
- ❖ PAILLOT, 1933 – L'infection chez les insectes. Ed. Patissier, Paris, 471 p.
- ❖ PAPILLION _ TCHELBI M ,1962_ interaction du groupement , de l'alimentation et d'un facteur saisonnier sur *Schistocerca gregaria* (Foskal,1775).Coll.inter. CNRS , Paris ,pp 37_61.
- ❖ PAPAIVIZAS G.C., 1985 - *Trichoderma* and *Gliocladium*: Biology, ecology and potential for biocontrol. Ann. Rev. Phytopathol., 1985, 23: 23-54 p.
- ❖ PEND LAND, le. 1982. Resistant structures in the entomogenous hphomycete, *Nomuraea rileyi*: an ultra structural study. Cano 1. Bot. 60: 1569-] 576.
- ❖ PEDGLEY. D.E., 1981. # *Desert Locust forecasting manual (vol1 et 2)*. Ed.Centre for verseas Pest Research (COPR), London, 444 p.
- ❖ POPOV G .B. , DURANTON D.F. et GIGOULT D., 1991 _ Etude écologique des biotopes du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forskal,1775) en afrique du nord occidentale .coo .dev.onc,CCE,Cent.coo.Inter rech. Agro.dev.343p.
- ❖ POPOV.G.B.1997.Atlas des aires de reproduction des criquets pèlerin .Ed.Org.nat.Uni.alim.Rome.122p.
- ❖ PRIETO A., LEAL J.A., POVEDA A. JIMENEZ-BARBERO J., GOMEZ-MIRANDA B., DOMENECH J., AHRAZEM O., et BERNABÉ M., 1997 – Structure of complex cell wall polysaccharides isolated from *Trichoderma* et *Hypocrea* species. Carbohydr. Res. 304 : 281-291 p.
- ❖ PRIOR C., 1993 – Les biopesticides contre les criquets. La recherche N° 251, Vol 24, pp 219-221.
- ❖ RACCAUD_SHOELLER. J., 1980 – *Les insectes : physiologie te développement*. Ed.Masson, Paris, 296 p.
- ❖ REGNAULT ROGER C., FABRES G., ET PHILOGENE B.JR., 2005 -*L'enjeu phytosanitaire pour l'agriculture et l'environnement*. Ed. Lavoisier : 1013 p.

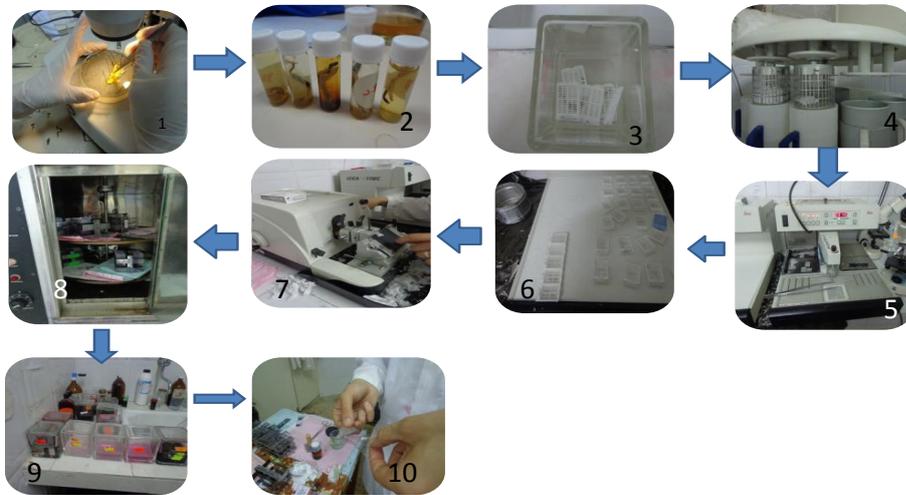
- ❖ REGNAULT ROGER C., PHILOGENE B.JR., VINCENT C., 2002- *Biopesticides d'origine végétale* .Lavoisier Tec &Doc. Paris
- ❖ RIDOUT C.J., COLLEY-SMITH J.R. et LYNCH M., 1986 - Enzyme activity and electrophoretic profile of extracellular protein induced in *Trichoderma* spp. by cell walls of *Rhizoctonia solani*. Journal of general microbiology, 132p., 2345-2352.
- ❖ ROQUEBERT M.F., 1996 – Interactions antagonistes de *Trichoderma* sp dans les systèmes telluriques: systématique compte–rendu de 4^{ème} rencontre en Toxicologie, Paris, 1996, 13-15p.
- ❖ ROWELL C.H.F. and CANNIS T.L.1971_ Environnemental factors affecting the green/brown polymorphisme in the cyrtacantharidine grasshopper *Schistocerca gregaria* (Scudder). *Acrida*, n°1, pp.69-77.
- ❖ SABBAHI, R; MERZOUKI, A et GLIERTIN, e. 2008a. Efficacy of *Beauveria bassiana* against the strawberry pests, *Lygus lineolaris*, *Anthonomus signatus* and *Otiorynchus ovatus*. J. Appl. Entomol. In presse.
- ❖ SABBAHI, R; MERZOLLKI, A et GUERTIN, C. 2008b. Efficacy of *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. against the tarnished plant bug, *Lygus lineolaris* L., in strawberries. 1 App!. Entoma I. 2: J24-J 34.
- ❖ SANDGREN M., STAHLBERG J. et MITCHINSON C., 2005 - Structural and biochemical studies of GH family 12 cellulases: improved thermal stability, and ligand complexes. Prog. Biophys. Mol. Bio., 2005, 89: 246-291p.
- ❖ SAMUELS G.J., PETRINI O. et MANGUIN S. 1994 - Morphological and macromolecular characterization of *Hypocrea schweinitzii* and its *Trichoderma* anamorph. Mycologia 86: 421-435p..
- ❖ 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](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.
- ❖ SILVY, C. et RIBA, G. 1989. Biopesticides contre maladies, insectes, mauvaise herbe. Dossier de l'environnement N° J 9, 157-20].
- ❖ ST LEGER, RJ. 1993. Biology and mechanisms of insect-cuticle invasion by deuteromycete fungal pathogens. In: Parasites and pathogens of insects (Vol. 2). Beckage NE, Thompson SN, Federici BA (eds.). Academic Press Inc., New York, USA. 211-225.
- ❖ STEINKRAUS, D.C. et N.P. Tugwell, 1997. *Beauveria bassiana* (Deuteromycotina: Moniliales) Effects on *LJ'gus lineolaris* (Hemiptera:Miridae). *J. Entomol. Sei.* 32: 79-90.
- ❖ STEPHAN D., WELLING M., et ZIMMERMANN G., 1997- Locust control with *Metarhizium flavoviride*: new approaches in the development of a biopreparation based on blastospores, pp. 151-158 in KRALL S., PEVELING R. and BA DIALLO D., *New strategies in locust control*, Ed. Birkhäuser Verlag, Basel/ Switzerland, 522p.
- ❖ SUBRAMANIAN C.V., 1998 - Hyphomycetes. Taxonomy and Biology. Londres : Academic Press Inc., 1983, pp. 340-347, 502 p.
- ❖ SUGIYAMA J., 1987 - Pleomorphic fungi: the diversity and its taxonomic implications. Tokyo: Kodansha. Ed. Elsevier, pp 29 – 56, 325p.
- ❖ TADELA, T. et PRINGLE, K.L. 2003. Food consumption by *Cllilo par/el/us* (Lepdidoptera: Peralidae) larvae infected with *Beauveria basssiana* and *Metharizium anisopliae* and effects of feeding natural versus artificial diets on mortality and mycosis. 1. *Inv. Pathol.* 84: 220-225.
- ❖ TODOROVA, S,J., Côté IC., Martel, P. et Coderre, D. 1994. Heterogeneity of two *Beauveria bassiana* strains revealed by biochemical tests, protein profiles and bioassays on *Leptinotarsa decemlineata* (Col: Coccinelidae) larvae. *Entomophaga.* 39: 159-169.

- ❖ TODOROVA, S.I., Côté, IC. et Coderre, D. 1996. Evaluation of the effects two *Beauveria bassiana* (Balsamo) vuillemin strains on the development of *Coleomegilla maculatae* (col, Coccinellidae). *J. Appl. Ent.* 120: 159-163.
- ❖ TODOROVA, S.I., Cloutier, C., Côté, Ie. et Coderre, D. 2002a. Pathogenicity of six isolates of *Beauveria bassiana* (balsamo) vuillemin (Deuteromycotina, hyphomycetes) to *Perillus bioculatus* (Hem: Pentatomidae). *J. Appl. Ent.* 126: 182-185.
- ❖ TRUDEL, R., LAVALLER, R., GUERTAIN, E., COTE, E., TODOROVA, S., ALFARO, R. et KOPE H. 2007. Potentiel de *Beauveria bassiana* (Hyphomycetes: Moniliales) pour le contrôle du charançon du pin blanc, *Pissodes strobi* (Col., Curculionidae). *J. App.Entamal.* 8 :90-97.
- ❖ UVAROV B.P., 1929_ phases of locusts and their inter _relations .*Bull;Ent.research,London ,n°3,pp.261_265;*
- ❖ Uvarov B., 1966 - Grasshoppers and Locusts, vol.1. Cambridge University Press, Cambridge, UK
- ❖ VAN HUIS A., 1995- Desert locust plagues. *Elsevier science*, pp.118-124.
- ❖ 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.
- ❖ VINING L.C., 1990 - Functions of secondary metabolites. *Annu. Rev. Microbiol.*, 1990, 44 : 395-427p.
- ❖ VIZSCAINO J.A., SANZ L., CARDOZA R.E., MONTE E. et GUTIERREZ S., 2005 - Detection of putative peptide synthetase genes in *Trichoderma* species: Application of this method to the cloning of a gene from *T. harzianum* CECT 2413. *FEMS Microb. Lett.*, 2005, 244 : 139–148p.
- ❖ WEISER', J. 1972. *Beauveria* Vuill. In. *Nemoci hmyzu. Naklad. Ceskoslov. Akademie*, parapha. 361-377p.

- ❖ WEIDLING, 1934 - Studies on a lethal principle effective in the parasitic action of *Trichoderma lignorum* on *Rhizoctonia solani* and other soil fungi. *Phytopathology* 24: 1153–1179p.
- ❖ WELLING M. et ZIMMERMANN G., 1997- *Sorosporella* sp., a fungal pathogen of the migratory locust, *Locusta migratoria capito*, in Madagascar, pp. 243-245 in KRALLS., PEVELING R. and BA DIALLO D., *New strategies in locust control*, Ed. BirkhäuserVerlag, Basel/ Switzerland, 522p.
- ❖ WIDDEN P. et ABITROL J.J., 1980 - Seasonality of *Trichoderma* species in a spruce-forest soil. *Mycologia*, 1980, 72 : 775-784p.
- ❖ WRAIGHT, R. 1. et ROBERTS, D. W. 1987. Insect control effort with fungi. *Devel. Industr. Microbiol.* 28: 77-87.
- ❖ YEDIDIA I., BENHAMOU N. ET CHET I., 1999 - Induction of defense responses in cucumber plants (*Cucumis sativus* L.) by biocontrol agent *Trichoderma harzianum*. *Appl. Environ. Microbiol.* 65, p. 1061–1070.
- ❖ ZANOUNE, 2012 Antagonisme *in vivo* des isolats Algériens de *Trichoderma* sp. à l'égard de *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. agent responsable du mildiou de la pomme de terre en Algérie. 100p. Université Saad Dahleb. Blida
- ❖ ZIMMERMAN G., 1993 – The entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* and its potential as a biocontrol agent. *Pest. Sci.*, n°37, pp: 375 – 379.

Annexes



Etapes de préparation des coupes histologique..



Prélèvement de l'hémolymphe des L5 de *S gregaria*.

Préparation de milieu PDA :

20g de pomme de terre.

20g d'Agar

1L d'eau distillé stérile.

Etude de la toxicité des isolats fongiques



Sommaires

Introduction	01
1 Données bibliographiques sur le criquet pèlerin	03
1.1 Position systématique.....	03
1.2 Morphologie.....	03
1.3 Structure Anatomique du criquet pèlerin.....	04
1.4 Biologie du criquet pèlerin	07
1.5 L'alimentation chez le criquet pèlerin	09
1.6 Dégâts et importance économique.....	09
1.7 Polymorphisme phasaire.....	10
1.8 Répartition géographique.....	11
1.9 Aire de distribution	12
1.10 Le criquet pèlerin en Algérie.....	13
1.11 La lutte antiacridienne.....	15
1.12 Aperçus sur deux champignons entomopathogènes acridicides.....	18
1.12.1 Beauveria bassiana.....	18
1.12.1.1 Historique.....	18
1.12.1.2 Position systématique.....	18
1.12.1.3 Aspect cultural et morphologie.....	18
1.12.1.4 Utilisation de beauveria bassina contre les ravageurs.....	19
1.12.1.5 Metarhizium.....	19
1.12.2 Historique.....	20
1.12.2.1 Position systématique.....	20
1.12.2.2 Morphologie.....	20
1.12.3 Green muscle.....	21
1.12.3.1 Historique.....	21
1.12.3.2 Formulation et historique.....	22

1.12.3.3 Efficacité du Green muscle en plein champ.....	23
1.12.4 Mode d'action des entomopathogènes.....	23
1.12.5 Facteurs affectant l'efficacité de deux champignons entomopathogènes.....	25
1.12.6 Conservation de deux entomopathogènes.....	26
1.13 Généralités sur les Trichoderma.....	26
1.13.1 Introduction.....	26
1.13.2 Taxonomie.....	27
1.13.3 Caractérisation culturelle et morphologique.....	27
1.13.4 Pouvoir antagoniste.....	28
1.13.5 Intérêts de l'utilisation de Trichoderma spp dans L'agriculture biologique.....	29
2 Matériels et méthodes.....	32
2.1 Introduction.....	32
2.2 Matériel biologique.....	32
2.2.1 Criquet pèlerin.....	33
2.2.2 Les champignons.....	33
2.3 Elevage des larves L5 en masse du criquet pèlerin.....	35
2.4 Etude de la toxicité des isolats fongiques.....	36
2.5 Toxicité par l'effet des champignons sur la mortalité et morphologie de L5 de S.gregaria.....	37
2.6 Etude de l'effet des champignons par mode contact sur l'hémolymphe.....	37
2.7 Etude de l'effet des traitement fongique par mode ingestion sur le tube digestif.....	38
2.8 Analyses statistiques.....	40
3.Résultats et discussion	41
3.1 Etude de la toxicité des traitements à base des trois champignons testés.....	41
3.2 L'effet des champignons sur le comportement et la morphologie des larves L5 de S.grégaria.....	45
3.3 Recherche des champignons testés dans l'hémolymphe des L5 de S.gregaria.....	47

3.4 Etude de l'effet des traitements fongiques sur la morphologie et la structure de tube digestif de <i>S.gregaria</i>	48
Discussion.....	50
Conclusion.....	57
Références bibliographiques	
Annexes.	
Sommaire.	