

Université de Blida 1
Faculté des sciences de la nature et de la vie

MEMOIRE DE MAGISTER

En Sciences Agronomiques

Spécialité : Biodiversité -Bioprotection

BIOECOLOGIE DES POPULATIONS DU CRIQUET PELERIN *SCHISTOCERCA GREGARIA* (FORSKÅL, 1775) (ORTHOPTERA, ACRIDIDAE) DANS LE SUD ALGERIEN.

Par

IRZAGH Ahmed

Devant le jury composé de :

L. Allal - Benfekih	Professeur	Université Blida 1	Présidente
A. Guendouz -Benrima	Professeur	Université Blida1	Promotrice
J. Mahdjoubi	Maître Assistant(A)	Université Guelma	Co promoteur
Z.E Djazouli	Maître de conférences(A)	Université Blida1	Examineur
F.Z Milat- Bissaad	Maître de conférences(A)	Université Boumerdes	Examinatrice

Blida, Décembre 2013.

RESUME

La présente étude rentre dans le cadre de l'évaluation biologique des bio-pesticides à base bactérie et champignon entomophage homologuée dans le marché international. Dans notre pays, la recommandation des traitements anti parasitaires possédant un principe actif biologique, inscrits dans le cadre des méga-programmes de lutte biologique contre le Criquet pèlerin imposent l'évaluation du devenir des entités biologiques utilisées en bio-contrôle. Pour cela nous avons appliqué par contact 3 doses exprimées en ml sur des larves L5 de *S. gregaria*, avec des témoins traités par l'eau distillée. Ces doses ont été évaluées en fonction des facteurs temps. Dans les quatre blocs une présélection des individus a eu lieu pour l'homogénéisation des conditions d'expérimentation et d'élimination des sources d'erreur dans une première étape.

Une deuxième étape consiste à la détermination d'une part du degré de phytotoxicité provoquée sur le végétale lors de l'application des différentes doses de deux agents entomopathogène tel que *Bacillus thuringiensis*, *Métarhisiium anisopliae* et d'autre part des effets perturbateurs qui se résument en l'évolution pondérale et l'observation des coupes histologiques au niveau des foies des individus de souris d'élevage dans le but de montrer l'impact de l'utilisation des bio-pesticides sur la faune domestique et les risque attendus pour l'homme lors de la manipulation des produits phytopharmaceutiques d'origine biologique.

Dans cette approche, nous avons enregistré une très faible mortalité des larves L5, la probabilité est orientée vers la mortalité naturelle.

Le test statique ANOVA adopté pour la détermination des différences en fonction du temps et doses, mettant en cause l'évolution pondérale des souris d'élevage, a montré une différence hautement significative pour toutes les doses testées avec des probabilités inférieures à 0.001. Cependant le test de phytotoxicité nous a permis de qualifier les symptômes au type passager suite à une pulvérisation des solutions de *Bacillus turringiensis* et *Métarhisiium anisopliae* avec les différentes doses appliquées, une reprise de croissance a été enregistrée dans tous les cas d'étude.

Le dernier test de toxicité a mis en évidence la réalisation des coupes histologique des organes de foies de souris d'élevage, l'analyse qualitative des images de coupes montre l'absence d'anomalies des échantillons traités comparés aux témoins.

Mots clés :

Schistocerca gregaria, toxicologie, *Bacillus thuringiensis* , *Métarhisiium anisopliae*, ANOVA, Phytotoxicité.

SUMMARY

This study falls within the biological evaluation of bio-pesticides based on bacteria and Entomophagous fungus classified in the international market. In our country, the recommendation of the parasitic treatments with a biological active ingredient, registered under mega locust biocontrol programs require assessment of the fate of the biological entities used in bio-control. For this we applied by contact 3 doses expressed in ml on larvae L5 of *S. gregaria* with distilled water-treated controls. These doses were evaluated on the basis of the time factors. In the four blocks a screening of individuals took place for homogenization of experimentation and elimination of sources of error conditions as a first step.

A second step is the determination of the degree of phytotoxicity caused on the plant when applying different doses of both agents entomopathogenic *Bacillus thuringiensis*, *Metarhizium anisopliae* and other disruptive effects that are summarized in the weight evolution and the observation of the histological sections at the level of the liver of individuals of mouse for breeding to show the impact of the use of bio-pesticides on domestic wildlife and the risk expected to man when the handling of pesticides of organic origin.

In this approach, we have recorded a very low mortality of Larval L5, the probability is oriented towards natural mortality.

The static test ANOVA adopted for the determination of differences depending on the time and dose, questioning the weight evolution of breeding mice, showed a highly significant difference for all doses tested with probabilities less than 0.001. However the phytotoxicity test allowed us to describe the symptoms to the passenger type following solutions of *Bacillus thuringiensis* spray and *Metarhizium anisopliae* with different applied doses, a resumption of growth was recorded in all cases to study.

The final toxicity test highlighted the histological cuts realization of the organs of breeding mice livers, qualitative analysis of the images of cuts shows the absence of anomalies of the treated samples compared with controls.

Key words:

Schistocerca gregaria, toxicology, *Bacillus thuringiensis*, *Metarhizium anisopliae*, ANOVA, phytotoxicity

ملخص

تندرج هذه الدراسة ضمن التقييم البيولوجي للمبيدات الحيوية استناداً إلى البكتيريا والفطريات الأكلة للحشرات المصنفة في السوق الدولية. في بلدنا، توصيات العلاجات الطفيلية تشكل مبدأ النشاط البيولوجي، والمسجلة بموجب أدنى برامج المكافحة البيولوجية ضد الجراد الصحراوي و تقييم مصير الكيانات البيولوجية المستخدمة في التحكم البيولوجي. ولهذا قمنا بمعايرة تركيز 03 ملل ضد اليرقات من نوع L5 ل *Schistocerca gregaria* مع وضع شاهد للتجربة حيث عولج هذا الأخير بالماء المقطر وهذه المعايير حاولنا تقييمها مقارنة بالزمن في 04 أطباق وضعت فيها مسبقاً أفراد اليرقات لأجل التجانس بين الشروط وتقادي الأخطاء في المرحلة الأولى.

الخطوة الثانية مرتبطة من جهة بتحديد درجة التسمم النباتي الناتج عن تطبيق جرعات مختلفة من عامل ال *Bacillus thuringiensis* و *Metarhizium anisopliae* ، ومن جهة أخرى الآثار التخريبية التي تم تلخيصها في تطور الوزن، ومراقبة الأقسام النسيجية على مستوى كبد أفراد التجارب لهدف إظهار تأثير استخدام المبيدات الحيوية على الحياة البرية المحلية والأخطار المتوقعة على الإنسان عند التعامل مع مبيدات الآفات من أصل بيولوجي .

في هذه المقاربة، سجلنا وفيات منخفضة جداً من اليرقات L5 ، وهذا الاحتمال ناتج عن الوفيات الطبيعية. اختبار ANOVA اعتمد على تعريف مختلف الوظائف المتعلقة بالزمن و التركيز ووضع سبب لتطور وزن فئران التجارب، والتي أظهرت فرقا كبيرا جداً لجميع الجرعات المختبرة، مع احتمال أقل من 0.001 . بينما فحص التسمم النباتي سمح لنا بوصف الأعراض إلى نوع الزائفة و التي تعود إلى سقي *Bacillus thuringiensis* , *Metarhizium anisopliae*, مع مختلف الجرعات التطبيقية ، استئناف النمو في جميع الحالات المدروسة.

اختبار التسمم النهائي وضع لنا المقاطع النسيجية لأعضاء فئران التجارب، و الذي يظهر التحليل النوعي للمقاطع والتي تثبت الحالات الشاذة في العينات المعالجة مقارنة مع عينة الشاهد.

المفتاح

التسمم النباتي، *Bacillus thuringiensis* , *Metarhizium anisopliae*, ANOVA, *Schistocerca gregaria*,

REMERCIEMENTS

Le présent travail a été réalisé dans le cadre de la préparation d'une thèse de Magistère de la faculté agro vétérinaire de Blida.

Avant tout, je remercie **Dieu** de m'avoir donné la force et le courage nécessaire pour réaliser ce travail.

J'exprime ma profonde reconnaissance à Mme Pr Guendouz Benrima Atika, maître de conférence à l'université de Blida, de m'avoir encadrée, pour les conseils qu'elle n'a cessé de me prodiguer dans la réalisation de ce travail.

Aussi ma profonde reconnaissance à Mr Mahdjoubi Djilali, maître assistant à l'université de Guelma, de m'avoir juré, pour les conseils qu'il n'a cessé de me prodiguer et pour m'avoir guidé jusqu'au bout dans la réalisation de ce travail. Je suis heureux de lui exprimer ma très profonde reconnaissance, mes sentiments les plus sincères et ma respectueuse gratitude.

Il m'est très agréable de remercier Mme Pr Benfekih Allal L., maître de conférences à l'université de Blida, qui m'a fait l'honneur de présider le jury de cette thèse. Il m'a toujours bien conseillé et m'a fait profiter de ses connaissances scientifiques.

Je remercie aussi Mr Dr Djazouli Zaher Eddine maître de conférences à l'université de Blida, de faire partie de mon jury et d'avoir accepté d'examiner mon travail.

Je remercie vivement Mme Dr Bissad Fatima maître de conférences à l'université de Boumerdes, d'avoir accepté d'examiner mon travail.

Je remercie Brahimi Ahmed directeur de services Agricoles d' ILLIZI .Pour son, sympathique accueil et son aide sur la réalisation de document.

Je remercie tout mes enseignants du laboratoire de Zoologie pour leurs soutiens et leurs encadrements durant ma formation : M. Djazouli Z., M. Aroun M.E.F., Mme Nebih D., Mme Allal L., sans oublier la technicienne du laboratoire Melle Djemai A.

Je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de cette thèse.

DEDICACES

A ma mère

A mon père

A mes sœurs et mon frère,

A tous mes amis,

Je dédie ce travail.

TABLE DE MATIERES

RESUME	1
ABSTRACT	3
ملخص	4
REMERCIEMENTS	5
DEDICACES	7
TABLE DE MATIERES	8
Liste des illustrations et graphiques	13
Liste des tableaux	15
INTRODUCTION	16
CHAPITRE 1 : DONNEE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LE CRIQUET PELERIN	19
SCHISTOCERCA GREGARIA (Forskål ,1775)	
1. Systématique et morphologie de <i>Schistocerca gregaria</i> (Forskål, 1775)	19
1.1 Position taxonomique	19
1.2 Biologie de <i>Schestocerca gregaria</i>	20
1.2.1 La ponte	21
1.2.3 Ecologie de site du ponte	22
1.2.4 Eclosion	23
1.2.5 Développement larvaire	23
1.2.6 Les imagos	24
1.2.6.1 les imagos solitaires	24
1.2.6.2 les imagos grégaire	24
1.3 Le polymorphisme phasaire du criquet pèlerin	25
1.4 Alimentation de <i>Schistocerca gregaria</i>	27
1.5 Régime alimentaire de <i>Schistocerca gregaria</i> .	27
1.6 Préférences alimentaire de <i>S.gregaria</i>	28
1.7 Ecologie de criquet pèlerin	28
1.8 Les biotopes de survie	29
1.9 Les biotopes de reproduction	29

1.10 les biotopes de grégarisation	29
1.11 Aire de répartition	31
1.11.1 Aire d'invasion	31
1.11.2 Aire de rémission	32
1.11.3 Aire grégarigènes	32
1.12 Les dégâts et importance économique de Criquet pèlerin	33
1.13Lutte contre le criquet pèlerin	34
1.13.1 Lutte préventive	34
1.13.2 Lutte curative	35
1.13.3 Principaux moyens de lutte	35
1.13.3.1 Moyens chimique	35
1.13.3.2 Moyens Biologique	36
1.13.3.2.1 Prédateur, Parasites et parasitoïdes	36
1.13.3.2.2 Plantes acridifuges ou acridicides	36
1.13.3.2.3 Agents pathogènes	37
1.13.3.2.3.1 La bactérie entomopathogenes(B thuringiensis)	37
1.13.3.2.3.2 Mutarhizium anisopliae	41
CHAPITRE 2 : ETUDE AUTOECOLOGIE DU CRIQUET PELERIN	
SGRAGARIA DANT LES DIFFERENTES BIOTOPES AU SUD ALGERIENNE	47
2.1 Introduction	47
2.2 Matériel et méthodes	48
2.2.1 L'étude floristique	51
2.2.2 Etude pédologique	52
2.2.3 Prospection Acridiennes	52
2.2.4 Structuration des données –Typologie	53
2.2.5 Méthodes statistique	54
2.2.6 Matériels utilisé	54
2.3 Résultats	55
2.3.1 Approche globale	55
2.3.2 Variation dans chaque région	58
2.3.2.1 Région d'Adrar	58
2.3.2.2 Région de Bordj Badji Mokhtar	59

2.3.2.3 Région de Djanet	60
2.4 Conclusion	63

CHAPITRE 3 : ESSAI DE LUTTE BIOLOGIQUE CONTRE SCHISTOCERCA GREGARIA PAR DES AGENTS ENTOMOPATHOGENES DANS LES CONDITIONS Contrôlée

3. Matériel et méthodes	65
3.1 Zone d'étude	
3.1.1 LE SAHARA : le plus grand désert au monde	65
3.1.2 Le domaine saharien	65
3.1.2.1 Le Sahara central	67
3.1.2.2 Le Sahara septentrional.	69
3.1.2.3 Le Sahara central	70
3.1.2.3.2 L'étagement altitudinal	71
3.1.2.3.3 Analyse biogéographique du Sahara central	71
3.1.2.3.4 Le Sahara méridional	73
3.2 Matériels utilisé	74
3.2.1 Objectif de l'étude	74
3.2.2 Matériels non biologique	74
3.2.3 Matériel biologique	74
3.2.3.1 Le criquet	74
3.2.3.1.1 Elevage des criquets	75
3.2.3.2 Les souris blanche de laboratoire	76
3.2.3.2.1 Elevage de souris	76
3.2.3.3 Le blé dur	77
3.2.3.3.1 Matériels de culture de blé	77
3.3 Les bios pesticides testés	77
3.3.1 La bactéries entomopathogène	77
3.3.1.1 Principe de choix des doses	78
3.3.1.2 schéma descriptif des calcules de doses utilisées Bacillus thuringiensis	79
3.3.1.3 Multiplication de la bactérie	79
3.3.1.3.1 Préparation de la solution mère	79
3.3.1.3.2 Préparation d'inoculum	80

3.3.1.4 Etudes de la mortalité des L5 de <i>schistocerca gregaria</i>	81
3.3.1.4.1 Calcul du pourcentage de mortalité	81
3.3.1.4.2 Essai de la persistance et de la phytotoxicité de <i>Bacillus thuringiensis</i> sur le feuillage de la culture du blé	82
3.3.1.4.2.1 La culture de blé	82
3.3.1.4.2.2 Pulvérisation de <i>Bacillus thuringiensis</i> sur feuillage	82
3.3.1.4.2. Prélèvements des feuillages et préparation des solutions	83
3.3.1.4.3 Essai de toxicité de <i>bacillus thuringiensis</i> sur les souris blanches de laboratoire	84
3.3.1.4.3.1 Condition d'élevage	84
3.3.1.4.3.2 Répartition des lots	84
3.3.1.4.3.3 Prise de poids des individus de souris d'élevage	85
3.3.1.4.3.4 Technique de traitement	85
3.3.1.4.3.5 Injection intra –péritonéale	85
3.3.1.4.3.6 Paramètre étudiés	86
3.3.2 Le champignon entomopathogène : <i>M. anisopliae</i> var <i>acidum</i>	87
3.3.2.1 Ma multiplication de champignon	87
3.3.2.2 Préparation d'inoculum	88
3.3.2.3 comptages des spores et détermination des concentrations	89
3.3.2.4 Principe de choix des doses	91
3.3.2.5 Essai de la toxicité sur L5 du <i>Schistocerca gregaria</i>	91
3.3.2.5.1 Calcul du pourcentage de mortalité	92
3.3.2.6 Essai de la persistance et de la phytotoxicité de <i>M anisopliae</i> sur le feuillage de la culture du blé	92
3.3.2.6.1 Essai de la persistance de <i>M . anisopliae</i> sur le feuillage de la culture du blé dur	92
3.3.2.6.2 Pulvérisation de sur feuillage par <i>M . anisopliae</i> .	92
3.3.2.6.3 Prélèvements des feuillages et préparation des solutions	93
3.3.2.6.4 Etude de toxicité de <i>M anisopliae</i> sur les souris blanches de laboratoire.	93
3.3.2.6.4.1 Essai de <i>M anisopliae</i> sur l'évolution pondérale d'individus après injection des différentes doses	93
3.3.2.6.4.1.1 Répartition des lots	93
3.3.2.6.4.1.2 Technique de traitement	94
3.3.2.6.4.1.3 Injection intra péritoneale	94

3.3.2.6.5	Prise de poids des individus de souris d'élevage	94
3.3.2.6.3	6 Essai d'évolution de <i>M anisopliae</i> par l'analyse des coupes histologique réalisées au niveau du foie	95
CHAPITRE 4 : RESULTATS ET DISCUSSION		96
4.1	Evolution de la mortalité des larves L5 de <i>S gregaria</i> sous différentes doses de <i>B .thuringiensis</i>	96
4.1.1	Etude de la phytotoxicité sur feuillage de blé causée par <i>Bacillus thuringiensis</i>	97
4.1.2	Etude de la persistance de <i>B thuringiensis</i> sur feuillage de blé	99
4.1.3	Etude de la toxicité de <i>B thuringiensis</i> sur la souris blanche de laboratoire	102
4.1.4	Taux de mortalité	102
4.1.5	l'évolution pondérales	103
4.1.6	Analyse des coupes histologiques	106
4.2	Etude de la toxicité induite <i>M.anisopliae</i> sur L5 du <i>S gregaria</i>	106
4.2.1	Etude de la persistance de <i>M.anisopliae</i> sur feuillage de blé	108
4.2.1.1	Etude de la persistance de <i>M.anisopliae</i> var <i>acridum</i>	108
4.2.1.2	Etude de la phytotoxicité	110
4.2.1.3.	Etude de la toxicité de souris blanche de laboratoire par <i>M anisopliae</i> var <i>acridum</i> sur la souris blanche de laboratoire	112
4.2.1.3.1	Effet de <i>M anisopliae</i> sur l'évolution pondérale	112
4.2.1.3.2	Taux de mortalité des individus traités par les différentes doses de <i>M anisopliae</i>	112
4.2.1.4	Analyse de la variance	115
4.2.1.5	Etude d'évaluation de <i>M anisopliae</i> par l'analyse des coupes histologique	
	Discussions générale	117
	CONCLUSION GENERALE	119
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	125

LISTE DU TABLEAUX

Tableau 1:	Détermination de l'état phasaire d'une population de criquet pèlerin [38]	25
Tableau 2 :	Données générales sur les quatre zones d'études.	50
Tableau 3:	Type de biotopes prospectés	50
Tableau 4:	General linear model (n = 466)	55
Tableau 5 :	General linear model pour la région d'Adrar (n = 93)	59
Tableau 6:	General linear model de la région de bbk (n = 192)	59
Tableau 7 :	General linear model for Djanet region (n = 70)	60
Tableau 8 :	Effect of plant communities and season	61
Tableau 9 :	Répartition des groupements végétaux entre la Sahara central et méridional	73
Tableau 10:	Les doses utilisées pour le m. anisoplie	91
Tableau 11:	Mortalités des larves I5 de <i>schistocerca gregaria</i> , traites par <i>bacillus thuringiensis</i>	96
Tableau 12:	Nombre de plants présentant des altérations, traites par <i>bacillus thuringiensis</i>	97
Tableau 13:	Présence ou absence des colonies de <i>bacillus thuringiensis</i> sur le feuillage	99
Tableau 14 :	L'évolution pondérale moyenne par bloc de souris, temoins et traitées avec les Différentes doses.	103
Tableau 15 :	Analyse de la variance	105
Tableau 16 :	Moyennes des mortalités journalières des larves I5 de <i>Schistocerca.G</i> traites par <i>M. anisopliae</i>	107
Tableau 17:	Présence ou absence des colonies de <i>M.anisopliae var acridum</i> sur le feuillage	109
Tableau 18 :	Le nombre des plants présentant des altérations après traitement.	111
Tableau 19:	Evolution pondérale chez les témoins.	113
Tableau 20 :	Evolution pondérale (en gr) après l'injection de la dose = 0,834.105 spores/ml.	113
Tableau 21:	Evolution pondérale (en gr) après l'injection de la dose = 0,033.108 spores/ml.	114
Tableau 22:	Analyse de la variance relative a l'évolution pondérale des souris traitées par <i>M.anisopliae</i> et des témoins.	115

Liste de Figure

Figure 1:	Cycle biologique de <i>Schistocerca gregaria</i> (forskål, 1775)[26].	20
Figure 2:	Le criquet pèlerin en plein ponte [93].	21
Figure 3 :	Larves de <i>Schistocerca gregaria</i> de 5eme stade [38]	24
Figure 4:	Les étapes de la transformation phasaire [93]	26
Figure 5:	Biotope de survie : [38].	30
Figure 6 :	Biotope de reproduction, [4]	30
Figure 7 :	Biotope de grégarisation, [4]	31
Figure 8 :	Aire de distribution du <i>Schistocerca gregaria</i> au monde	33
Figure 9:	Image de <i>Bacillus thuringiensis</i> [81]	39
Figure 10:	Cycle biologique de <i>Bacillus thuringiensis</i> [3]	40
Figure 11:	Spores du <i>Metarhizium anisopliae var acridum</i> . [57]	42
Figure 12 :	Les grandes subdivisions phytogéographiques du sahara. [86]	49
Figure 13:	Abondance de SGr dans les régions d'études	56
Figure 14 :	Projection par detrented correspondance des relevés floristiques pour les quatre régions inventoriées du Sahara	57
Figure 15 :	Graphe de densité des SGR pour Adrar, bbk et Djanet	57
Figure 16 :	Zone d'Adrar abondance des SGR selon les projections de l'AFC par les plantes f1 = 20.89, f2 = 14.88 %	58
Figure 17 :	Cluster analysis par ward method(Adrar).	61
Figure 18 :	Cluster analysis par ward method(bbk).	62
Figure 19:	Cluster analysis par ward method (Djanet).	62
Figure 20:	Zones humides	66
Figure 21:	Cages utilisées pour l'élevage des larves des locustes [81].	76
Figure 22:	Cage d'élevage des souris blanches (original)	77
Figure 23 :	Bacillus thuringiensis sous forme de poudre sèche en spores cultivée au laboratoire (original).	78
Figure 24 :	Suspension huileuse de spores de Bt (original).	78
Figure 25 :	Bt sous forme de poudre sèche (original).	78
Figure 26 :	Préparation de la solution mère de Bt. (original).	80

Figure 27 :	Récupération des larves L1 L2 à partir des pondoirs pour le transfert aux cages d'élevage [81]	81
Figure 28:	Dispositif pour le traitement des individus de I5 par les différentes doses des deux bio-pesticides. Récupération des larves L1 L2 à partir des pondoirs pour le transfert aux cages d'élevage [81]	81
Figure 29:	Répartition des plateaux en lots (original)	83
Figure 30:	Liberation des spores de la bactérie par agitation [71]	84
Figure 31:	Traitement par injection intra péritonéale [71]	86
Figure 32:	Extraction de foie [71]	86
Figure 33:	Spores de green muscle(original).	77
Figure 34 :	Multiplication (original)	88
Figure 35:	Culture de green muscle (original)	88
Figure 36:	Préparation de la solution mère de <i>M. anisopliae</i> [71]	89
Figure 37 :	Cellule de mallasses [71].	90
Figure 38:	Le nombre des différents plants infectes par les différentes doses de Bt.	98
Figure 39:	Plants altères présentant les différents types de symptômes suite a l'application de <i>Bacillus thuringiensis</i> (original).	98
Figure 40 :	Présence des spores de <i>Bacillus thuringiensis</i> au 3eme jour .	100
Figure 41:	Présence des spores de <i>Bacillus thuringiensis</i> au 6eme jour.	100
Figure 42 :	Présence des spores de <i>Bacillus thuringiensis</i> au 9eme jour.	100
Figure 43 :	Différence de poids avant et après traitement (la limite est le zero).	104
Figure 44:	Des coupes histologiques au niveau des foies des souris.	106
Figure 45 :	Mortalité des I5 de <i>Schistocerca.G</i> , traites avec 3 différentes doses de <i>Metarhizium anisopliae</i> .	107
Figure 46:	Présence des colonies de <i>M .anisopliae var acridum</i> sur le feuillage.	109
Figure 47 :	Symptômes observes après pulvérisations du <i>M. anisopliae</i> .	111
Figure 48:	Valeur des nombre des plants altère.	111
Figure 49:	Evolution du poids moyen chez les souris traitées par <i>M.anisopliae</i> .	114
Figure 50 :	Dendrogramme présentant l'analyse de la variance.	116
Figure 51 :	Les coupes des foies.	118

INTRODUCTION

Le Criquet pèlerin *S. gregaria* est l'espèce la plus redoutable, vu son importance économique, et en raison de l'étendue de sa zone d'invasion ainsi que les dommages, qu'il peut causer. [83].

Les invasions sont un important phénomène spectaculaire et l'ampleur de la dévastation, au milieu de l'invasion, peut être considérable. Les ravages de cette espèce sont connus depuis l'Antiquité et les chroniques médiévales certifient que ses ravages ont continué sans interruption, comme des crises successives. Depuis 1860, huit périodes d'invasions successives ont été inscrites au Sahara [45]: 1860-1867, 1869-1881, 1888-1910, 1912-1919, 1926-35, 1940-47, 1949-1962 et 1986-1989 et 2003-2005. En outre, au cours des trente dernières années, quatre grandes invasions ont été observées : 1968, 1993-1995 et 2003-2005.

L'Algérie est au cœur d'un ensemble de régions étroitement interdépendantes des activités acridiennes dans les pays voisins de l'Afrique occidentale d'où la nécessité d'une stratégie de surveillance et de lutte efficace et d'une bonne circulation des informations afin de pouvoir anticiper sur les événements [45].

[83] ont retenu quatre types de biotopes pour le Criquet pèlerin en Afrique nord occidentale. Il s'agit :

- Des biotopes de survie ;
- Des biotopes de multiplication ;
- Des biotopes multiplication et de grégarisation;

Le contexte de lutte préventive antiacridienne a fortement intéressé la communauté scientifique qui traite dans une première approche écologique les relations d'origines naturelles régissant les différentes variations influençant les phénomènes de polymorphisme phasaire chez cette espèce acridienne de forte grégariaptitude. Ce paramètre a été positivement corrélé avec la dominance des groupements phytosociologiques qui caractérisent les biotopes de *Schistocerca gregaria* [71].

Notre zone d'étude (Sahara Algérien) présente l'avantage d'un étagement altitudinal et latitudinal, où le fait bioclimatique et le fait biogéographique se conjuguent. Ce territoire, le Sahara Algérien réunit certaines expressions biogéographiques essentiellement dues à :

- Ses relations avec le monde méditerranéen et le monde africain
- Une entité non négligeable, un monde méditerranéen en plein désert : celui des hautes montagnes sahariennes.

L'annonce du sahel qui s'inscrit progressivement sur le revers septentrional de l'Adrar des Iforas [10].

Cette variabilité biogéographique est en accord avec les bioclimats qui, bien que peu différents les uns par rapport aux autres, le sont suffisamment pour qu'à une faible mais constante augmentation du facteur humidité corresponde une succession des éléments floristiques ; aux espèces sahariennes se substituent des sahéliennes au sud du Sahara et des méditerranéennes au nord ainsi que sur les hautes montagnes comme le Hoggar, [67]

Que ce soit en lutte préventive ou en lutte curative, le recours aux moyens de luttés chimiques (pesticides) a toujours permis le contrôle de ce fléau acridien.

Cependant les conséquences sur l'environnement et la faune auxiliaire induits par l'utilisation des pesticides chimiques ne sont plus à démontrer. Ainsi, pour minimiser les répercussions sur l'environnement, de nouvelles orientations ont été considérées et intéressent l'utilisation des entomopathogènes comme moyen de lutte biologique. [26].

L'utilisation des biopesticides à base d'entomopathogène *Metarhizium anisopliæ* a révélé des résultats encourageants, cela a été démontré par Greathead et al (1994), [14] lors des essais au laboratoire, Plusieurs travaux ont été menés sur le plan national et international ; [14], [53], [81],[18].

Parallèlement, peu d'informations sont fournies montrant l'impact de Ces biopesticides sur l'environnement, pour pouvoir les qualifier de pesticides écologiques.

Par ailleurs l'utilisation de microorganismes entomopathogènes comme le *Bacillus thuringiensis.(Bt)* apparaît comme particulièrement prometteuse, en tenant compte des inquiétudes croissantes du public à l'égard des effets potentiellement néfastes de l'utilisation massive d'insecticides chimiques pour l'environnement .

Un des facteurs qui limite l'introduction de nombreux microorganismes entomopathogènes prometteurs sur le terrain est notre relative méconnaissance de l'écologie, du devenir et des effets de ces organismes dans l'environnement.

A l'heure actuelle beaucoup de résultats scientifiques ont fait l'objet d'une analyse du pouvoir entomopathogène des différentes souches de *B. thuringiensis* abondantes dans le sol et, en particulier, présentes dans les régions arides et semi-arides [44].

Dans le cadre d'une nouvelle stratégie de bio-contrôle qui met en œuvre la valorisation et l'extension des programmes lutte biologique des études d'origine naturelle sont engagées pour déceler le potentiel des agents entomopathogènes microbiens du criquet pèlerin et leur développement à une biopréparation.

Au cours des deux dernières années, des organismes internationaux ont mis l'accent sur les thèmes suivants [44].

- ✓ Rechercher de nouvelles souches d'entomopathogènes connues ou nouvelles maladies.
- ✓ Recherche sur *B. thuringiensis* avec un accent particulier sur les souches pathogènes pour le criquet pèlerin.
- ✓ La recherche sur les champignons entomopathogènes pour la lutte antiacridienne, principalement sur *Metarhizium anisopliae* et *Sporospora* spp .

Notre approche environnementale a mis l'accent sur deux questions importantes :

- Evaluation des agents entomopathogènes à savoir *Bacillus thuringiensis* et *Metarhizium anisopliae*, pathogènes pour le criquet pèlerin.
- Analyse des incidences environnementales de l'insecticide, en mettant en cause son impact sur quelques espèces de la Biocénose anthropisée cas des régions céréalières du sud algérien.

Le présent mémoire décline ces trois questions sous forme de cinq chapitres. Le chapitre 1 présente les données bibliographiques sur le Criquet pèlerin. Le deuxième est consacré l'étude autoécologie du criquet pèlerin dans les différents biotopes au sud Algérien. Par la suite, le chapitre 3 est consacré à la présentation de la zone d'étude et les essais de lutte biologique par des agents entomopathogène dans les conditions contrôlée. Le chapitre 4 présente les résultats de notre travail Enfin, l'ensemble des résultats sont repris dans une discussion générale .Ce dernier chapitre permet de resituer dans un cadre écologique plus général les résultats obtenus.

CHAPITRE 1

Donnee bibliographie sur le criquet pelerin *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775)

1. Systématique et morphologie de *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775)

L'ordre des orthoptères se subdivise en deux sous ordres : les ensifères et les calières, auquel appartiennent les espèces de locustes les plus redoutables des insectes nuisibles à l'agriculture [22]. Le criquet pèlerin appartient à la catégorie des acridiens de type locuste [38].

Le genre *Schistocerca* est représenté par une trentaine d'espèces[83]. D'après(SONG, 2004). Le genre *Schistocerca* Stål est un groupe biologiquement passionnant. Les espèces de ce genre du nouveau monde sont diverses, et adaptées aux différents environnements. Il est le genre le plus varié de la sous-famille des Cyrthacantacridinae, contenant 50 espèces largement distribuées à travers le monde (DIRSH, 1974) cité par (SONG, 2004).

Schistocerca gregaria est appelé communément Criquet pèlerin, c'est le « Djrade El Arbi » qui signifie « Sauterelle des arabes » et « desert locust» en anglais ; [25]. Il s'appelle aussi «Tachoualt » en tamachaq.

1.1 Position systématique

Selon (Grasse, 1949), la systématique du Criquet pèlerin est comme suite :

Embranchement : *Arthropodes*

Sous Embranchement : *Mandibulates*

Classe : *Insectes*

Sous classe : *Ptérygotes*

Super ordre : *Orthoptéroïdes*

Ordre : *Orthoptères*

Sous ordre : *Caelifères*

Super famille : *Acridoidea*

Famille : *Acrididae*

Sous famille : *Cyrtacanthacridinae*

Genre : *Schistocerca*

Espèce : *S.gregaria* (Forskål, 1775).

1.2 Biologie de *Schistocerca gregaria*

D'après (Duranton,1990) le criquet pèlerin est un acridien de grande taille. Les femelles mesurent de 70 à 90 mm de long, les mâles de 60 à 75 mm. Le cycle biologique de *S. gregaria* (Fig1.1) comprend comme chez les autres espèces de locustes trois états successifs: l'œuf, la larve et l'imago. Chaque étape se subdivise en différentes phases de développement.

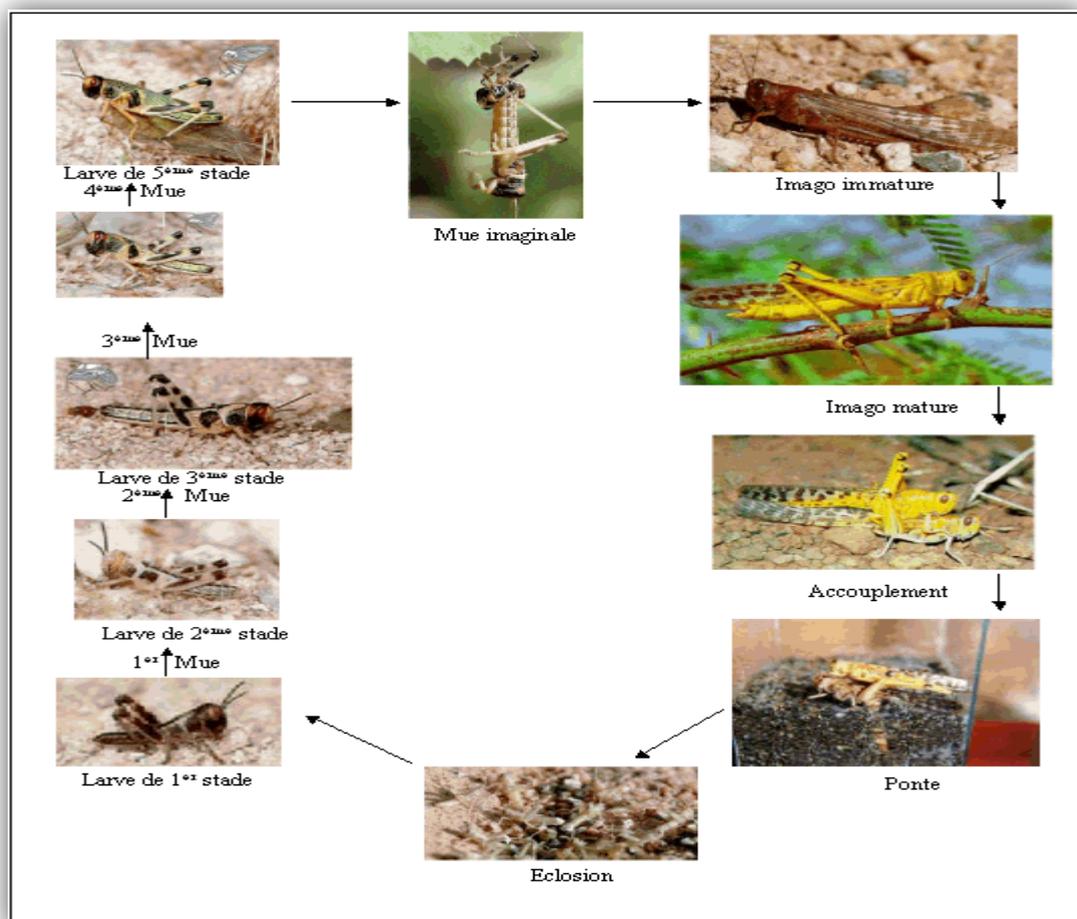


Figure1.1 : Cycle biologique de *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) in [26]

1.2.1 La ponte

La ponte de *Schistocerca gregaria* se présente sous forme d'une oothèque ovigère cylindrique de 3 à 4 cm de long contenant 40 à 90 œufs, rangés irrégulièrement (CHOPARD, 1943).



Figure1.2 : le Criquet pèlerin en plein ponte [93].

L'ensemble du processus qui prépare et conduit au dépôt des œufs dans le sol constitue la ponte ou l'oviposition selon des étapes : la recherche d'un site de ponte, le forage de trou de ponte, le dépôt des œufs et enfin le damage et le balayage du sol. Ceci dure une heure et plus pendant le jour et parfois la nuit. Les oothèques sont grandes, sans paroi consolidée. Les pontes de solitaires et des grégaires ont la même taille et la même forme générale. La principale différence réside dans le nombre et la taille des œufs, ceux produits par solitaire étant plus petits et plus nombreux que ceux produits par les grégaires [83].

Les œufs sont généralement pondus dans des zones de sol sablonneux dépourvu de végétation. En général, la femelle ne pond que si le sol est humide à une profondeur de 5 à 10 cm. Les œufs ressemblent à des grains de riz elle force le sol avec les valves génitales situées à l'extrémité de son abdomen et dépose la

masse ovigère. Le nombre d'oothèques pondues par une femelle dépend du temps que celle-ci met à développer chaque oothèque et de sa propre longévité. Sur le terrain, l'intervalle entre chaque ponte est d'environ 10 jours. Une moyenne de deux oothèques par femelle est la norme. Une seule femelle peut produire de 16 à 20 criquets viables en une seule génération [93].

Selon le même auteur, la proportion d'œufs qui survit jusqu'à l'éclosion varie considérablement avec les conditions de l'habitat, la présence des arthropodes parasites, des prédateurs, des moisissures et des bactéries parasites. Les œufs peuvent se dessécher, particulièrement s'ils sont exposés au vent. Ils peuvent également être détruits par des inondations persistantes. Une mortalité élevée peut se produire si les températures du sol sont supérieures à 35°C. Les pertes moyennes dues aux différents facteurs sont de l'ordre de 13% dans les populations solitaires et d'environ 33% dans les populations grégaires.

1.2.3 Ecologie des sites de pontes

D'après (POPOV.1991) , le Criquet pèlerin pond presque toujours ses œufs dans un sol suffisamment humide pour que les œufs puissent absorber l'humidité nécessaire à leur développement. Il est rare que des œufs soient pondus dans un sol sec ou presque sec. Si les œufs étaient pondus dans un sol sec, ils se dessécheraient, sauf s'il pleuvait peu après la ponte.

Selon [83], quand le milieu est uniformément favorable, les femelles solitaires pondent un peu partout et séparément. En cas d'assèchement du sol, il y a diminution de la surface des biotopes favorables ce qui les conduit à se rassembler dans des superficies de plus en plus restreintes, souvent situées dans des dépressions encore humides ou dans des oueds. Ce phénomène, commun dans les foyers grégarigènes sahariens, constitue un facteur extrêmement efficace. En effet, les femelles très sensibles aux conditions hydriques du sol, vont se trouver de plus en plus nombreuses par unité de surface, en compagnie de mâles.

1.2.4 Eclosion

La vitesse de développement des œufs est donc exclusivement en fonction de la température du sol à la profondeur de l'oothèque. Au moment de l'éclosion, les larves traversent le bouchon spumeux pour gagner la surface, passent ensuite par cinq stades larvaires (parfois six en phase solitaire), muant entre chaque stade. Lors de la dernière mue (ou mue imaginale), le jeune ailé émerge [93]

Selon Grasse l'apparition de pluies abondantes survenant après une période de sécheresse prolongée, favorise l'éclosion en masse et déclenche une grégarisation.

1.2.5 Développement larvaire

Selon (POPOV,1991), les larves de Criquet pèlerin passent de l'éclosion à l'état imaginal, par plusieurs stades. Leur nombre est variable en fonction de la phase : 5 stades chez les grégaires et 6 le plus fréquemment chez les solitaires. Le stade supplémentaire se situe entre le troisième et le quatrième stade. La durée du développement larvaire varie en fonction de la température de l'air. Chez les grégaires, elle dure 25 jours et chez les solitaire au minimum 30 jours elle peut atteindre 50 jours.

Le facteur le plus important est là encore l'humidité édaphique qui permet le développement de la végétation qui fournit abri et nourriture aux larves après l'éclosion, la première forme larvaire dite larve vermiforme progresse à la surface du sol par reptation, elle passe ensuite par cinq stades larvaires.

D'après (SYMMONS , 2001)les larves se débarrassent de leur cuticule cinq à six fois pendant leur développement et leur taille s'accroît à chaque fois. Ce processus s'appelle la mue et la période qui sépare deux mues successives s'appelle un stade. La dernière mue, du stade larvaire 5 (ou 6) dépourvu d'ailes à l'imago, ou ailé, s'appelle la mue imaginale. Le nouvel ailé, appelé «jeune ailé», doit attendre le séchage et le durcissement de ses ailes avant de pouvoir voler. Les ailés ne muent pas et leur taille ne s'accroît donc pas mais leur poids augmente progressivement. Les ailés qui peuvent voler sont, au départ, sexuellement immatures.

Quand ils deviennent sexuellement matures, ils peuvent s'accoupler et pondre des œufs.

Les larves solitaire diffèrent de grégaires par la couleur [38], (Fig 1.3)



Figure 1.3 : Larves de *Schistocerca gregaria* de 5^{eme} stade [38]

1.2.6 Les imagos

1.2.6.1 Les imagos solitaires

D'après (POPOV,2001), les imagos solitaires sont plus grands que les grégaires. Les femelles mesurent 60 à 90 mm de long, alors que les mâles mesurent de 45 à 60 mm. D'aspect robuste ils sont généralement bruns, jaunes ou gris, les yeux portent 6 à 7 stries en relation avec le nombre de stades larvaires accomplis. Chez les individus immatures, les ailes sont hyalines.

Chez les solitaires, la coloration varie relativement peu avec l'âge [38].

1.2.6.2 Les imagos grégaires

Chez les grégaires la teinte générale du corps est plus homogène que chez les solitaires. La taille générale du corps varie beaucoup en fonction de l'âge des individus et de leur état de maturité sexuelle. Les individus transiens peuvent présenter des colorations plus ou moins intermédiaires dans la nature, la longévité des imagos du criquet pèlerin, varie en moyenne de 34 à 230 jours en fonction

essentiellement de l'existence ou non d'une période de quiescence imaginaire ou bien à la durée de celle-ci [38].

1.3 Polymorphisme phasaire

Il existe deux phases différentes chez les locustes: la phase solitaire et la phase grégaire. Quand les densités acridiennes sont faibles, les individus sont solitaires. Quand les effectifs acridiens augmentent, des groupes denses se forment et les criquets deviennent grégaires [93].

D'après (Duranton, 1990) selon L'état phasaire d'une population du Criquet pèlerin pourra être défini en retenant essentiellement les caractéristiques morphologiques, pigmentaires et comportementales. Selon les caractéristiques morphologiques, la population pourra être qualifiée de solitariforme (sf), de transitive (tf) ou de grégariforme (gf). Selon ses caractéristiques pigmentaires, on parlera de solitaricolore (sc), de transicolore (tc) ou de grégaricolore (gc). Enfin, selon son comportement, de solitarigeste (sg) ou de grégarigeste (gg) (Tab1.1).

Tableau 1.1 : Détermination de l'état phasaire d'une population de criquet pèlerin [38]

Comportement	Sg	Gg	Gg	Gg	gg	sg	Sg
Morphologie	Sf	Sf	Tf	Tf	gf	gf	Tf
Pigmentation	Sc	Sc	Tc	Tc	gc	gc	tc
Densité	Faible	Moyenne à forte		Très forte		Faible	
Type de population	Solitaire	Transiens congregans		Grégaire		Transiens degrégans	
Formation	Isolé	Groupe		Bande, essaim		Isolé	

s, sf, sc : solitarigeste, solitariforme, solitaricolore;

tf, tc : transitive, transicolore ;

gg, gf, gc : grégarigeste, grégariforme, grégaricolore.

La combinaison de ces différentes caractéristiques permet de définir l'état phasaire global de la population, lequel détermine le type de population auquel on a affaire [38].

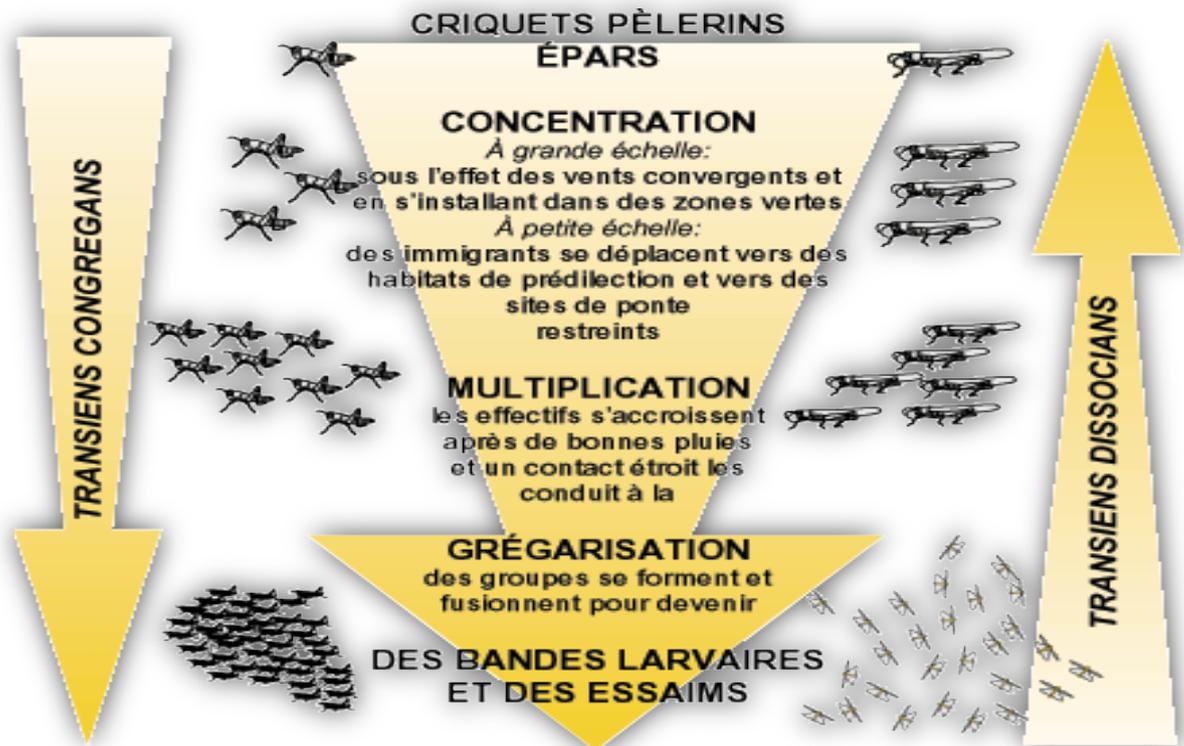


Figure 1.4 : Les étapes de la transformation phasaire [93].

En effet, quand la densité est faible, les criquets pèlerins se comportent en tant qu'individus (phase solitaire); quand elle est élevée, ils se comportent en tant que masse unique (phase grégaire) [93] (Fig1.4).

En plus de l'effet de la densation, d'autres facteurs semblent intervenir dans l'expression du polymorphisme phasaire telles que la photopériode, la température, la sécheresse, la qualité de l'alimentation, la teneur en gaz carbonique, ainsi que la salinité du sol (APPERT et DEUSE, 1982) cité par (Allal,2006).

Selon (Duranton,1990), l'estimation de l'état phasaire des populations acridiennes est basée sur les caractéristiques morphologiques, pigmentaires et comportementales. Ces informations globalistes peuvent être affinées en effectuant des mesures morphométriques.

La transformation d'une phase à l'autre est progressive et l'on admet qu'il faut 3 à 5 générations pour passer de la phase solitaire à la phase grégaire, alors que 2 générations suffisent pour passer de la phase grégaire à la phase solitaire [38].

1.4 Alimentation de *Schistocerca gregaria*

La polyphagie représente le type alimentaire fondamental pour l'immense majorité des Orthoptères. L'alimentation a un effet direct sur la physiologie de l'insecte; selon sa qualité et son abondance. Elle intervient en modifiant la fécondité, la longévité, la vitesse de développement et la mortalité des individus [24].

1.5 Régime alimentaire de *Schistocerca gregaria*

D'après (Duranton ,2012) le criquet pèlerin est un insecte phytophile et phytophage, c'est-à-dire qu'il vit dans la végétation qui lui sert d'abri et de perchoir et qu'il s'en nourrit. En phase solitaire, le criquet pèlerin manifeste des préférences alimentaires bien marquées. En phase grégaire, il peut s'alimenter des nombreuses espèces. Les bandes larvaires se nourrissent au niveau de sol tandis que les adultes recherchent les arbres et les arbustes pour les utiliser comme perchoir et éventuellement comme nourriture.

Le spectre alimentaire d'un acridien est la quantité d'aliments indispensables quantitativement et qualitativement aux besoins de son organisme dans le temps. L'impératif primordial de la prise de nourriture est de couvrir les besoins calorifiques, de telle sorte que le bilan recette dépense s'équilibre. Le substrat alimentaire exerce une influence marquée sur le taux de survie au cours du développement larvaire de *S.gregaria*. Cette influence de la nourriture diffère d'un stade à un autre (OULD EL HADJ ,2001) cité par (OUELD EL HADJ,2004). FRANCOUR (2005), note que le régime alimentaire peut changer avec l'âge ou le stade de développement.

Guendouz(2005) a noté que l'étude du régime alimentaire du Criquet pèlerin solitaire a montré que cet acridien manifeste un choix net de plantes pour son alimentation. La discordance entre la consommation des espèces végétales et leurs abondances dans le biotope prouve que *Schistocerca gregaria* manifeste un choix alimentaire. La composition floristique du milieu influence son régime dans le sens où elle limite les possibilités du choix pour l'acridien. Le régime alimentaire diffère

peu en fonction du sexe des individus dans un même biotope. Il apparaît que le régime alimentaire du Criquet pèlerin dépend à la fois de la composition du tapis végétal et du choix qu'il fait dans sa quête de nourriture. Le spectre des adultes s'élargit à des espèces peu à très peu abondantes et la facilité de leurs déplacements augmente la probabilité de rencontrer différentes espèces végétales.

1.6 Préférences alimentaires de *S.gregaria*

[30] ont démontré que les populations acridiennes généralement *transiens*, ont des préférences alimentaires bien nettes vis à vis de certaines plantes au niveau des stations naturelles et qu'au niveau des périmètres irrigués ces populations sont attirées par les plantes adventices graminéennes.

Selon [46], l'imago de *Schistocerca gregaria* a des possibilités de vol qui lui permettent de prospecter des surfaces plus grandes, et par conséquent de rencontrer des plantes de différentes espèces. Il peut alors mieux manifester ses préférences alimentaires alors que les larves doivent se contenter d'un choix restreint.

1.7 Ecologie du Criquet pèlerin

Le Criquet pèlerin est une espèce xérophile de région désertique, géophytophile, à régime alimentaire mixte. On la trouve dans les formations steppiques aux sols sableux ou sablo-argileux, à végétations constituée de quelques buissons, d'herbes pérennes ayant moins d'une mètre de hauteur et de plantes annuelles apparaissant après la pluie [59]. Cependant, un biotope à Criquet pèlerin peut être défini comme une unité territoriale écologiquement homogène susceptible d'offrir des conditions plus ou moins favorables au développement de populations de cet acridien, ce qui implique que les biotopes soient spatialement ou temporellement délimités [38].

1.8 Les biotopes de survie

Où le Criquet pèlerin peut subsister en attendant l'apparition de conditions meilleures. Il s'agit en fait essentiellement de biotopes extensifs où les apports hydriques sont limités aux pluies et où le ruissellement est plus ou moins important. À l'exclusion de quelques abords de sebkha (en zone saharienne), ce sont des regs de natures diverses et de physionomies variées (regs argileux, limoneux, graveleux, rocailleux...) (Fig1.5). L'ensemble de ces biotopes couvre plus de 70 % des surfaces colonisables par le Criquet pèlerin en Afrique Nord-Occidentale [38].

1.9 Les biotopes de reproduction

Selon KAIDI (2004) les biotopes de reproduction où le Criquet pèlerin peut non seulement survivre mais trouve une alimentation et une nature du sol qui lui permettent d'effectuer sa maturation sexuelle, une production d'œufs suffisante et la ponte. Il s'agit pour l'essentiel de sables, voire de regs, couverts de végétation, situés à des latitudes relativement basses et où croissent des steppes arbustives plus ou moins denses. Le Criquet pèlerin y bénéficie d'une alimentation acceptable et dispose de perchoirs et d'abris de qualité à ces biotopes typiquement Nord-Sahéliens, il faut adjoindre des biotopes sahariens comme certains abords de sebkhas, des dépressions ou quelques oueds particuliers petits ou moyens (Fig1.6).

1.10 Les biotopes de grégarisation

D'après KAIDI (2004), les biotopes de grégarisation sont des biotopes qui offrent de bonnes (ou de très bonnes) conditions de reproduction susceptibles d'aboutir directement ou indirectement à des densités pouvant entraîner la transformation phasaire. En Afrique de l'ouest, tous les biotopes de grégarisation sont liés au réseau hydrographique et correspondent à des zones d'épandage d'oueds et à des cuvettes endoréiques où les apports en eau sont plus ou moins importants et les ressources hydriques bien supérieures à la seule pluviosité locale.

Selon Germeaux(1997) au Niger, le biotope favorable à la grégarisation du Criquet pèlerin est composé de végétation mixte à *Tribulus sp.*, et *Schouwia thebaica*. Le *Tribulus sp.*, qui germe très rapidement dès les premières pluies, occupe l'espace le premier dès juillet, ce qui permet, dès août, une première reproduction des Criquets(Fig1.7). Si les conditions climatiques restent favorables, les *S. thebaica*, apparus plus tard et capables de continuer à pousser jusqu'en février, parfois même en mars, créeront les conditions favorables à de nouvelles pontes et, donc, à l'apparition de nouvelles générations de Criquets pèlerins.



Figure 1.5: Biotope de survie : reg graveleux couvert, en saison des pluies, par des taches d'erme à Aristidées au Tamesna nigéro-malien, [38].



Figure 1.6 : Biotope de reproduction, oued d'Adrar des Iforas recouvert par *Panicum turgidum*, [4]



Figure 1.7 : Biotope de grégarisation lande éphémère à *Schouwia thebaica* Webb, dans un grand oued du Tamesna nigérien. [4]

1.11 Aire de répartition

1.11.1 Aire d'invasion

Une invasion acridienne est dite généralisée lorsque des pullulations et des grégarisations couvrent l'ensemble d'un pays ou plusieurs domaines écologiques continentaux. On trouve alors en tous lieux des acridiens en grand nombre provoquant des dégâts sévères sur les cultures, les pâturages et la végétation naturelle (Lecoq et al, 2003 in [53]).

D'après KAIDI, 2004, Le déclenchement d'une invasion généralisée ne se réalise pas au cours d'une seule année, à moins d'un enchaînement exceptionnel de circonstances. En général, des pullulations locales se produisent de manière éparse. Elles sont suivies de grégarisation chez les locustes et les bandes larvaires, puis les essaims d'ailés qui en résultent, échappent en tout ou partie aux opérations de lutte.

L'arrêt de l'invasion exige des conditions aussi exceptionnelles que le déclenchement.

Ceci explique la durée des périodes d'invasion et de rémission complètes (4 invasions généralisées du criquet pèlerin en 50 ans), [53].

1.11.2 Aire de rémission

Selon Mahdjoubi 2010, trois principales régions à travers l'aire d'habitat du Criquet pèlerin sont connues comme étant les plus favorables à la multiplication intensive des populations solitaires du Criquet pèlerin. Dans ces régions, les pluies interviennent soit en saison estivale, soit en hiver et au printemps. Il s'agit de :

- **La région occidentale** : zones frontalières Algéro-Nigéro-Maliennes et le centre, le Sud-Est et le Centre-Ouest de la Mauritanie.
- **La région centrale** : zones côtières de la mer rouge et du Golf d'Aden.
- ❖ **La région orientale** : zones frontalières Indopakistanaïses.

Les biotopes favorables sont dispersés au bord de massifs sahariens méridionaux et centraux (le Tibesti, l'Ennedi, le Tassili des Aggers, le Hoggar, l'Adrar des Iforas, l'Aïr Tamesna, l'Adrar Mauritanien et Zemmour), [61].

En Algérie, les manifestations acridiennes d'ailés et de larves solitaires se situent au niveau des zones d'épandage d'oueds quand la végétation est verte. Ces zones constituent l'aire d'habitat permanent où l'aire de distribution normale de l'espèce [90].

[46], a signalé que l'aire de rémission du Criquet pèlerin couvre pratiquement tout le Sahara algérien. Une activité acridienne est maintenue toute l'année par une persistance diffuse des populations de solitaires.

1.11.3 Aires grégarigènes

Une aire grégarigène est une région ou un ensemble de régions entre lesquelles se font des échanges réguliers de populations, aboutissant certaines années à des grégarisations importantes pouvant donner naissance à une invasion généralisée, [2].

D'après le même auteur au sein de l'aire grégarigène, les lieux où s'accomplit effectivement la grégarisation (ou prennent naissance les bandes larvaires et les essaims primitifs) s'appellent les foyers de grégarisation. Les principales aires grégarigènes dans le cas du Criquet pèlerin sont :

- **La frontière indopakistanaïse** : où les systèmes de vents favorisent des concentrations importantes de populations.

- **Les bords de la mer Rouge et du Golfe d'Aden** : où le régime des pluies peut fournir des conditions compatibles à la reproduction tout au long de l'année.
- **La bordure de certains massifs montagneux** : où les phénomènes d'écoulement favorisent la création de sites favorables (massifs du Sahara central et méridional, bordure sud de l'Atlas, bordure ouest des montagnes de l'Oman, vallées du Mekran au Pakistan et en Iran).

C'est essentiellement dans ces zones qu'ont lieu les premières étapes de la transformation phasaire conduisant à une invasion généralisée [38].

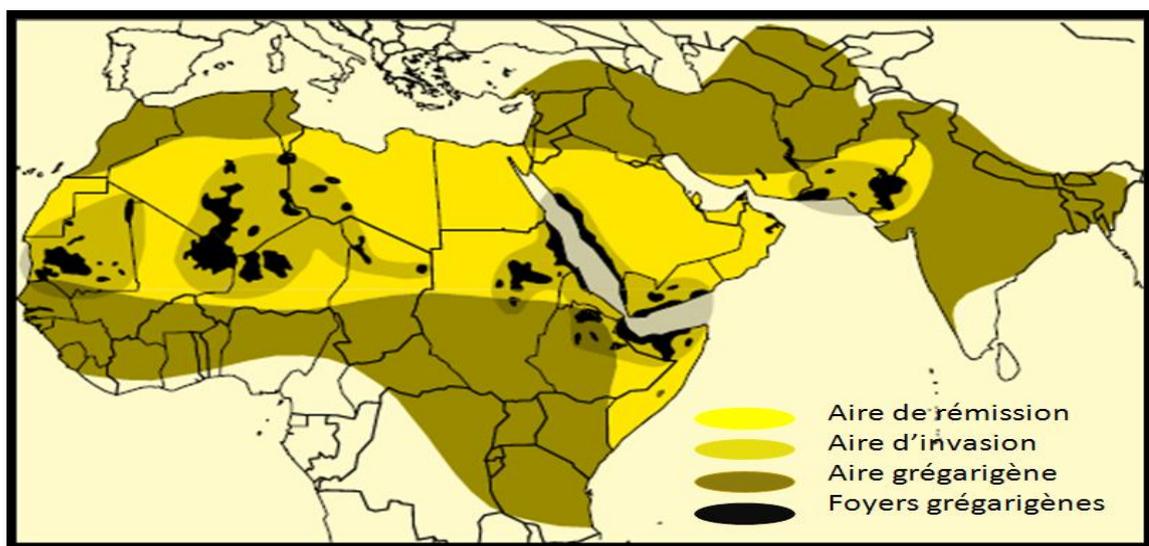


Figure 1.8 : Aire de distribution du *Schistocerca gregaria* au monde [4].

1.12 Dégâts et importance économique de Criquet pèlerin

Selon OULD EL HADJ, 2002. les cultures constituent une cible toute indiquée pour les insectes phytophages nomades et migrants, entre autres les acridiens. Le potentiel de reproduction très élevé des acridiens leur permet une pullulation rapide dès qu'ils bénéficient de conditions écologiques propices à leur multiplication, en un lieu donné, ou en des lieux différents, qu'ils peuvent poursuivre au fur et à mesure de leur évolution

LECOQ et al. (2003) cité par KAIDI, 2004 mentionnent que les dégâts infligés par les acridiens aux cultures et aux pâturages sont de diverses natures :

- Prélèvement alimentaire sur les feuilles, les fleurs, les fruits, les semences, les jeunes écorces, les repousses et les plantules.

- Blessures des plantes consécutives aux morsures. Elles ont deux conséquences :

- Ouvrir une voie d'infection aux parasites et aux maladies végétales,
- Créer une lésion (section des vaisseaux appauvrissant la plante en sève) entraînant une destruction des tissus 5 à 10 fois plus importante que la prise de nourriture elle-même.
- Rupture des branches sous le poids des ailés posés en grand nombre,
- Souillure des surfaces foliaires par les déjections déposées. La

photosynthèse en est perturbée.

D'après (SYMMONS, 2001) les populations larvaires peuvent périr faute de nourriture mais cela est rare.

[67], a noté que la lutte contre les invasions représente un coût élevé pour la communauté internationale et une menace pour l'environnement, [78] a mentionné que contre le criquet pèlerin, de gros efforts financiers nationaux et internationaux pour la surveillance, les prospections et la lutte sont déployés couramment dans le Sahara algérien.

1.13 Lutte contre le criquet pèlerin

La stratégie de lutte antiacridienne consiste en la coordination des actions des manœuvres dans le but d'enrayer les départs d'invasions, de réduire l'ampleur des pullulations et si possible, d'empêcher leurs apparitions [37].

1.13.1 Lutte préventive

La lutte préventive vise à empêcher la formation d'un départ d'invasion par la surveillance des aires grégarigènes et des conditions météorologiques [53]

L'existence d'aires grégarigènes et la succession de périodes d'invasion et de rémission permet d'envisager une lutte préventive dont le but est de prévenir tout départ d'invasion puisque l'on sait qu'une fois l'invasion déclenchée, celle-ci est très difficile à arrêter [38].

D'après (RACHADI, 1990) l'objectif à ne pas perdre de vue est d'empêcher le Criquet d'enclencher un processus de grégarisation, elle revêt deux aspects :

- La prospection dans les zones grégarigènes
- Les traitements des foyers de grégarisation.

1.13.2 Lutte curative

La lutte curative devient nécessaire quand la lutte préventive n'a pas été suffisante pour enrayer les pullulations [62].

Elle ne se pratique qu'en période d'invasion et repose sur une utilisation exclusive de produits acridicides. L'application des pesticides implique au préalable la délimitation de l'espace où évoluent ces populations acridiennes par l'utilisation de la prospection antiacridienne [74] ; [75].

1.13.3 Principaux moyens de lutte

Deux principaux moyens sont actuellement utilisés dans la lutte antiacridienne : moyens chimiques et moyens biologiques.

1.13.3.1 Moyens chimiques

La plupart des opérations antiacridiennes réalisées au cours des quarante dernières années ont été effectuées à l'aide d'insecticides chimiques conventionnels (organochlorés, organophosphorés, carbamates et pyréthriinoïdes) Ces insecticides agissent par contact direct (les gouttelettes tombant sur les Criquets), par contact secondaire (les Criquets entrant en contact avec les gouttelettes déposées sur la végétation) ou par ingestion (les Criquets ingérant la végétation traitée). Les insecticides sont généralement neurotoxiques, c'est-à-dire qu'ils tuent les Criquets en agissant sur son système nerveux [28].

La lutte chimique s'avère néfaste pour l'environnement, l'entomofaune auxiliaire et elle induit le développement de résistance chez les Criquets en vers les acridicides, sans oublier qu'elle contribue à la pollution du sol et des eaux due aux résidus toxiques des produits chimiques [37].

D'après (Abderrahmane ,2007) des écosystèmes fragiles des régions désertiques et semi désertiques ont souvent été largement touchés par des pulvérisations massives de produits toxiques. A partir de là, certains pesticides très efficaces tels que la dieldrine ont été délaissés pour leurs risques de toxicité envers

l'environnement et la santé humaine. D'autres matières de remplacement ont été proposées.

1.13.3.2 Moyens biologiques

La lutte biologique est l'utilisation d'ennemis naturels, appartenant soit au règne végétal, soit au règne animal, pour détruire les insectes nuisibles [19].

Les acridiens sont aussi la proie d'un grand nombre d'ennemis naturels vertébrés et invertébrés : prédateurs, parasitoïdes, parasites, agents pathogènes (champignons, bactéries, protozoaires, virus) [44] in [13].b

1.13.3.2.1 Prédateurs, parasites et parasitoïdes

Les ennemis naturels sont qualifiés de prédateurs quand ils tuent la proie pour s'en nourrir ou de parasites lorsqu'ils se développent au détriment de l'hôte sans pour autant le tuer [44].

Les parasitoïdes sont des insectes dont les larves se développent au dépens d'un autre arthropode alors que les adultes sont libres. Ce sont des organismes parasites pendant une partie de leur existence (Seguy, 1967; Leclant, 1996 in [2].

Selon (Abderrahmane ,2007) les oothèques d'acridiens constituent une source de nourriture pour de nombreux insectes dont les larves prédatrices se développent dans le sol. Les prédateurs des œufs dont la prédation est à la fois importante et régulière sur les oothèques de Criquets sont les diptères, les coléoptères et les mammifères prédateurs.

1.13.3.2.2 Plantes acridifuges ou acridicides

Plusieurs espèces végétales ont été étudiées afin de tester leurs efficacités sur les acridiens pour une éventuelle utilisation dans la lutte contre les phytophages, citant par exemple : *Milia* ; le neem, l'harmal, l'eucalyptus, le pommier de soudan, etc... Des substances toxiques ont été isolées des végétaux de famille botaniques différentes mais surtout des *Asteraceae*, où on retrouve toute une gamme de molécules toxiques tel que : *Furanocoumarins*, *alkaloïdes furanoquinolines*, *alkaloïdes bêta-carbolines*, *polyacétylènes*

et leurs dérivés thiophènes, et quinones. Ces composés peuvent avoir divers effets : *Phagorépression*, réduction de la prise de nourriture, engendre des lésions

cuticulaires et des mues anormales, peuvent retarder le développement larvaire, peut être ovicides ou bien être carrément mortelles. (Philogene, 1991 *in* Kemassi, 2004).

1.13.3.2.3 Agents pathogènes

Ce sont des organismes provoquant des maladies, ils semblent offrir des meilleures perspectives en lutte biologique en particulier ceux qui peuvent être formulés pour être épandus comme bio- pesticides [44].

1.13.3.2.3.1 La bactérie entomopathogène (*Bacillus thuringiensis*)

Selon Berliner, 1915 la classification de *Bacillus thuringiensis* est comme suite :

Règne : Bacteria

Embranchement : Firmicutes

Classe : Bacilli

Ordre : Bacillales

Famille: Bacillaceae

Genre : Bacillus

❖ Caractéristiques générales de *Bacillus thuringiensis*

Bacillus thuringiensis (*Bt*) est une bactérie aérobie facultative, ubiquiste, Gram positive, caractérisée par l'activité entomopathogène des corps d'inclusions qu'elle produit lors de sa sporulation. Elle fait partie d'un groupe de six bacilles, rassemblés sous le terme « groupe *Bacillus cereus* » : *Bacillus anthracis*, *Bacillus cereus*, *Bacillus mycoides*, *Bacillus pseudomycoides*, *Bacillus weihenstephanensis* et *Bacillus thuringiensis*. À l'état végétatif, *Bacillus thuringiensis* a la forme d'un bâtonnet de 5 µm de long sur 1 µm de large, et est pourvu de flagelles (figure 1.9). Elle se distingue des autres bacilles du groupe par sa capacité à synthétiser des cristaux protéiques. Elle a été isolée au Japon par Ishiwata (Ishiwata, 1901) dans des larves de vers à soie malades (*Bombyx mori*) et décrite par Berliner en 1911 en Thuringe (Allemagne). Depuis, différentes souches ont été isolées dans divers habitats tels que le sol (Carozzi et al., 1991; DeLucca et al., 1979; Hastowo et al.,

1992; Martin and Travers, 1989; Smith and Couche, 1991), les insectes (Carozzi et al., 1991), la poussière de papillons (Burges and Hurst, 1977; DeLucca et al., 1979; Meadows et al., 1992), et des feuilles de conifères (Kaelin et al., 1994; Smith and Couche, 1991).

La plupart des Lépidoptères sont sensibles aux cristaux produits par les souches *kurstaki* et *aizawai* et plus récemment *tenebrionis* (ou *san diego*) (Drummond and Pinnock, 1994). Depuis la découverte de la souche *israelensis*, spécifique des Diptères, le spectre d'hôtes de *Bacillus thuringiensis* s'est vu augmenté de plus de 100 espèces de moustiques et simules. Les propriétés entomotoxiques de *Bacillus thuringiensis* en font tout l'intérêt commercial. Les premiers essais de lutte biologique avec *Bt* ont été réalisés en Hongrie dans les années 1920 et en Yougoslavie dans les années 1930 pour contrôler principalement les Lépidoptères (Beegle and Yamamoto, 1992).

Les résultats prometteurs de ces essais ont conduit à la production du premier produit commercial en France en 1938 par les laboratoires Libec, la Sporéine. Par la suite, un nouveau produit, le Thuricide apparut au début des années 1960. En 1976, la découverte des sérotypes *israelensis* (*Bti*) et *tenebrionis* (*Btt*) a permis l'ouverture de nouveaux marchés, grâce à une action larvicide sur les moustiques, les simules et les coléoptères. Cependant, l'utilisation de *Bt* en lutte contre les ravageurs ne représente à ce jour que moins de 2 % du marché mondial des insecticides.

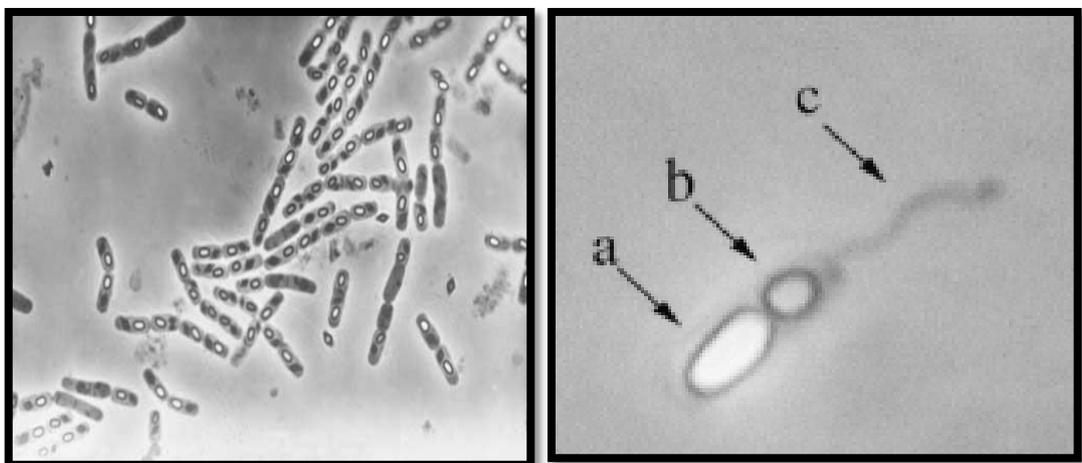


Figure 1.9 : Image de *Bacillus thuringiensis*(Rampersad et al., 2003).

a : spore ; b : inclusion parasporale contenant les cristaux de protéines ; c : filament

❖ Cycle de vie de *Bacillus thuringiensis*

Le cycle vital de la bactérie *B. thuringiensis* comporte deux (2) phases [81] (figure 1.10) :

- Une phase végétative observée lorsque les conditions du milieu sont favorables. Au cours de cette phase, la bactérie se multiplie de façon exponentielle par scissiparité. Elle synthétise pendant la phase végétative une exotoxine thermosensible appelée protéine insecticide végétative (Végétative Insecticidal Protein ou V.I.P.)
- Une phase stationnaire qui commence dès que les nutriments essentiels du milieu se raréfient. Cette phase se caractérise par une différenciation des cellules bactériennes, aboutissant à la formation des spores. C'est aussi dans cette phase qu'intervient la synthèse des delta-endotoxines, substances protéiques conférant à la bactérie un pouvoir pathogène contre certains insectes. Ces protéines s'accumulent dans la cellule bactérienne pour former un cristal qui est ensuite libéré dans le milieu.

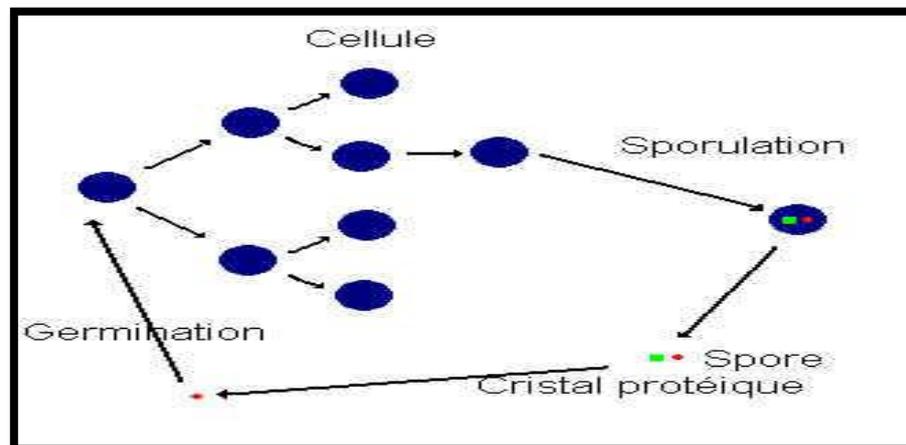


Figure 1.10 : Cycle biologique de *Bacillus thuringiensis*[3].

Contrairement aux pesticides chimiques pour lesquels le mode d'action est rapide au moindre contact avec l'insecte, le mode d'action de *Bt* est lent. Il commence après que les insectes aient ingéré le produit contenant les cristaux de

protéines les spores, et autres composés (enzymes, Protéines insecticides végétatives etc.) encore appelés composés de virulence.

Cinq phases résument le mode d'action de *Bt* (Schnepf et al., 1998; Cooper, 1994; Aronson et Shai, 2001) : Les inclusions cristallines (les protoxines), les spores et les composés de son ingérés par les larves d'insecte (phase 1). Elle est suivie de celle où la protoxine sont virulences solubilisées dans l'intestin de la larve en raison du pH alcalin et sont donc fragmenter pour donner des toxines actives (phase 2). Au fait, au cours de cette phase 2, les extrémités COOH- et/ou NH₂-terminales des protéines Cry sont hydrolysées par les protéases de l'insecte afin de libérer les toxines. Ensuite, les toxines entrent réversiblement en contact avec des récepteurs spécifiques des cellules épithéliales de l'intestin (phase 3). Les toxines forment sur ces récepteurs des pores transmembranaires conduisant a un influx d'électrolytes et d'eau aboutissant à la lyse des cellules épithéliales (phase 4). Cette destruction progressive des structures du tube digestif permet la germination des spores (ingérées avec le cristal) et la multiplication végétative des cellules bactériennes. Ainsi, les tissus de l'insecte sont peu à peu envahis, si bien que la larve cesse de s'alimenter et finalement meurt (phase 5).

1.13.3.2.3.1 *Metarhizium anisopliae*

❖ Généralités

Les champignons entomopathogènes appartiennent aux sous-divisions *Mastigomycotina*, *Zygomycotina* (*Entomophthorales*), *Ascomycotina* (*Clavicipitales*) et *Deuteromycotina* (Hyphomycètes). Les espèces qui infectent les criquets font partie des 3 dernières sous-divisions. La sous-division des *Deuteromycotina* regroupe les champignons dont on ne connaît pas la reproduction sexuée (fungi imperfecti ou champignons imparfaits) et les formes asexuées (anamorphes). Les deux genres les mieux connus qui infectent les criquets sont *Metarhizium* et *Beauveria* [44].

❖ Systématique

Selon (Greathead,1994) *Metarhizium anisopliae* se classe selon la nomenclature suivante :

- Groupe : *Deuteromycotina*
- Classe: *Hyphomycètes*
- Ordre : *Moniliales*
- Famille : *Monilicae*
- Genre : *Metarhizium*
- Espèce : *Metarhizium anisopliae*

La détermination de l'espèce se fait en examinant la forme des spores et des conidiophores. qui sont relativement courts, irrégulièrement ramifiés ou non et arrangés en groupes compacts formant une masse de spores [44].

❖ Morphologie

Metarhizium infecte une large gamme d'insectes et provoque la maladie de la "muscardine verte". L'espèce la plus souvent mentionnée dans la littérature est *Metarhizium anisopliae*, espèce très virulente pour la plupart des acridiens, y compris le criquet pèlerin et le criquet migrateur. Les spores de *M. anisopliae* sont allongées avec des côtés parallèles. Elles mesurent 6 µm de longueur pour 2 à 3 µm de diamètre [44]. (Figure 1.11)

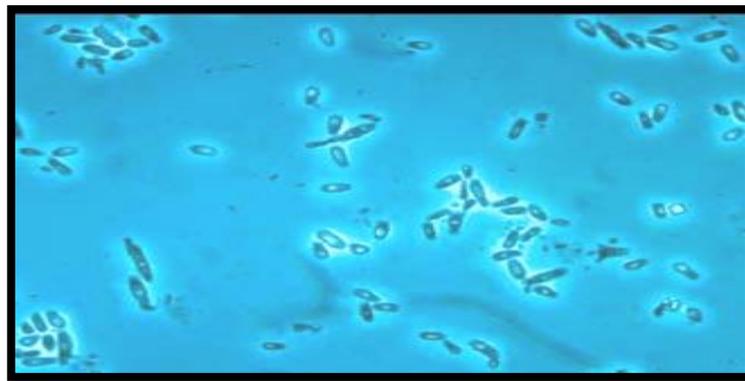


Figure 1.11 : Spores du *Metarhizium anisopliae* var *acridum*[57]

❖ Mode d'action

Metarhizium anisopliae a une action similaire à celle des beaucoup d'insecticides chimiques car il agit par contact non par ingestion.

Selon (Kouassi, 2001) le mode d'infection des microchampignons entomopathogènes se divise en quatre phases distinctes qui sont : l'adhésion, la germination, la différenciation et la pénétration.

• L'adhésion

Les spores de *Metarhizium anisopliae* ramassés de la végétation ou ce qui tombent sur les cuticules de l'insecte s'adhèrent à ces derniers par un mécanisme de reconnaissance et de comptabilité [98].

Cette phase scinde en deux étapes distinctes, la première passive ou l'attachement à la cuticule est réalisé grâce à des forces hydrophobiques et électrostatiques, et la seconde active caractérisée par la production d'un mucilage qui va engendrer une modification épicuticulaire [100] aboutissant à la germination.

- La germination

Si les conditions environnantes et l'état physiologique de l'hôte (composition biochimique de la cuticule) sont favorables, les spores germent dans 24 heures [17].

- La différenciation

Cette phase est caractérisée par la production d'appressorium ; structures terminales qui vont servir de point d'encrage, de ramollissement de la cuticule. La production des appressorium est très dépendante de la valeur nutritive de la cuticule de l'hôte qui va stimuler la pénétration (ST-LEGER et al ; 1989, in [27]).

- ❖ La pénétration

Après la germination, les hyphes sortants pénètrent dans la cuticule à l'aide des enzymes, le mycélium fongique continue de se développer dans l'insecte en produisant des blastospores (corpuscules hyphales) qui prolifèrent et dans certains cas produisent des toxines, ces blastospores font la concurrence avec l'insecte pour des nutriments et cette concurrence devient plus forte tandis que la biomasse fongique augmente. Finalement, l'insecte ne peut plus absorber assez de nutriments et meurt effectivement de faim (KOOYMAN et al ; 2007, in [27]).

❖ Isolement, culture et conservation

Si le cadavre d'un criquet est couvert de spores, l'isolement du champignon est assez simple. Cependant, il faut travailler avec grand soin, en conditions aussi stériles que possible pour éviter la prolifération des bactéries et des champignons saprophytes. Pour empêcher ces derniers de polluer le milieu, il faudrait utiliser des milieux sélectifs aux champignons pathogènes, comme le milieu de Veen. On transférera quelques spores sur le milieu de culture qui sera mis à incuber à une température de 25 à 30°C.

Quand le champignon se trouve à l'intérieur du cadavre, il faut stériliser l'extérieur du criquet en le trempant pendant 3 à 4 minutes dans une solution d'hypochlorite de sodium à 5 %. Ensuite, l'insecte est rincé trois fois dans de l'eau distillée et stérilisé en changeant l'eau à chaque fois. La dissection du criquet se fait avec des instruments stériles. Un peu du contenu du corps est étalé avec une boucle métallique sur un milieu sélectif et mis à incuber entre 25 et 30°C.

Les cultures doivent être examinées tous les jours. Les colonies individuelles sont transférées sur un milieu nutritif comme le milieu de Molisch. Cette procédure doit être répétée en cas de contamination car les colonies de saprophytes, comme les *Penicillium* et les *Aspergillus*, se développent très vite et peuvent remplir une boîte de Pétri en quelques jours. Quand on a obtenu une culture pure, on prépare des milieux en pente dans des tubes à essais qui peuvent être fermés hermétiquement et on y ensemence un peu le champignon.

La plupart des Hyphomycètes entomopathogènes peuvent facilement être cultivés sur des milieux simples, comme du riz cuit ou même dans un milieu liquide contenant du sucre et de la levure de brasserie. Les cultures de champignons peuvent être maintenues en les transférant de temps en temps sur des milieux fraîchement préparés. Cependant, selon les souches, les champignons entomopathogènes perdent leur pathogénicité après un certain nombre de transferts. Il est donc conseillé de renouveler l'isolement de la souche après deux ou trois transferts si on l'utilise pour des expériences. Sinon, on peut prolonger sa survie à 1 an en cultivant la souche sur un milieu peu

nutritif comme l'agar avec pomme de terre et carotte ou l'agar avec pomme de terre et dextrose dilué à un cinquième du normal dans des bouteilles fermées hermétiquement. Une submersion dans l'huile de paraffine prolonge même la survie à 5 ans. Pour une conservation de plus longue durée, on a recours à la lyophilisation et à l'azote liquide [44].

❖ Formulation

Le projet LUBILOSA (Lutte Biologique contre les Locustes et les Sautériaux) a mis sur le marché un produit à base de champignon appelé "Green Muscle". Ce bio pesticide consiste en des spores du champignon *Metarhizium anisopliae* var. *acridum* (Deuteromycotina : Hyphomycetes) en forme de poudre sèche (formulation TC) ou en forme de concentration huileuse des spores (Formulation OF) [80].

Le "Green Muscle" fait partie de la nouvelle génération de biopesticide destinés à réduire les populations des insectes ravageurs tels que les sauteriaux et les locustes en Australie [52] et l'Afrique et qui permet de réduire considérablement l'utilisation des pesticides chimiques [69]

❖ Symptômes d'infection par *Metarhizium anisopliae*

Après l'infection fongique des sauteriaux et des criquets par *Metarhizium anisopliae*, ce dernier agit dans le corps de l'insecte en fonction des conditions environnantes [50].

Le corps de l'insecte dispose d'un système immunitaire de défense qui est la thermorégulation, qui inhibe le développement des cellules fongiques pathogènes dans les conditions chaudes et ensoleillées ou la température est élevée, ce qui prolonge la période d'incubation. A l'inverse, si les conditions sont nuageuses et la température ambiante se situant entre 26 et 32 °c et l'humidité ambiante est suffisamment élevée, l'efficacité de la thermorégulation diminue ce qui est due à une croissance fongique rapide et l'accélération de l'incubation donc l'insecte meurt [81].

Le mycélium pousse ensuite dans les tissus du cadavre, on peut le voir sortir, surtout des articulations. Lors de ce processus la cuticule rougit due à l'oosporéine produite par le champignon. Des spores vertes sont formées dans

un ou deux jours, qui 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.

CHAPITRE 2

Etude autoécologie du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* dans les différents biotopes au Sahara Algérienne

Cette partie a été réalisée en une étroite collaboration avec Mr MAHDJOURI Djillali Enseignant au département d'écologie et génie de l'environnement de l'Université 08 mai 1945 Guelma.

Les analyses ont été effectuées sur la base de 466 relevés phytosociologiques, effectués au cours des enquêtes menées entre 2007 et 2013 dans différentes régions du sud Algérien. Ces enregistrements phytosociologiques ont été soumis à l'analyse des correspondances (AFC) suivie d'une CAH. L'examen des éléments floristiques de la végétation des biotopes de locustes a montré l'existence de dix groupes floristiques qui sont distribués selon le régime hydrique des zones d'étude (en parallèle avec la topographie).

2.1 Introduction

L'écologie de *Schistocerca gregaria* en phase solitaire a fait l'objet de beaucoup de travaux dans différents pays africains, dont la Mauritanie [23]; [5], le Maroc [15], la Libye [49], les pays du Sahel [94], le Soudan [96]; [97] [99]. Comme pour l'Algérie, plusieurs études ont été réalisées et on peut citer entre autres : [77]; [46], [47]; [30].

Cette population acridienne vit isolé au solitaire, mais en raison de conditions météorologiques favorables se regroupe, se multiplie rapidement et avance dans la phase grégaire [95].

Il y a un grand concept dans la compréhension des facteurs impliqués dans la phase de transformation, à savoir la transition entre états solitaires aux grégaires. De nombreux travaux ont mis en évidence les conditions climatiques qui ont favorisé le processus de grégarisation [95]. Notre objectif est de contribuer à une meilleure analyse des paramètres auto-écologique du criquet qui permettent le regroupement des adultes par le biais de la reproduction et donc une grégarisation éventuelle dans le Sahara algérien. L'étude de ces habitats a besoin de fournir des informations sur l'état des populations du criquet pèlerin

associés à la description fine des communautés végétales et les paramètres physiques (granulométrie et humidité du sol) des stations, selon les résultats de [8], [7]. Ces habitats doivent être considérés également au niveau de la région, pour nous motiver à explorer quatre zones différentes par leur climat, altitude (350 m et 1000 m, et la position géographique). Ces régions ont été choisies car elles ont été identifiées comme des centres d'infestations acridiennes au cours des 20 dernières années par le DLAA algérien (Département de lutte anti- acridienne). En plus une autre zone située entre Tindouf et Bechar a également accueillie des invasions mais les problèmes de sécurité ne permettaient pas d'engager des travaux sur le terrain.

Un système d'alerte précoce amélioré repose en grande partie sur la disponibilité de données fiables ainsi que des données provenant des menus d'enquêtes, des informations météorologiques du désert, la pluie et le développement de la végétation sans aucun doute va être un atout pour le contrôle préventif de ne pas s'engager dans des enquêtes sur le terrain et faire le choix intelligent. Un système opératif peut certainement être considéré comme assez vite spécialement pour régions sahariennes après quelques futures recherches. La méthode doit être élaborée dans quelques régions pilotes et ensuite généralisées à toutes les zones de risque à surveiller.

Des prospections ont été réalisées et généraliser sur les observations au niveau des stations (zonale), montrant quelques structures de base des habitats. Par conséquent, il devient possible de combiner des informations dans le but d'identifier plus ou moins la causalité écologique ou biogéographique au sein des régions de locuste.

2.2 Matériel et méthodes

Les différents échantillonnages sont effectués dans quatre régions (fig2.12) appartenant à trois zones du Sahara algérien (Centre, Sud-ouest, Sud) considérant la haute fréquence de l'activité acridienne (reproduction et concentration), en fonction du régime pluviométrique méditerranéen ou tropical [89], [21], [45].

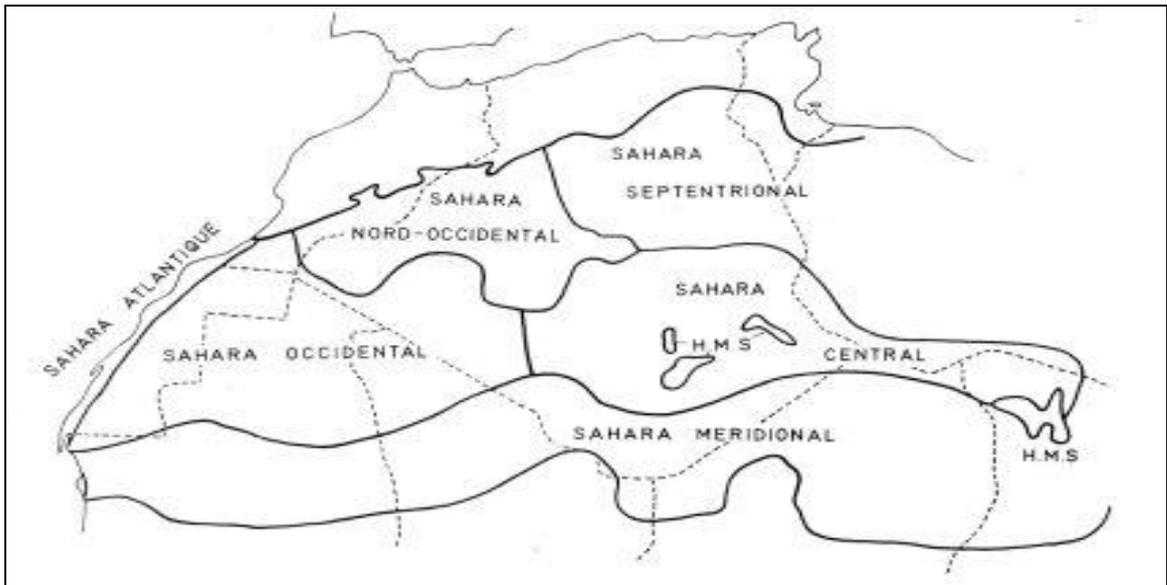


Figure (2.12) :Les grandes subdivisions phytogéographiques du Sahara [86].

Dans le Sahara central, les enregistrements ont été conduits en grande partie autour de la wilaya d'Adrar, et plus précisément dans les stations Ablessa, Aoulef et Saddle, caractérisée par une pluviométrie annuelle stable entre 100 et 150 mm et une durée indéterminée de la saison des pluies entre 2 et 3 mois, Dans le Sud-Ouest. Les régions de Djanet et Tamanrasset, Dans le coté sud à proximité de Bordj Badji Mokhtar où le problème acridien frappe chaque année avec acuité. Certaines caractéristiques de ces quatre régions sont résumées dans le tableau 2.2. Nos enquêtes ont été menées dans des habitats différents pour chaque région. Dans le tableau 2.3, les principaux types d'habitats étudiés qui sont possible d'être fréquentés par les criquets sont indiqués. Le calendrier et le nombre de sorties correspondant à une collecte optimale sont présentés au tableau 2.2. Durant la période 2007 à 2012, les prélèvements ont été effectués dans une période de rémission de la dynamique spatio-temporelle des criquets. Pour chaque prélèvement l'état de phase des adultes a été mesuré.

Tableau 2.2 : Données générales sur les quatre zones d'étude.

Région Prospectée	TAMANRASSET (SAHARA MERIDIONAL)	ADRAR (SAHARA CENTRAL)	DJANET (SAHARA MERIDIONAL)	BORDJ BADJI MOKHTAR (SAHARA MERIDIONAL)
Date	Du 03/03/2009 Au 10/03/2009	Du 11/05/2009 Au 23/05/2009	Du 05/03/2011 Au 15/04/2011 Du 25/10/2010 Au 20/12/2010	Du 12/08/2007 Au 31/12/2007 Du 01/01/2008 Au 23/12/2008 Du 15/07/2009 Au 16/12/2009
LATITUDES	(22 56 56 N) (05 07 59 E) et (22 39 05 N) (04 30 09 E)	(27 11 34 N) (01 10 41 E) et (27 50 40 N) (01 10 45 E)	(19 47 N) (27 38 E) et (29 20 E) (33 47N)	(02 52 E) (19 57 N) et (01 50 E) (20 44 N)
ALTITUDES	> 600 <1000 m	> 300 < 800 m	1000 m	500 m
Nombre d'échantillons (Total = 466)	109	95	70	192

Tableau 2.3 : TYPE DE BIOTOPES PROSPECTÉS

Grand OUED	++	++	++	++
OUED	++	++	++	+
Petit OUED	+	++	++	++
Epannage	+	++	++	
Dépression d'oued	+	+	+	+

2.2.1 L'étude floristique

Afin de caractériser les habitats et d'identifier les potentialités de reproduction du criquet pèlerin dans le sud Algérien, nous avons conduit des relevés floristiques en trois zones sahariennes (partie Nord, centre et Sud). La composition de la flore est un grand intégrateur des contraintes environnementales qui caractérisent une biocénose. Chaque habitat est une liste d'espèces végétales quantifiés qui composent la végétation. Les sauterelles sont phytophages et prennent la végétation comme refuge. A l'état solitaire, ils préfèrent certaines espèces végétales et négligent certaines d'autres. Il est nécessaire, avant de décrire les communautés végétales, d'énumérer toutes les espèces de plantes enregistrées au cours de notre expérience. Parmi ces espèces, il est important de mettre en évidence ceux qui présentent un intérêt particulier (habitat, nourriture ...) pour les criquets. Chaque inventaire floristique a été réalisée sur une surface floristique homogène d'un (1) hectare, prenant en considération pour chaque espèce, le coefficient « abondance –dominance » de [6]. L'échelle adopté [68] se présente comme suit :

L'espèce couvre moins de 1/20 (5%) de la surface :

+: Les individus sont rares,

1 : Les individus sont limités,

Les individus sont abondants ; l'espèce couvre plus de 1/20 de la surface de l'enregistrement :

2: Plus de 1/ 20 à ¼

3 : Plus de ¼ à ½

4 : plus de ½ à ¾

5 : Plus de ¾.

2.2.2 Etudes pédologiques

Pour chaque station, nous avons enregistré la texture du sol et de l'humidité afin de mieux estimer le potentiel de reproduction du biotope. La texture du sol est déterminée par la présence ou l'absence d'éléments clés, à savoir l'argile, le limon, le sable fin ou le sable grossier, gravilloneux, ou rocailleux. Pour l'humidité du sol, nous avons creusé un trou jusqu'à la profondeur de l'humidité, qui a été mesurée à partir de la surface en cm.

Les profondeurs enregistrées sont :

- L'humidité de surface
- L'humidité à 10 cm
- L'humidité à 20 cm
- L'humidité à 30 cm
- Et l'humidité de plus de 30 cm.

2.2.3 Prospections acridiennes

Les relevés sont, dans la majorité, effectués entre le Sahara central et méridional d'après [46], ces régions sont considérées comme zone à hautes fréquences de reproduction hiverno-printanière et (ou) estivo-automnal.

La densité est le principal facteur de régulation phasaire. Il nous renseigne sur l'avenir et le développement de la population acridienne. Trois descripteurs sont pris en compte:

- Le nombre d'individus dans une population,
- La surface du biotope,
- Et la densité de population est estimée par mètre carré (pour les populations regroupées) ou par hectare (pour les populations diffusées).

Plus de description des habitats des criquets dans le sud Algérien, la densité de population a été estimée dans chaque habitat prospecté. Nous avons également récupéré les individus adultes de la population prospectée sur différentes stations étudiées, pour prendre les mesures nécessaires et définir l'état phasaire des individus.

Cette technique a été utilisée par OUELD EL HADJ M. D(2004), cette méthode consiste à choisir une longueur complète, le long de laquelle plusieurs spécimens

ont été collectés. Dans le cas de notre étude, nous avons travaillé sur une surface de 1 m de large et 100m de long. Les calculs sont répétés sur une douzaine de bandes [39].

Selon CRESSMAN le transect par véhicule est une méthode utile pour déterminer la présence d'individus ailés sur une grande surface, comme une plaine de sable, ou dans les grandes zones de végétation verte. Il s'agit de conduire en face ou à travers le vent pour au moins

1 km. Cette méthode consiste à:

- Compter les adultes qui volent devant le capot du véhicule.
- Calculez la distance en utilisant l'odomètre.
- Faire le comptage seulement lorsque la température est supérieure à 20° C et la vitesse du vent est inférieure à 6 m /s.

Le principe de la méthode des quadrats est un comptage précis du nombre d'individus de *Schistocerca gregaria* présentent dans une surface bien définie. Afin d'obtenir une estimation satisfaisante de la population, le relevé doit être effectué (n) fois selon les répétitions [77] La surface d'échantillonnage où nous avons fait nos enquêtes était d'environ 2 ha. A cet effet, cinq relevés sont réalisés par station dans des carrés de 16 m² (4m x 4m).

Le choix du nombre d'échantillons dépend de nombreux facteurs, la plupart d'entre eux sont liés aux éléments géomorphologiques de la station, entre autres: la physionomie de la végétation, la topographie, et le gradient de l'humidité du sol.

2.2.4 Structuration des données- Typologie

La typologie est généralement basée sur une analyse multivariée des occurrences de table (phytosociologie) ou une éventuelle (co-occurrence). Ces types d'analyse sont particulièrement utiles pour décrire des phénomènes complexes (communautés végétales, l'environnement et les populations de criquets).

Les analyses ont été effectuées sur la base de 466 relevés phytosociologiques, effectués au cours des prospections menées entre 2007 et 2013 dans différentes régions du sud algérien.

Ces enregistrements phytosociologiques ont été soumis à l'analyse des correspondances (AFC) suivie d'une CAH (classification ascendante et

hiérarchique). Ce type d'analyse est classiquement utilisé en phytosociologie, avec les résultats de l'AFC et CAH nous pouvons structurer le tableau phytosociologique.

La fréquence relative et la fréquence compensée (ou fréquence corrigée DAGET et GORDON, ont été calculés selon les formules :

$$\text{Freq rel} = n \cdot 100 / N$$

$$\text{Freq cp} = x \cdot N / X \cdot n$$

où:

- Freq rel est la fréquence relative;
- Freq PC est la fréquence compensée;
- N est la fréquence absolue de l'espèce dans le tableau;
- N est le nombre de relevés participant à la table;
- X est le nombre d'enregistrements où l'espèce est présente dans un bloc de relevés.

2.2.5 Méthodes statistiques

Dans notre étude, les relevés floristiques sont soumis à l'analyse multivariée. Les analyses présentées dans cette étude ont été réalisées avec le logiciel Past et Systat. Pour la première analyse, nous avons considéré le caractère présence/absence d'espèces végétales (analyse qualitative). Les coefficients abondance/dominance sont utilisés dans une seconde étape pour préciser la table et décrire la corrélation entre les communautés végétales, l'altitude et l'humidité du sol dans la région d'Adrar.

2.2.6 Matériel utilisé

GPS

E- locust : un dispositif pour enregistrer l'activité acridienne et l'envoyer au centre de la FAO par satellite.

Fiche de prospection. Pour chaque prospection, une fiche, y compris les données sur la flore, la texture du sol et l'humidité, la physiologie de la végétation, l'abondance des adultes et des larves et leur comportement.

Cartes de la région Chaque échantillon a été fourni avec des coordonnées fournies par GPS.

2.3 Résultats

Cette étude vise à mettre en évidence l'interdépendance entre la composition floristique de la végétation des habitats, des composantes géographiques et populations potentielles de *S. gregaria* pour déclencher le polymorphisme phasaire. Certaines caractéristiques des biotopes dans les 4 régions du Sahara algérien sont mentionnées dans le tableau 2.2.

2.3.1 Approche globale

Afin d'avoir un aperçu des facteurs qui peuvent avoir un effet sur l'abondance des criquets, nous avons réalisé un modèle linéaire général (GLM) en utilisant la région, l'humidité de profondeur et l'altitude comme facteurs. Le résultat dans le tableau 2.4 montre un effet significatif dans l'ordre suivant: le paramètre le plus influençant est la région, puis l'altitude et enfin l'humidité de profondeur. Comme région d'influence, la moyenne des abondances d'Adrar est proche de 4 par échantillons, environ 2 à Djanet, près de 0 à BBK et totalement absente à partir de Tamanrasset (Fr 3,462 = 144,796, $p < 0,001$) (Fig2.13).

Tableau 2.4 : General linear model (N = 466)

	Coeff.	p	R ²
Constant	18.5100	2.14 10 ⁻²⁶	0.0000
Region	1.0037	4.4 10 ⁻³⁵	0.2460
Ln (altitude)	-2.9313	3.5 10 ⁻²⁷	0.1942
Humidity depth	-0.0367	0.0166	0.0209

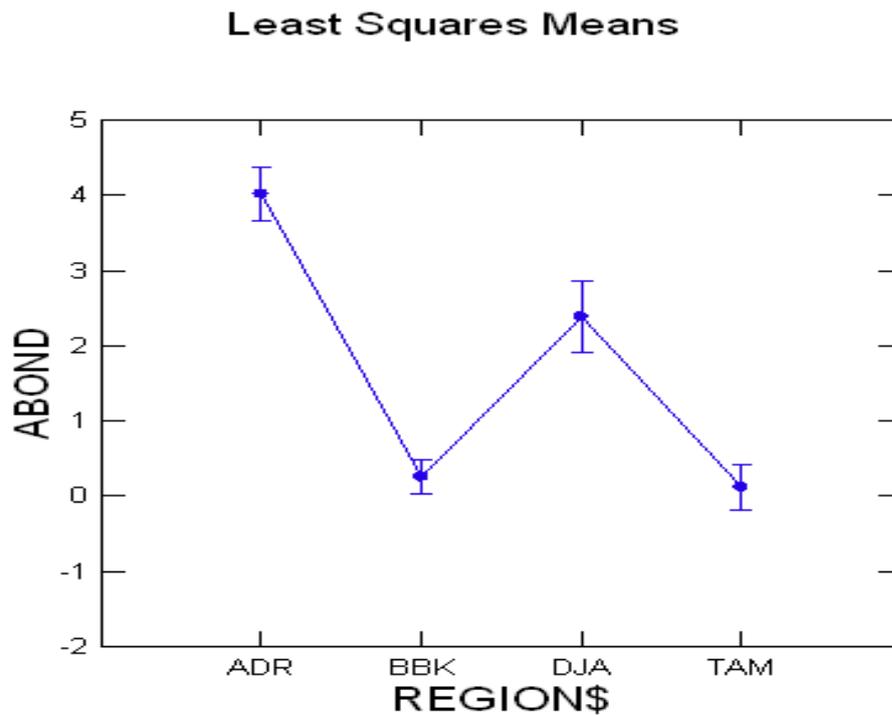


Figure (2.13) : Abondance de SGR dans les régions d'études

Afin de comparer des régions par leur flore, nous avons entrepris dans un premier temps une analyse redressée avec l'ensemble de données (466 échantillons x 91 espèces végétales). La projection a indiqué à la (figure 2.13) estimée pour 11,7% de la variance totale. En plus de cette faible valeur, elle reflète une distinction claire entre la flore d'Adrar, BBK et Djanet, mais un certain chevauchement entre ces trois régions et Tamanrasset

Dans un deuxième temps, il est nécessaire d'étudier les relations entre la projection d'échantillonnages par leur flore et l'abondance des criquets. Ainsi, nous avons enregistré les coordonnées x et y des stations obtenus par l'analyse redressée et l'abondance des criquets comme un axe z. Le graphique de la densité obtenue avec SYSTAT 12.0 (figure 2.14) montre les valeurs les plus élevées de l'abondance dans le coin inférieur gauche, par exemple elle est centrée autour des prélèvements d'Adrar.

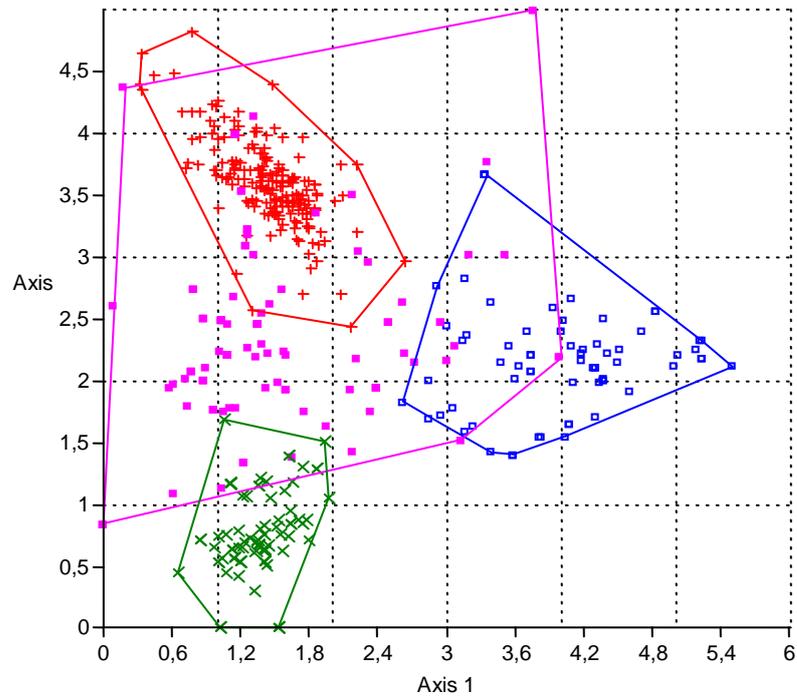


Figure (2.14) : Projection par Detrended correspondence des relevés floristiques pour les quatre régions inventoriées du Sahara

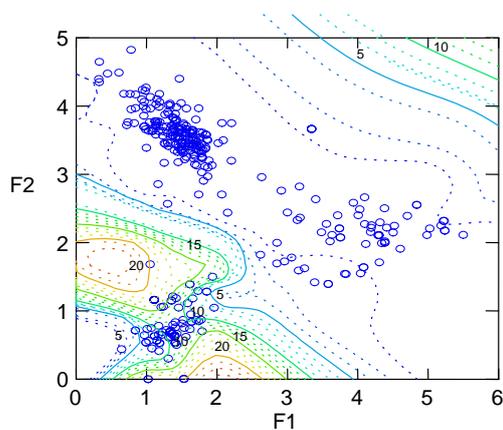


Figure (2.15) : Graphe de densité des SGR pour Adrar, BBK et Djanet

X et Y = scores de la detrended correspondence;

z = abondance de SGR dans le relevé

Dans une troisième étape, nous avons appliqué la même méthode, mais en se concentrant sur les stations d'Adrar. Les coordonnées x.y des stations données par DA, couplé avec la valeur de l'abondance des criquets, a donné le graphe de densité dans la (figure 2.16). La plupart des stations sont tracées autour d'une

ligne décroissant, les hautes altitudes correspondent aux valeurs à l'extrême droites de cette ligne. Fait intéressant, les zones de plus forte densité de criquets sont situées à gauche de la projection, à l'opposé de stations de haute altitude. Ainsi, le résultat montre que les criquets préfèrent la basse altitude (environ 300 m contre 800 m), cette idée est supportée par l'ANOVA ($F_{1,93} = 28,42, p = 6,8 \cdot 10^{-7}$).

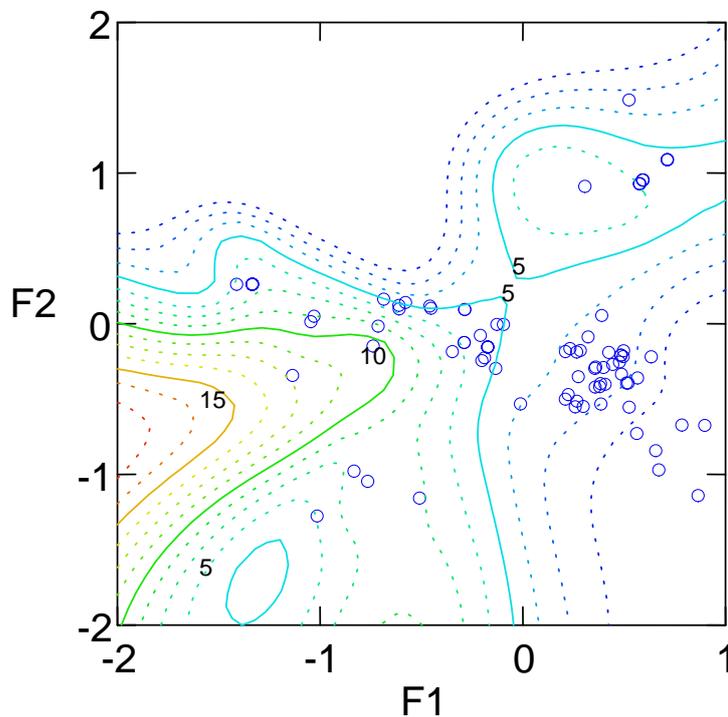


Figure (2.16) : Zone d'Adrar Abondance des SGR selon les projections de l'AFC par les plantes $F1 = 20.89$, $F2 = 14.88$ %

2.3.2 Variations dans chaque région

2.3.2.1 Région d'Adrar

La question est de comprendre les variations d'abondance de *S. gregaria* selon les stations. La section précédente indiquait un effet possible de l'altitude, mais il est nécessaire de prendre en compte d'autres variables d'environnement: la profondeur de l'humidité (en cm), couverture végétale totale (somme des coefficients d'abondance des espèces végétales), la richesse totale des espèces végétales, la richesse des plantes préférées.

Le modèle linéaire général (LGM) a donné les résultats présentés dans le tableau 3 (N= 93) qui montrent un effet significatif et positif sur la richesse des plantes préférées, et une valeur négative pour la couverture végétale totale et la profondeur de l'humidité. Les criquets sont donc plus abondants quand l'humidité est proche de la surface, avec un nombre croissant de plantes préférées, mais évite les stations où la couverture végétale totale est élevée.

Tableau 2.15: General linear model pour la région d'Adrar (N = 93)

	Coeff.	P	R ²
Constant	16.8330	0.0000	0.0000
Flora richness	-0.1416	0.7279	0.0004
Total plant cover	-0.3726	0.0445	0.0404
Altitude	-0.0011	0.6959	0.1971
Humidity de profondeur	-0.4705	0.0021	0.2367
Richness of preferred plants	0.7096	0.0509	0.0058

2.3.2.2 Région Bordj Badji Mokhtar

Les altitudes des différentes stations sont très proches de 500 m. Les résultats indiqués dans le (tableau 2.16) montrent un effet fort de l'humidité de profondeur et un effet positif de la couverture végétale totale. Cependant, la richesse des plantes préférées ne semblent pas avoir d'influence sur l'abondance des criquets.

Tableau 2.16: General linear model de la région de BBK (N = 192)

	Coeff.	p	R ²
Constant	0.9876	1.4 10 ⁻⁵	0.0000
Humidity depth	-0.0370	1.1 10 ⁻⁷	0.1466
Total richness of plants	-0.0367	0.2959	0.0306
Total cover of plants	0.1031	0.0176	0.0420
Richness of preferred plants	-0.0251	0.2545	0.0008

2.3.2.3 Région de Djanet

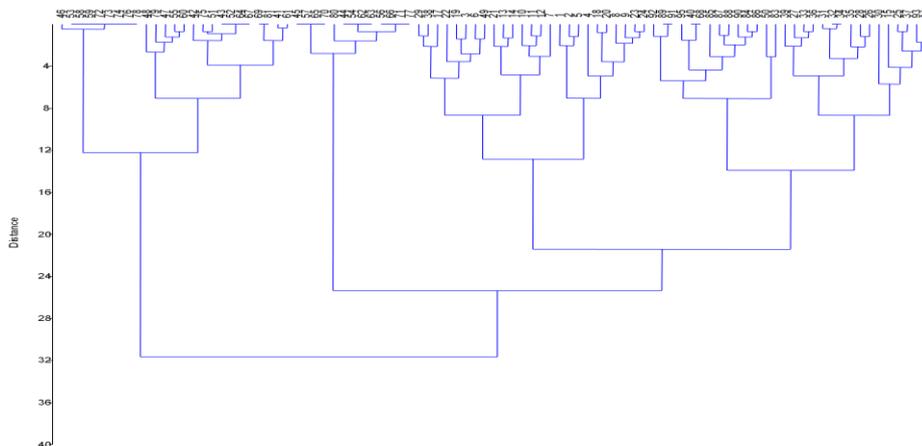
Les courbes sont comprises entre 1000 et 1080 m et elles ne sont pas prises en compte. Le GLM mené sur les variables environnementales montre l'effet positif et significatif de la couverture totale de la végétation, mais un effet négatif de la richesse totale de la végétation (tableau 2.17). Contrairement à d'autres régions, ni la profondeur de l'humidité ni la couverture végétale préférée (ou la richesse, données non présentées) a un effet sur l'abondance des criquets.

Tableau 2.17: General linear model for Djanet region (N = 70)

	Coeff.	p	R ²
Constant	0.0468	0.9553	0.0000
Humidity depth	0.0186	0.5548	0.0012
Total richness of plants	0.2982	0.0275	0.0081
Total cover of plants	-0.3094	0.0164	0.0016
Cover of preferred plants	0.1787	0.1352	0.0131

Avec chaque région, nous avons ensuite testé l'effet de la flore totale et de la saison.

Dans la région d'Adrar, les échantillonnages de *S. gregaria* ont été effectués seulement au cours du printemps, comme indiqué par DLAA. Afin d'évaluer la variabilité de l'abondance de *S. gregaria* en fonction des communautés végétales, une première analyse des groupes sur la plante x données de station en utilisant la méthode de Ward qui a identifié quatre groupes.



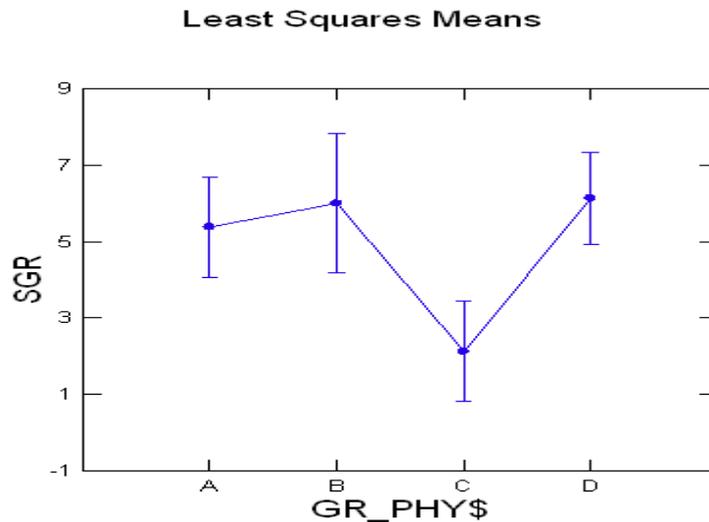


Figure (2.17): Cluster analysis par ward Method (Adrar).

Tableau 2.18: Effect of plant communities and season

ADRAR Region	Factor	df	F-ratio	p-value
N = 93	Plant community	3	7,964	$<10^{-3}$
BBK Region	Plant community	11	1,725	0,071
N = 192	Season	2	0,596	0,552
DJANET region	Plant community	5	8,897	$< 10^{-3}$
N=70	Season	1	7,3	0,009

Une analyse de la variance en utilisant l'abondance des criquets comme variable dépendante et les communautés végétales comme facteur a révélé des différences significatives ($p < 10^{-3}$), la densité dans le groupe C étant inférieur à celui des trois autres groupes (figure (2.17), (tableau 2.18)). Une analyse de SIMPER prenant le groupe C contre les groupes A, B et D a montré que certaines espèces sont plus abondantes dans le groupe A-B-D que dans le groupe C : *Psoralea plicata*, *Cotula cinerea*, *Euphorbia granulata*, *Francoeuria undulata*, *Schouwia thebaica*, *Fagonia indica*, et *Salsola imbricata*.

Dans la région de **BBK**, l'effet combiné de la communauté végétale et la saison a été testé (figure (2.18), (tableau 2.18)) et a révélé une variation significative marginale dans l'abondance des criquets selon les communautés ($p = 0,071$). Les groupes 4 et 11 seraient préférables, alors que les groupes 1, 2, 3 et 12 ont été négligés.

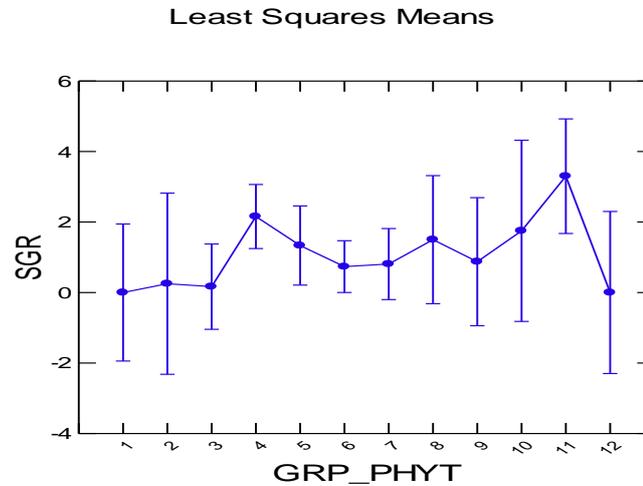


Figure 2.18: Cluster analysis par ward Method(BBK).

Dans la région de Djanet en revanche, il ya un double effet significatif des communautés végétales ($p < 10^{-3}$) et la saison ($p < 10^{-2}$) sur l'abondance des criquets. Les populations de Janvier sont moins abondantes que celles de l'automne. Sinon, les populations de criquets préfèrent le groupe E que le groupe D et F. Les espèces suivantes sont plus abondantes dans le groupe E que dans les deux groupes D et F: *Sorgho bicolor*, *Tamarix senegalensis*, *Acacia arabica*, *Pulicaria crispa*, *Citrulus colocynthis*, *Moretia canescens*, *Rumex vesicaria*, *Schouwia thebaica*, *Zilla spinosa*, et sativa *Erucaria*.

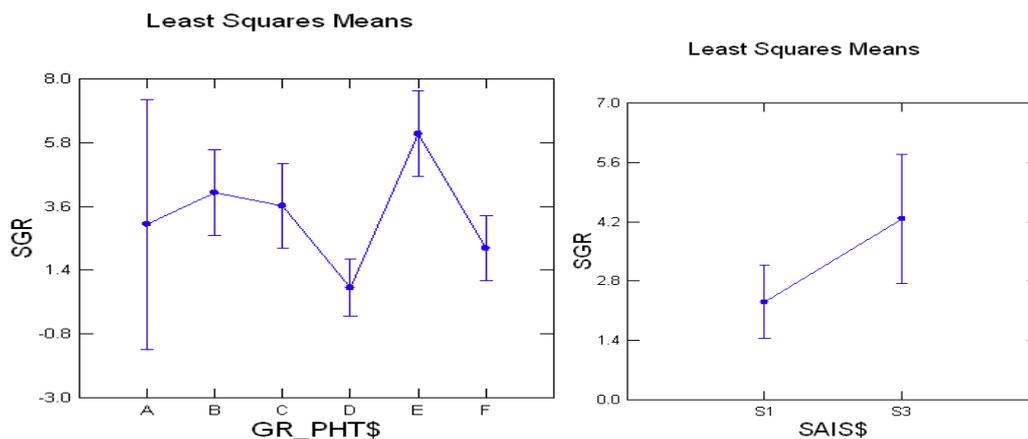


Figure 2.19 : Cluster analysis par ward Method(Djanet).

2.4 Conclusion

Il est bien connu que le déclenchement de l'invasion acridienne dans le Sahara est une combinaison d'une séquence de deux conditions environnementales. Premièrement, un climat favorable à l'augmentation des populations d'insectes, soutenues par des pluies, et le second une période de sécheresse contraindre la population à se concentrer sur des surfaces réduites contenant des biotopes de petite surface. Dans ces petites zones, la densité des locustes devient suffisamment élevée où commence le processus de grégarisation, par une succession de phases continues entre solitaire aux états grégaires [95]. Il est important de caractériser les zones qui abritent des criquets solitaires pendant les périodes de rémission.

Dans notre approche autoécologique, nous avons mis en cause la grande diversité des besoins écologiques de la sauterelle *Schistocerca gregaria* selon les régions. Dans la région d'Adrar, le criquet est attiré par les stations les plus humides, avec la faible couverture végétale et l'abondance des espèces préférées. En ce qui concerne les habitats, la végétation est représentée dans un vaste territoire par une steppe désertique à *Panicum turgidum* et *Acacia tortilis*, caractéristique des milieux sahariens. Barry., *et al* (1976). Dans ce contexte, nous avons remarqué que les criquets ont évité le regroupement où le couvert végétal est dominé par *Cornulaca monacantha* et *Hyosciamus muticus*, ils se sont installés dans les bords de plaines, bien que ces dernières espèces étant souvent recherchés et consommés [47].

Si nous regardons dans le Sud, dans le Sahara méridional, près de Bordj-Badji-Mokhtar, l'altitude est d'environ 500 m, le facteur majeur expliquant la présence de criquets est l'humidité. Le deuxième facteur est le couvert végétal, en plus de certaines espèces préférées. Nous interprétons le rôle de la couverture végétale en tant que protection contre l'extrême sécheresse dans les habitats et comme endroits favorable pour la mue. Cependant, les habitats qui semblent les plus appropriés pour les criquets sont les groupements des Oued caractérisés par *Cornulaca monacantha*, *Pulicaria crispa* avec quelques arbustes et des petits arbres comme *Tamarix Africana*, *T. aphylla* et *Acacia tortilis*. La composition

globale de la flore demeure la steppe désertique *Acacia Panicum*, mais avec une composante originale vers les oueds et aux bords des plaines.

CHAPITRE 03

ESSAIS DE LUTTE BIOLOGIQUE CONTRE *SCHISTOCERCA GREGARIA* PAR DE AGENTS ENTOMOPATHOGENES DANS LES CONDITIONS CONTROLEE

3. Matériel et méthodes

3.1. Zone d'étude

3.1.1. Le Sahara (le plus grand désert au monde)

L'Algérie est le plus grand pays d'Afrique après le Soudan, sa superficie atteint 2 382 000 km². Elle s'étend sur environ 18 degrés de latitude (37°N-19°N) et un peu plus de 20 degrés de longitude (8°35W-12°E). Elle constitue un immense trait d'union entre la Méditerranée et l'Afrique sahélienne par l'intermédiaire du Sahara. Elle représente une grande diversité de climats, de reliefs, de sols et de types de végétation [46].

Le Sahara Algérienne forme une large barrière qui sépare le domaine méditerranéen au Nord du domaine tropical au Sud. Il est constitué de plateaux (hamadas et tassilis) où le massif volcanique du Hoggar culmine à 3000m d'altitude, de plaines (regs et ergs) et de dépressions (sebkhas et gueltas).

Pour le cas de notre étude, elle a été réalisée dans le domaine saharien.

3.1.2. Le domaine saharien

Selon Capot,R(1952), « Il semble tout indiqué de délimiter le Sahara par les isohyètes et c'est ainsi que les auteurs l'arrêtent, qui à la courbe 100 mm, qui à la courbe 200 mm, d'autres, mieux inspirés, à un isohyète différent du nord au sud ». La végétation fournit des indications précieuses. Si l'on a pu proposer comme limite septentrionale, la zone du palmier dattier, celle-ci perd toute signification climatique sur les confins soudanais [73]. Plus concrètement, cette limite suit le versant sud des Aurès et de l'Atlas saharien le long d'une ligne Biskra, Chott El Hodna, Messaad, Laghouat, El Abiodh-Sidi-Cheikh, Ain Sefra et Bechar. La limite est à la fois climatique et géomorphologique.

Le domaine saharien constitue l'habitat permanent du Criquet pèlerin en période de rémission, d'où la nécessité de l'étudier plus en détail.

En fonction des conditions de climat, de relief, du sol et du tapis végétal, le Sahara est ordinairement divisé en trois secteurs: septentrional, central et méridional.

Le désert n'est pas homogène et montre une diversité de paysages et de végétation dépendant de la nature du sol et de l'altitude [82]. Ainsi les ergs sont des paysages de dunes de sable, Il y a aussi des lits d'oued qui sont parfois les seuls points où se fixe une certaine végétation. Il y a bien sûr les oasis qui, grâce à des sources souterraines, constituent des taches de verdure et de cultures dans le désert. Elles constituent aussi des zones humides plus ou moins permanentes (figure 3.20).



Figure (3.20) : Vue naturel de zones humides (original).

En se basant sur les proportions de chaque élément de ces flores, de nombreux auteurs, [101, [73], [86] et [8], considèrent que la partie algérienne du Sahara comprend :

- **Une région méditerranéenne** qui se rapporte aux domaines maghrébins méditerranéen et maghrébin steppiques,
- une **région saharo-sindienne** à laquelle se rattachent le domaine du Sahara septentrional et le domaine du Sahara Nord-occidental,

3.1.2.1. Le Sahara central

qui, à l'exclusion de ces hautes montagnes, s'incorpore à la fois à la région précédente et à la région soudano-angolane, « *les espèces se succédant les unes aux autres en un Mischgebiet* » [8]. [86] et [8], les considèrent comme appartenant à un complexe réunissant ces deux régions, plutôt qu'exclusivement du domaine saharo-africain de la région soudano-angolane. Cela confine dans son rôle de transition, cette zone périphérique aux grands massifs centraux sahariens

Le Sahara est une transition entre deux empires, l'Holarctis et le Paleotropis, entre lesquels s'individualise le monde saharo-sindien, sous l'influence d'une hyper-aridité. [8], en étudiant le problème des divisions bioclimatiques et floristiques en Algérie, ont proposé les subdivisions phytochorologiques suivante :

- Holarctis (groupe méditerranéen) :
 - Région méditerranéenne :
 - Sous-région eu méditerranéenne :
 - + Domaine maghrébin-méditerranéen
 - + Domaine maghrébin steppique
 - Sous-région saharo-sindienne :
 - + Domaine saharo-méditerranéen
 - * Sous domaine du Sahara septentrional
 - Secteur de la bordure saharienne
 - Sous secteur algérien
 - Sous secteur tunisien
 - Secteur saharien
 -
 - * Sous domaine du Sahara nord occidental
 - Secteur de la bordure saharienne
 - Secteur saharien
 - * Sous domaine du Sahara central
 - Secteur des plaines sahariennes
- Paleotropis (groupe méditerranéo-tropico-africain)
 - Région du complexe méditerranéo/sindo-angolan (Saharo-sindien/soudano-angolan) :
 - + Domaine des hautes montagnes sahariennes :

- secteur de moyenne altitude (étage inférieur : 1 500 à 2 400 m) ;
 - Secteur d'altitude (étage supérieur : Supérieur à 2 400 m).
- Paleotropis (groupe tropico-africain)
- + Domaine du Sahara africain (saharo-africain) :
- * Sous domaine du Sahara central ;
 - Secteur des basses plaines et dépressions sahariennes,
 - Secteur des plaines sahariennes
 - Secteur des basses montagnes sahariennes.

Les grandes entités désertiques, qui recouvrent une partie du Sahara septentrional et central, sont, dans le nord le grand Erg occidental et le grand Erg oriental, dans le sud-ouest l'Erg Chech et le Tanezrouft, au centre le plateau de Tademaït et au sud-est les massifs du Tassili N'Ajjer (avec le mont Afao à 2 158 m) et du Hoggar avec plusieurs sommets culminant entre 2700 et 2900 m.

[63],[64] à subdivisé le domaine méditerranéen saharien en un étage supérieur à végétation diffuse et un étage inférieur à végétation contractée. [8] ont déterminé que la végétation contractée est la résultante des conditions climatiques entraînant une xéricité généralisée.

Les limites biogéographiques sont pour l'essentiel des limites latitudinale, en relation avec la répartition saisonnière des pluies. Les zones biogéographiques sont définies comme suit :

- Sahara septentrional à régime pluviométrique automno-hiverno-printanier,
- Sahara central à régime pluviométrique de n'importe quelle période de l'année, et pluviosité très faible à basse altitude
- Sahara méridional à régime pluviométrique estival.

Par-dessus, nous avons d'autres unités, les étages bioclimatiques, qui eux sont fonction de l'aridité décroissant avec l'altitude :

- l'étage méditerranéen aride à steppe buissonneuse dense ; jusqu'à l'isohyète 50mm,
- l'étage errémique méditerranéen à steppe buissonneuse diffuse, en deçà et jusqu'à l'isohyète 30mm,
- l'étage errémique moyen à steppe désertique (végétation contractée) à pluviosité aléatoire, pouvant connaître deux rythmes, l'un méditerranéen, l'autre tropical ;

– l'étage errémique saharien à pluviosité capricieuse, arythmique, à steppe désertique dépourvue ou presque, de phanérophytes.

En tenant compte du climat, trois étages se partagent le Sahara, modulés par l'influence méditerranéenne et le front tropical :

– l'étage errémique saharien, le plus xérique de tous et qui est défini comme étage sans arbres ou presque [10]. Il se déploie autour des massifs sahariens et se prolonge dans la dépression de Laouni-In Guezzam (basses terres).

– l'étage errémique moyen tropical englobe la totalité des massifs centraux : Mouydir, Ahnet, Tedefest, Ahaggar. Les pluies essentiellement tropicales, sont irrégulières sauf en altitude [31], [32], [34].

– l'étage errémique tropical s'individualise assez nettement sur le revers septentrional de l'Adrar des Iforas, les pluies, encore faibles, sont moins aléatoires et de rythme tropical (juillet et août).

3.1.2.2. Le Sahara septentrional

Selon OZENDA,P(1991), le Sahara septentrional se présente comme une forme extrême du pays steppique qui borde l'Afrique méditerranéenne.

Le pied du versant sud de l'Atlas saharien définit avec une précision suffisante la limite septentrionale, là où cesse l'aire de l'alfa (plante caractéristique des hauts plateaux), et la ligne des Oasis dans lesquelles le dattier mûrit parfaitement ces fruits.

Le plateau de Tademaït, a été reconnu depuis longtemps [72] comme l'un des hauts lieux de la connaissance du Sahara septentrional. Les régions avoisinantes du Tademaït : Tidikelt, Aguemour au sud, Touat à l'ouest, se raccordant par le Gourara au Grand erg occidental, et par la puissante vallée de l'oued Mya au grand Erg oriental et au Sahara méditerranéen où se situe l'essentiel des contacts entre l'Holarctis et le Paleotropis.

La pluviosité annuelle moyenne se situe entre 50 et 200 mm, tombant surtout à l'automne et au printemps : c'est une forme extrême du climat méditerranéen.

Ce sont les espèces habituelles aux domaines du Sahara septentrional et du Sahara nord-occidental qui sont représentées. [12] ont proposé la classification phytosociologique suivante :

- L'Aervo-Fagonion représenté par deux associations, l'une occidentale à *Salsola foetida* Delile et *Randonia africana* Cosson, l'autre orientale et plus méridional à *Hyosciamus muticus*ssp. *Falezlezet Artemisia judaica*ssp. *sahariensis*.
- Au fur et à mesure que l'on se rapproche du pied de l'Atlas saharien, on rencontre les formations appartenant à Anvilleo-Zillionmacropterae qui se substituent à l'Aervo-Fagonion.
- A l'Acacio-Panicions succèdent l'Antirrhino-Pituranthion scopariae qui acquiert, dans les oueds de l'Atlas saharien, des associations à *Retama retam*, *Ziziphus lotus* et *Rhus tripartita*.

3.1.2.3. Le Sahara central

L'apparition de la végétation contractée correspond, selon QUÉZEL, P. (1965) et Barry J.P(1972), à un changement d'étage bioclimatique, s'il y a paupérisation spécifique, c'est toujours le même cortège floristique qui est concerné, mais là aussi cette variation du terrain est le fait exclusif du facteur climatique (eau). On en déduit que la tendance au type contracté marque la limite septentrionale de l'étage errémique moyen. Ce bioclimat peut être modulé, soit par l'influence méditerranéenne: c'est l'étage bioclimatique errémique moyen méditerranéen, soit par le front tropical: c'est l'étage bioclimatique errémique moyen tropical.

Entre ceux-ci, il existe un territoire aux limites incertaines, à pluie rare et irrégulière, le vrai désert où la végétation contractée comprend un fort pourcentage d'éphémérophytes et un très faible nombre de phanérophytes. Ces deux nouveaux faits, corollaires du climat, selon Barry J.P(1972), personnalisent l'étage bioclimatique errémique saharien.

3.1.2.3.1. L'étagement latitudinal

L'étagement latitudinal est similaire à l'altitudinal. Il met en jeu la concomitance du facteur humidité « Au fur et à mesure que l'on pénètre dans le monde tropical

africain, l'augmentation graduelle mais régulière de la température s'intègre à l'augmentation de la pluviosité, sa régularité estivale crée le Sahel ; son intensité et sa durée le personnalisent. » [11].

Au pays méditerranéen succède le pays désertique, au désert le pays sahélien. Il est logique que la flore souligne ces transitions : aux éléments méditerranéens, saharo-sindiens se substituent les éléments sahéliens puis soudano-décanien.

3.1.2.3.2. L'étagement altitudinal

« L'étagement altitudinal est plus classique, plus évident, la compensation adiabatique (diminution de température), se conjuguant à l'augmentation de l'humidité, recrée des conditions bioclimatiques ayant existé auparavant au Quaternaire, ce qui assure la survivance d'une flore relicte méditerranéenne sur la Koudia de l'Ahaggar et d'autres hautes montagnes sahariennes » [11].

[86] a signalé qu'au niveau du Hoggar, les influences méditerranéennes sont largement prépondérantes. Sur le plan biogéographique, La végétation en haute montagne est caractérisée par une intrication extraordinaire des lignées saharo-sindiennes, méditerranéennes et africaines qui prédominent respectivement selon la localisation géographique.

3.1.2.3.3. Analyse biogéographique du Sahara central

Dans le Sahara central, la steppe se décline en faciès ou groupements édaphiques. D'après leurs compositions floristiques, on y rencontre [10].

– la steppe désertique aphanérophytique :

- Groupement des ravins et des ravines à *Nucularia perrini* Batt. et *Asteriscus graveolens*(Forsk.) DC., enrichis par des dépôts limono-argileux.
- Groupement des terrains gypseux et du fech-fech à *Suaeda mollis* (Desf.) Del. et *Zygophyllum album* L.
- Groupement des regs méditerranéo-sahariens à *Salsola foetida* Del. et *Randonia africana*Coss..
- Groupement des regs saharo-sindiens à *Fagonia bruguieri* DC.,*Fagonia olivieri* Boiss. et *Farsetia ramosissima* var. *garamantus* Hoscht.

- Groupement des oueds de plaines sahariennes à *Hyosciamus muticus* L. et *Cornulaca monacantha* Del.

- Groupement des oueds des plaines sahariennes à *Cornulaca monacantha* Del.

– la steppe désertique à *Acacia-Panicum*

- Type saharien avec ou sans *Maerua crassifolia* Forsk..

- Type sino-angolan à *Leptadenia pyrotechnica* Dec. et *Chrozophora brocchiana* (Vis.) Schw..

- Type méditerranéo-montagnard.

Les regs du Sahara central réunissent divers éléments appartenant à d'autres groupements édaphiques ou floristiques qui s'intriquent au «groupe saharo-sindien des regs»

Dans la partie méridionale du Sahara central, les oueds s'enrichissent en *Cornulaca monacantha* Del. pour constituer le groupement des oueds de plaines de l'étage bioclimatique errémique saharien qui se substitue, dans ce bioclimat, à la steppe à *Acacia-Panicum* représentée par quelques éléments de la strate herbacée.

Dans sa partie septentrionale, le Sahara central acquiert deux éléments :

- l'un caractéristique des regs du Sahara septentrional et occidental,

- l'autre à *Hyosciamus muticus* L. s'incorpore dans la partie septentrionale du Sahara central, aux oueds sahariens à *Cornulaca monacantha* Del.

Dans la partie occidentale et centrale, les alentours des sebkhas présentent un ensemble d'espèces liées à cet édaphisme (*Capparis spinosa* L. et *Suaeda mollis* (Desf.) Del.).

Enfin, la présence de sable, phénomène habituel en ces régions, en placage, en petites dunes plus ou moins fixées, est attestée par un saupoudrage d'espèces psammophiles du groupe des ergs.

Les limites biogéographiques entre le Sahara central et le Sahara méridional sont selon les recherches de [10], soulignées par la composition floristique des groupements végétaux (tableau 3.9).

Tableau 3.9: Répartition des groupements végétaux entre la Sahara central et méridional

Espèces	Sahara central	Sahara méridional
Méditerranéennes	9,4%	0%
Saharo-sindiennes	62,0%	62,5%
Soudan-angolanes	6,5%	24,5%
Endémique sahariennes	9,4%	7,4%
Plurirégionales	12,7%	5,5%

3.1.2.4. Le Sahara méridional

Selon Dubief, J (1968) et Barry, J.P (1982), la limite du Sahara méridional est mal définie, car la présence de reliefs, même faibles, de vallées puissantes et larges apportent des discontinuités dans la distribution de la flore :

- Une végétation de type saharien accueille des éléments floristiques inhabituels
- En réponse à la redistribution du facteur essentiel à la vie : l'eau.

Le Sahara méridional algérien est caractérisée par un climat tropical typique : pluies limitées à la période estivale. Selon Barry, J.-P (1976), c'est par un ensemble de facteurs abiotiques qu'il doit se définir. Deux espèces végétales sont bien caractéristiques du Sahara méridional [84].

- *Cornulaca monacantha* Delile, espèce chaméphyte saharo-sindien, qui, semble apprécier beaucoup plus les sables fins, plus mobile, au voisinage des ergs (région de Tin Zaouatine, In Guezzam),
- *Cenchrus biflorus* Roxb, espèce sahélienne qui se cantonne plutôt aux placages limono-sableux.

Si les secteurs saharo-septentrional et saharo-central sont bien représentés et diversifiés en Algérie, le secteur saharo-méridional est limité à une petite enclave au sud du Hoggar. Si les limites majeures des entités géographiques mises en évidence sont essentiellement d'ordre climatique au sein de chaque entité, la ségrégation des milieux est essentiellement d'ordre édaphique.

En dernière analyse, le facteur discriminant est le facteur hydrique. En conséquence tous les facteurs qui régissent les apports en eau ou la distribution de ces apports, sont à prendre en considération pour comprendre et interpréter la distribution des communautés végétales et animales sahariennes.

3.2 Matériel utilisé

3.2.1. Objectif de l'étude

Notre présent travail a pour but d'étudier l'effet de *Bacillus thuringiensis* et *M. anisopliae varacridum* sur les larves L5 de *Schistocerca gregaria*, ainsi que l'impact de ce bio-pesticide sur les espèces non cible, prenant en considération les paramètres environnementaux suivants :

- ✓ Efficacité sur des larves L5 de *S. gregaria*.
- ✓ Effet sur l'évolution pondérale, et l'activité alimentaire des souris d'élevage.
- ✓ Observation et analyse des coupes histologiques effectuées au niveau des foies des souris d'élevage.
- ✓ Effet sur la végétation par l'observation du degré de phytotoxicité aux stades levée et post levée.

3.2.2. Matériel non biologique

Appareillages

- Autoclave
- Agitateur à plaque chauffante
- Balance de précision
- Bain marie
- Etuve
- Microscope photonique

3.2.3 Matériel biologique

3.2.3.1 Les criquets

Notre travail a porté sur des essais de lutte par des biopesticides à base de bactérie, et champignon entomopathogènes sur des larves L5 mâles et femelles de *Schistocerca gregaria* provenant d'un élevage maintenu au niveau du laboratoire de protection des végétaux, département des sciences agronomiques Université Saad Dahlab de Blida.

3.2.3.1.1 Elevage des criquets

L'élevage des adultes de criquet pèlerin est réalisé dans une cage parallélépipédique en bois de dimension : 120 x 60 x 55 cm, grillagée sur les deux cotés et de l'avant pour l'aération et avec du plissé glace de la face arrière pour garder la chaleur. Elle est munie d'une porte coulissante en plexiglas et de deux fermetures pour faciliter le nettoyage, le renouvellement de la nourriture et la vérification des pondoirs. Ces derniers se trouvent dans les ouvertures à la base de la cage. Ils sont remplis de sable stérilisé et humidifié pour que les femelles puissent déposer leurs oothèques. L'élevage est soumis à une température de $30 \pm 3^{\circ}\text{C}$ et une humidité relative de 50 à 60%[71] L'alimentation est à base de gazon, et un complément de son de blé.

Les pondoirs contenant les pontes sont récupérés et remplacés par d'autres pondoirs. Ils sont recouverts d'une toile moustiquaire pour l'aération et troués à la base pour permettre l'infiltration de l'eau en cas de surplus afin d'éviter le risque de la pourriture des œufs. Ces pondoirs portent les indications nécessaires telles que la date de la ponte. Ils sont mis dans des conditions appropriées pour l'incubation des œufs [81].

Le contrôle de ces pondoirs se fait quotidiennement pour la vérification de l'humidité du sable et les éclosions des œufs, afin d'éviter le dessèchement des œufs et la mort des larves néonates. Ces dernières sont récupérées et mises dans deux cages réservées à l'élevage des larves de 1^{er}, 2^{ème}, 3^{ème} et 4^{ème} stades avec les dimensions : 50 x 34 x 35 cm en bois, recouvertes d'une toile moustiquaire à petites mailles, avec une fermeture. Quant aux larves de 5^{ème} stade et les imagos, ils sont élevés dans une cage de la même forme et les mêmes dimensions que celle des adultes. D'après [81]. Les conditions d'élevage de tous les stades larvaires et les imagos sont les mêmes que pour les adultes.



Figure (3.21) : Cages utilisées pour l'élevage des larves des locustes [81].

3.2.3.2 Les souris blanches de laboratoire

Les souris blanches sont une forme domestiquée de la souris commune appelées *Mus musculus*, elles se caractérisent par une taille comprise entre 14 et 19 cm et un poids varie de 12 à 30g.

Physiologiquement ces animaux deviennent matures à l'âge de deux mois pour les mâles et un mois et demi pour les femelles, ces dernières ont une durée de gestation de 19 à 21 jours, où elles peuvent déposer plus de 10 petits par une portée de poids natal de 0,5 à 1,5g [18].

3.2.3.2.1. Elevage des souris

L'élevage des souris est réalisé dans une température ambiante et un éclairage naturel, les animaux sont abrités dans des cages en plastique de dimension : 33 x 33 x 33 cm avec un couvercle en acier inoxydable à travers lequel on introduit l'eau et la nourriture granulée qui contient des protéines, glucides, cellulose, sels minéraux, acides aminés et des vitamines, les cages contiennent une couche de sciure déposée au fond des cages et renouvelée tous les deux jours (Figure 3.22).



Figure (3.22): Cage d'élevage des souris blanches (original)

3.2.3.3 Le blé dur :

Pour la préparation du dispositif expérimental portant sur les tests de phytotoxicité ainsi que pour l'évaluation de la persistance des spores du *Green Muscle*, nous avons opté pour le suivi des différentes étapes de la culture du blé dur (*Triticum durum* Defs) allant du stade semi jusqu'aux stades levée et post-levée, la variété utilisée était belmabrouk.

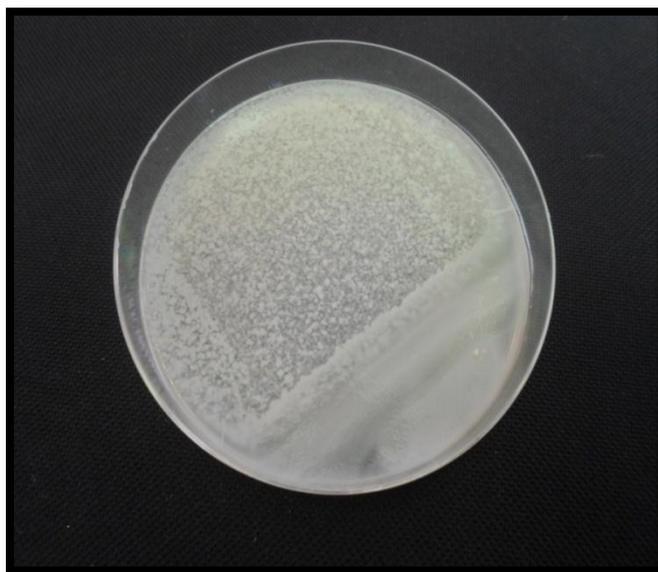
3.2.3.3.1 Matériel de culture de blé

- Les Plateaux des cultures.
- La tourbe
- Pulvérisateur.

3.3 Les bio-pesticides testés

3.3.1. La bactérie entomopathogène

La souche de *Bacillus thuringiensis* a été obtenue du Laboratoire de phytopharmacie appliquée département des sciences agronomiques .Université de Blida, sous forme d'un bio pesticide formulé en poudre sèche des spores conservées dans des sacs en aluminium.



Figure(3.23) : *Bacillus thuringiensis* sous forme de poudre sèche en spores cultivée au laboratoire (original).



Figure(3.24) : *Bt* sous forme de poudre sèche (original).



Figure(3.25) : Suspension huileuse de spores de *Bt*(original).

3.3.1.1. Principe de choix des doses

La détermination des doses a été précédée par une consultation des rapports de prospection et de lutte antiacridienne du département de lutte antiacridienne de l'institut national de protection des végétaux.

Les doses employées au cours de notre expérimentation représentent celles utilisées en plain champ. Ce choix était objectif afin de mettre en relation d'une part l'évaluation des doses réelles employées sur terrain et d'autre part les conséquences d'exposition aux bio-pesticides qui peuvent être trouvés chez les individus de souris de la race *Albinos* en étudiant les paramètres précités.

3. 3.1.2. Schéma descriptif des calculs de doses utilisées *Bacillus thuringiensis*

Doses employée par hectare = 500g

Volume utilisé pour la dilution de 500 g de poudre de *B. thuringiensis*
par hectare = 400L

$$\begin{array}{ccc}
 500\text{g} & \longrightarrow & 10000 \text{ m}^2 \\
 \text{Xg} & \longrightarrow & 1 \text{ m}^2 \\
 X = 1 \cdot 500 / 10000 & & \\
 X = 0.05 \text{ g} & &
 \end{array}$$

3. 3.1.3. Multiplication de la bactérie

3. 3.1.3.1. préparation de la solution mère

Les étapes suivantes résument la préparation de la solution mère à partir de la poudre sèche des spores de *Bacillus thuringiensis*.

- Prélèvement de 10g de poudre du *Bt*, introduction dans un volume de 10ml d'eau physiologique stérile, agitation pendant 20 min.
- A partir de cette suspension, on prélève 1ml et on le dépose dans une boîte de Pétri contenant un milieu gélosé ordinaire «gélose nutritif », l'incubation se fait à 25°C pendant 15 jours.



Figure (3.26) : Préparation de la solution mère de *Bt*. (original).

3. 3.1.3.2. Préparation d'inoculum

On prélève des petits fragments de la culture âgée de 15 jours et on les dépose dans un tube à essai contenant 10 ml d'eau physiologique stérile, en fin on agite pendant 10 à 20 mn à l'aide d'un vortex pour assurer une libération maximale des spores.

3. 3.1.4 Etude de la mortalité des L5 de *Schistoserca gregaria*

Pour tester l'effet de *Bacillus thuringiensis* sur la mortalité des larves L5 de *Schistoserca gregaria*, nous avons utilisé 120 larves du stade L5.

Deux doses de traitement ont été utilisées avec un témoin. Les larves sont répartis en 3 lots chaque lot contient 40 larves.

Les traitements sont réalisés par ingestion à l'exception du lot témoin où l'alimentation est traitée uniquement avec de l'eau distillée

Lot 1 : témoin traité par l'eau distillée.

Lot 2 : traité par la dose D 1= 0.25g/200ml d'eau.

Lot 3 : traité par la dose D 2= 0.5g/200ml d'eau.



Figure (3.27) : Récupération des larves L1 L2 à partir des pondoirs pour le transfert aux cages d'élevage [81].



Figure (3.28) : Dispositif pour le traitement des individus de L5 par les différentes doses des deux bio-pesticides. [81]

3. 3.1.4 .1 Calcul du pourcentage de mortalité

Le pourcentage de mortalité est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Mortalité observée} = \frac{\text{Nombre d'individus morts}}{\text{Nombre total d'individus}} \times 100$$

Le pourcentage de mortalité observée est corrigé par rapport au témoin selon la formule d'ABBOT (1925).

$$\text{MC\%} = \frac{\text{M2} - \text{M1}}{100 - \text{M1}} \times 100$$

M1 : Pourcentage de mortalité chez les témoins.

M2 : Pourcentage de mortalité chez les traitées.

MC% : Pourcentage de mortalité corrigée.

3.3.1.4.2 Essai de la persistance et de la phytotoxicité de *Bacillus thuringiensis* sur le feuillage de la culture du blé

Dans le but d'étudier la persistance et la phytotoxicité de *Bacillus thuringiensis* sur le couvert végétal (le feuillage du blé) différentes étapes ont été suivies :

3.3.1.4.2.1. La culture de blé

Dans 5 plateaux à 145 alvéoles plein de la tourbe, on sème de 2 à 3 graines de blé (la variété de Belmabrouk). Une irrigation est assurée chaque 48 h.

La levée de la plante est marquée après 5 jours, et le stade de 2 feuilles est atteint vers le 20^{ème} jour.

3.3.1.4.2.2. Pulvérisation de *Bacillus thuringiensis* sur feuillage

Après 20 jours, les plantes sont au stade levé, où elles sont traitées par les différentes dilutions à l'aide d'un pulvérisateur à main.

Les 4 plateaux sont répartis en 4 lots :

- **Lot 1**: lot témoin traité par l'eau de robinet
- **Lot 2**: traité par la dose 0.25g/200ml d'eau
- **Lot 3**: traité par la dose 0.5g/200ml d'eau
- **Lot 4**: traité par la dose 0.75g/200ml d'eau



Figure (3.29) : Répartition des plateaux en lots (original).

3.3.1.4.2.3. Prélèvement des feuilles et préparation des solutions

Le prélèvement des feuilles (3 feuilles) se fait aléatoirement à partir de chaque lot dans le 3^{ème} jour, 6^{ème} jour et le 9^{ème} jour après traitement. Après le prélèvement des feuilles on découpe à l'aide d'une lame fine des portions calibrées d'une surface de 0,81 cm².

Par la suite, les portions obtenues sont mises dans des Bêchers contenant l'eau distillée stérile puis on agite à 700 t/mn pendant 10mn à fin de libérer le maximum de la bactérie adhérents à la portion.

A l'aide d'une pipette graduée, on prélève 1ml de chaque suspension et on le dépose sous forme de gouttelettes séparées dans les boîtes de Pétri à raison de deux répétitions par suspension, puis on coule le milieu de culture (Gélose nutritive).

Les boîtes préparées pour l'étude de la persistance des bactéries sont incubées à 32°C pendant 24h.



Figure(3.30) : Libération des spores de la bactérie par agitation [71].

3.3.1.4.2 Essai de toxicité de *Bacillus thuringiensis* sur les souris blanches de laboratoire

3.3.1.4.2 .1.Conditions d'élevage

Dans une température ambiante et un éclairage naturel, les animaux sont abrités dans des cages en plastique avec un couvercle en acier inoxydable à travers le quel on introduit l'eau et la nourriture granulée qui contient des protéines, glucides, cellulose, sels minéraux, acides aminés et des vitamines, les cages contiennent une couche de sciure déposée au fond des cages et renouvelée tout les deux jours .

3.3.1.4.2 .2 Répartition des lots

Pour réaliser le traitement, les individus sont répartis en 4 blocs, chacun est constitué de 5 individus :

- **Bloc 1**: lot témoin traité par l'eau physiologique.
- **Bloc 2**: traité par la dilution 350 µl de *B thuringiensis* D1
- **Bloc 3**: traité par la dilution 175 µl de *B thuringiensis* D2
- **Bloc 4**: traité par la dilution 78.5 µl de *B thuringiensis* D3

3.3.1.4.2 .3. Prise de poids des individus de souris d'élevage

Chaque jour, les individus de chaque bloc témoins et traités sont pesés individuellement jusqu'au 10^{ème} jour afin de calculer l'écart pondérale quotidien ou le gain de poids. Ce dernier est exprimé par la différence entre le poids de l'individu du premier au dernier jour.

Ce calcul permet de traiter les données regroupées en tableaux des différences de poids par le Logiciel SYSTAT en adoptant la méthode ANOVA qui met en évidence l'effet du facteur étudié sur le caractère qui s'exprime au cours de notre expérimentation.

3.3.1.4.2 .4. Technique de traitement

Après le calcul de la concentration bactérienne relative à chaque dilution et la répartition des individus ; on procède au traitement biologique.

Avant d'appliquer le traitement, les souris sont mises à jeun pendant 24h puis peser ; après cela on prend l'animal et on le maintient d'une façon à l'immobiliser afin d'arriver à administrer le traitement par injection intra-péritonéale à l'aide d'une seringue après le traitement ils seront pesés chaque jour.

3.3.1.4.2 .5. Injection intra-péritonéale

Selon Lecoq M., "manuel(1993), Cette méthode consiste à Tenir l'animale tête vers le bas (ainsi les organes descendent par gravité).

- Dans un angle de 45 °, insérer une aiguille biseau vers le haut, dans le cadran inférieur droit de l'abdomen.
- Soutirer et vérifier l'absence de sang ou d'urine (si du sang ou de l'urine apparaît, retirer l'aiguille et recommencer).
- Injecter le volume requis.
- Relâcher le piston puis retirer l'aiguille.

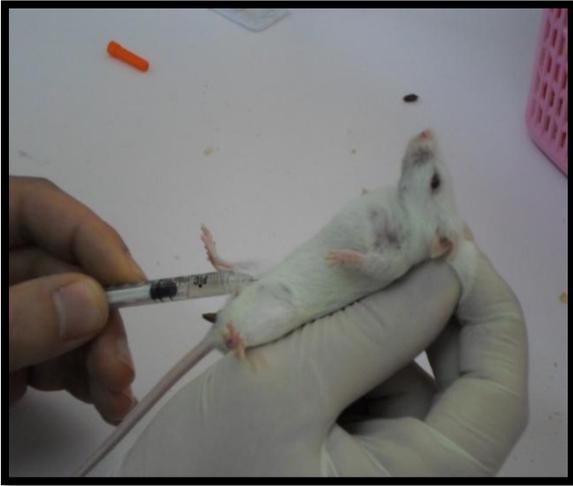


Figure (3.31) : Traitement par injection intra péritonéale [71]

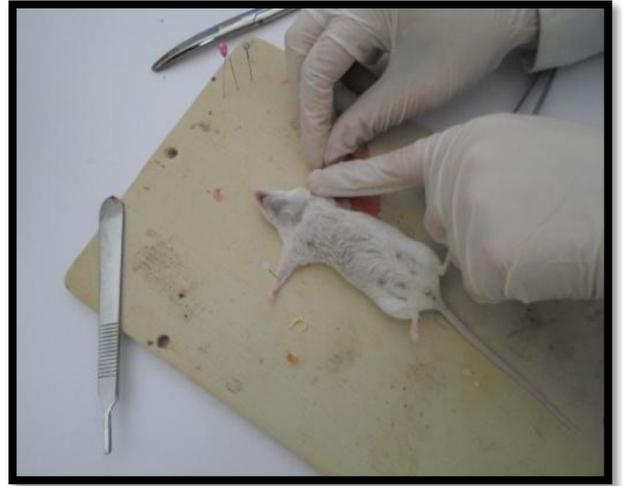


Figure (3.32) : Extraction de foie [71]

- Après 3 jours de traitement, on prélève un individu dans chaque bloc et on fait la dissection pour extraire le foie et on le met dans une solution de formole diluée à 10% afin de réaliser des coupes histologiques.

3.3.1.4.2 .6.Paramètre étudiés

Après traitement, le suivi des individus dure 10 jours et les paramètres étudiés sont les suivants:

- Le taux de mortalité : c'est le pourcentage des individus morts par rapport au nombre total d'individus traités.
- l'évolution pondérale qui consiste à suivre le poids journalier des individus pendant les 10 jours tout en surveillant la quantité de la nourriture prise.
- Symptômes observés : tout changement éthologique, morphologique et physiologique des souris durant l'essai.

3.3.2. Le champignon entomopathogène: *Metarhizium anisopliae* var. *acidum*

La souche de *Metarhizium anisopliae* var. *acidum* (code IMI: 330189) retrouvée sur *Ornithocriscavroisi* (Finot ; 1907 ; in [81] au Niger s'est avérée la plus virulente (ZAKARIA et SAGNIA ; 2003, in [81]). Cette souche a été obtenue du département de lutte antiacridienne de l'Institut National de la Protection des Végétaux (INPV) d'El Harrach, sous forme d'un bio pesticide appelé « *Green Muscle* » formulé en concentration huileuse de spores.

Le « *Green Muscle* » est disponible soit sous forme de poudre sèche de spores (Figure 3.33), ou de solution concentrée huileuse et peut être appliqué à l'aide d'un pulvérisateur standard à ultra bas volume muni d'un disque rotatif (THIAM et al ; in [81]).

Il est appliqué sous forme de suspension huileuse diluée par du pétrole, de l'huile d'arachide ou alors du gasoil et l'huile du maïs. (ANONYME ; 2002 in [81]).



Figure (3.33) : Spores de *Green Muscle* (original).

3.3.2.1 La multiplication de champignons

Pour réussir l'étape de multiplication du champignon nous avons procédé à

- Prendre les boîtes de pétrie où se trouve la grande masse en spores et à l'aide d'une pipette Pasteur on prélève quelques fragments de cette masse, et on ensemence sur le substrat nutritif d'une autre boîte.

- Utiliser le Sabouraud comme milieu de culture en provenance de l'institut Pasteur dans des tubes à essai en verre.

- Liquéfaction du milieu de culture dans un bain marie.

- Écoulement du milieu de culture dans des boites de Pétri en plastique stériles à raison de deux tubes dans chaque boite.
- Laisser ces boites pendant 1h pour le refroidissement et la solidification du milieu de culture.
- Ensemencer le champignon dans ces boites et fermer ces dernières par un parafilm
- l'incubation se fait à 30°C pendant 48 heures.



Figure (3.34) : multiplication (original)
(original)

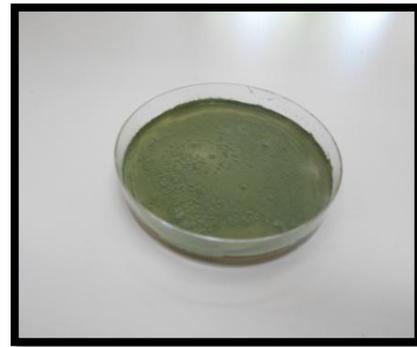


Figure (3.35) : Culture de *Green Muscle*

3.3.2.2. Préparation d'inoculum

On prélève des petits fragments d'une culture âgée de 10 à 20 jours du champignon et nous les déposons dans un tube à essais contenant 10 ml d'eau physiologique stérile. On agite cette suspension pendant 15 mn, pour l'obtention d'une libération maximale des spores. (Figure3.36)

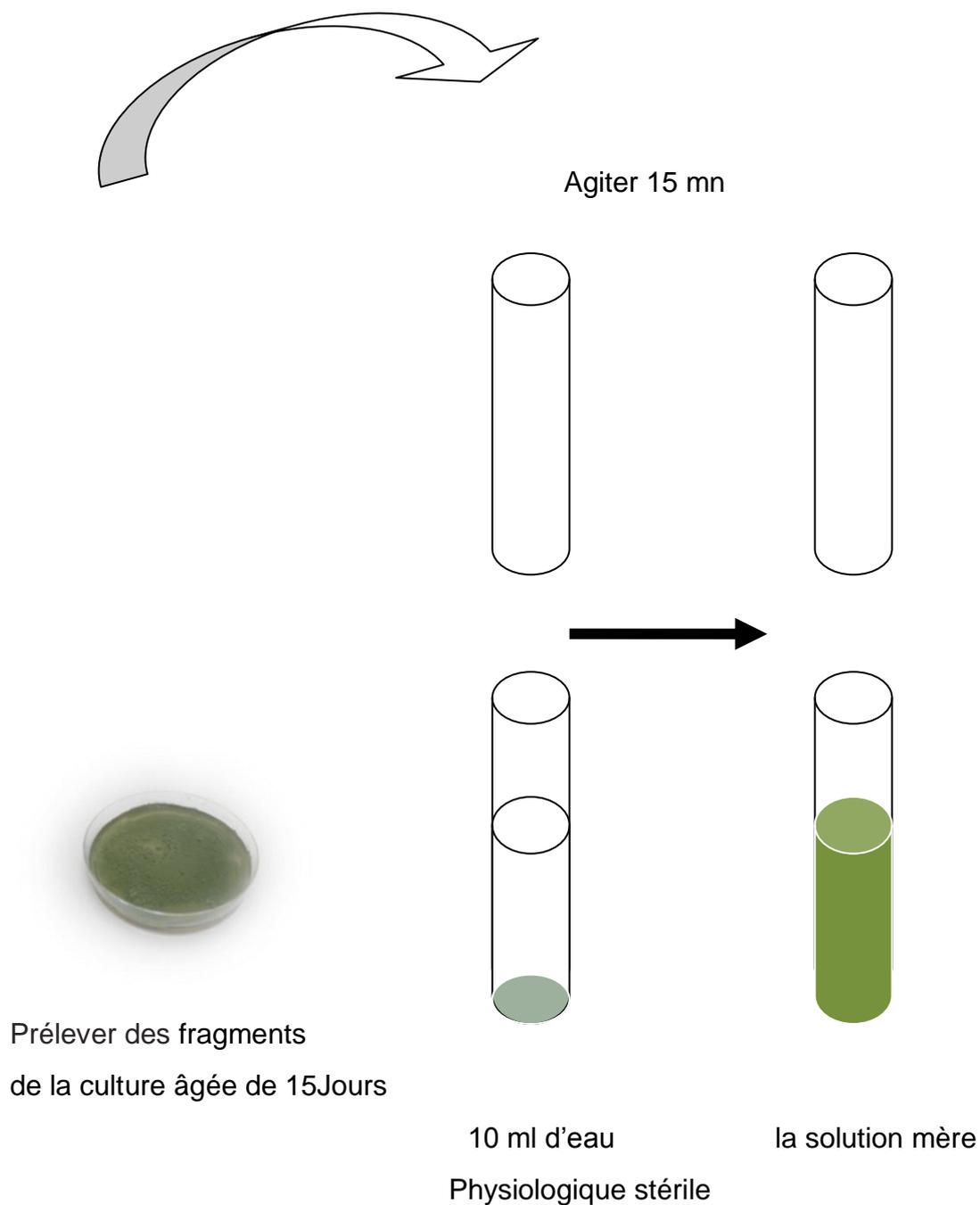


Figure (3.36) : Préparation de la solution mère de *M. anisopliae* [71].

3.3.2.3. Comptage des spores et détermination des concentrations

Le comptage des spores est réalisé à l'aide d'une cellule de Mallasses (Figure3.37) sous un microscope optique après avoir déposé une goutte de la solution du *Green Muscle* au centre de cette cellule. On dépose ensuite la lamelle sans laisser de bulles d'air.



Figure (3.37) : Cellule de mallasses [71].

Pour la détermination de la concentration de la solution mère on applique la loi suivante :

$$X = n / v$$

X : nombre des spores par ml d'échantillon
n : nombre moyen des spores dénombrées par 25 petits carrés
v : volume du petit carré (à calculer)

*Après les calculs, on obtient la concentration de la solution mère :

$$C = 0,834 \cdot 10^8 \text{ spores/ml}$$

A partir de cette concentration, on déduit la concentration qu'on veut obtenir à l'aide de la loi d'équilibre :

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

C1 : Concentration de la solution mère.

V1 : Volume de la solution mère.

C2 : Concentration choisie.

V2 : Volume d'eau distillée pour obtenir **C2**.

* Après les calculs, on obtient la concentration de $0,834.10^8$ spores/ml.

3.3.2.4. Principe de choix des doses

La détermination des doses a été précédée par une consultation des rapports de prospection et de lutte antiacridienne du département de lutte antiacridienne de l'institut national de protection des végétaux. Les doses employées au cours de notre expérimentation représentent celles utilisées en plain champ. Ce choix était objectif afin de mettre en relation d'une part l'évaluation des doses réelles employées sur terrain et d'autre part les conséquences d'exposition aux bio-pesticides qui peuvent être trouvés chez les individus de souris de la race Albinos selon les paramètres étudiés.

Tableau 3.10 : Les doses utilisées pour le *M. anisopliae*

	Dose 1	Dose 2	Dose 3
Dose de <i>M. anisopliae</i> (spores/ml)	$0,834.10^7$	$0,834.10^5$	$0,033.10^8$

3.3.2.5. Essai de la toxicité sur les L5 du *S. gregaria* par *M. anisopliae*

Ces essais font l'objet d'une pulvérisation de chaque dose en un lot constitué de 40 individus, afin de confirmer l'efficacité des différentes dilutions le suivi s'est étalé jusqu'au 18^{ème} jour.

Les traitements ont été faits par contact. Le lot témoin est traité uniquement avec de l'eau distillée.

3.3.2.5.1. Calcul du pourcentage de mortalité

Le pourcentage de mortalité est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Mortalité observée} = \frac{\text{Nombre d'individus morts}}{\text{Nombre total d'individus}} * 100$$

Le pourcentage de mortalité observée est corrigé par rapport au témoin selon la formule d'ABBOT (1925).

$$\text{MC\%} = \frac{\text{M2} - \text{M1}}{100 - \text{M1}} * 100$$

M1 : Pourcentage de mortalité chez les témoins.

M2 : Pourcentage de mortalité chez les traitées.

MC% : Pourcentage de mortalité corrigée.

3.3.2.6 Essai de la persistance et de la phytotoxicité de *M. anisopliae* sur le feuillage de la culture du blé dur :

3.3.2.6.1. Essai de la persistance du *M. anisopliae* sur le feuillage du blé dur :

Dans le but d'étudier la persistance de *M.anisopliae var acridum* sur le couvert végétal (le feuillage) du blé dur on a suivie les étapes ci-dessous :

3.3.2.6.2. Pulvérisation sur feuillage par le *M. anisopliae*

Après 20 jours, les plantes sont au stade de 2 feuilles, où elles sont traitées respectivement par les dilutions D1, D2, D3 de *M. anisopliae* à l'aide d'un pulvérisateur à main, à raison de 200 ml pour chaque plateau.

Les plateaux sont répartis en 4 lots, dont chacun est constitué de 145 alvéoles.

Les lots sont représentés comme suit :

- **Lot 1**: lot témoin traité par l'eau distillé.
- **Lot 2**: traité par *M. anisopliae var acridum*.Dose 1.
- **Lot 3**: traité par *M. anisopliae var acridum*.Dose 2.
- **Lot 4**: traité par *M.anisopliae var acridum*.Dose 3.

3.3.2.6.3. Prélèvement des feuilles et préparation des solutions :

Le prélèvement des feuilles s'est fait aléatoirement à partir de chaque plateau (3 feuilles pour chaque dose) dans le 3^{ème} jour, 6^{ème} jour et le 9^{ème} jour après traitement.

Après le prélèvement des feuilles, on découpe à l'aide d'une lame fine des portions calibrées d'une surface de 0,5 cm².

Par la suite, les échantillons collectés sont mis dans des Béchers contenant de l'eau distillée stérile, ensuite ils seront agités pendant 10mn à fin de libérer le maximum de spores adhérents à la portion.

A l'aide d'une pipette graduée, on prélève 1ml de chaque suspension et on le dépose sous forme de gouttelettes séparées dans les boîtes de Pétri à raison de deux répétitions par suspension, puis on coule les milieux de culture (Sabouraud) correspondant à *M.anisopliae var acridum*.

Les boîtes destinées à l'étude de la persistance de champignons sont incubées à 30°C pendant 5jours.

3.3.2.6.4. Etude de la toxicité de *M.anisopliae* sur les souris blanches de laboratoire :

3.3.2.6.4.1 Essai de *M.anisopliae* sur l'évolution pondérale d'individus après injection des différentes doses

3.3.2.6.4.1 Répartition des lots

Pour réaliser le traitement, les individus sont répartis en 4 lots, chacun est constitué de 5 individus par cage ;

- **Lot 1:** lot témoin traité par l'eau physiologique.
- **Lot 2:** traité par la dose 1 de *M. anisopliae var acridum*
- **Lot 3:** traité par la dose 2 *M.anisopliae var acridum*
- **Lot 4:** traité dilution dose 3 *M.anisopliae var acridum*

3.3.2.6.4.2 Technique de traitement

Après le calcul de la concentration relative à chaque dilution et la répartition des individus ; on procède au traitement biologique.

Avant d'appliquer le traitement, les souris sont mises à jeun pendant 24h puis peser à l'aide d'une balance de précision.

3.3.2.6.4.3 Injection intra péritonéale

Selon Lecoq M., "manuel(1993), Cette méthode consiste à tenir l'animale tête vers le bas (ainsi les organes descendent par gravité).

- Dans un angle de 45 °, insérer une aiguille biseau vers le haut, dans le cadran inférieur droit de l'abdomen.
- Soutirer et vérifier l'absence de sang ou d'urine (si du sang ou de l'urine apparaît, retirer l'aiguille et recommencer).
- Injecter le volume requis.
- Relâcher le piston puis retirer l'aiguille.

3.3.2.6.4.4. Prise de poids des individus de souris d'élevage :

Chaque jour, les individus de chaque lot témoins et traités sont pesés individuellement jusqu'au 10^{ème} jour afin de calculer l'écart pondérale quotidien ou le gain de poids. Ce dernier est exprimé par la différence entre le poids de l'individu du premier au dernier jour. Ce calcul permet de traiter les données regroupées en tableaux des différences de poids par le Logiciel SYSTAT en adoptant la méthode ANOVA qui met en évidence l'effet du facteur étudié sur le caractère qui s'exprime au cours de notre expérimentation.

3.3.2.7. Essai d'évaluation de *M. anisopliae* par l'analyse des coupes histologiques réalisées au niveau du foie :

Afin de mettre en évidence l'impact de pulvérisation des différentes doses de *Metarhizium anisopliae*, sur les souris d'élevage, en examinant les coupes histologiques réalisées au niveau de la fois, nous avons procédé au prélèvement des organes d'individus traités appartenant à chaque lot.

CHAPITRE 04

Résultats et discussion

4.1 Evaluation de la mortalité des larves L5 de *S.gregaria* sous différentes doses de *B. thuringiensis*

D'après [46] en cas de mortalité observée, les protéines cristallisées exercent leurs effets sur l'hôte en lysant les cellules épithéliales de l'intestin moyen et en provoquant la paralysie du tube digestif. L'insecte infecté cesse de se nourrir et finit par mourir s'il ne parvient pas à se rétablir.

Le tableau suivant montre les différentes valeurs de mortalité enregistrées lors de l'administration du *Bt* en fonction des différentes doses employées.

Tableau 4.11 : Mortalités des larves L5 de *Schistocerca gregaria*, traités par *Bacillus thuringiensis*,

Temps (J)	T	D1 0.25g	D2 0.5g
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	1,33	2,33
5	0	1,33	2,33
6	0	1,66	2,66
7	0	2,35	3
8	0	2,33	3.22
9	0	3	4,33
10	0	4,33	5,33

J : jour - T : témoin - D : dose

Les valeurs enregistrées sont nettement faible, cela peut s'expliquer par une mortalité naturelle au cours de l'expérimentation ce qui signifie que les doses

employées peuvent nous renseigner sur l'incapacité du bio-pesticide à contrôler une bande larvaire dans des conditions naturelles sous un climat saharien.

4.1.1 Etude de la phytotoxicité sur feuillage de blé causée par *Bacillus thuringiensis*

Le tableau suivant montre le nombre des plants présentant des symptômes, traités par les différentes doses de *Bacillus thuringiensis* dans le 3^{ème}, 6^{ème} et 9^{ème} jour :

Tableau 4.12 : Nombre de plants présentant des altérations, traités par *Bacillus thuringiensis*.

jour dose g/ml	3^{ème} j	6^{ème} j	9^{ème} j
0.25g/200ml	05	13	17
0.5g/200ml	12	22	26
0.75g/200ml	21	30	32

Le tableau présente le nombre de plants qui ont été observés, ces derniers présentent des symptômes de nature variée à savoir les brulures, le jaunissement, les tâches de brunissement, ainsi que des déformations provoquant un retard de croissance.

Les figures suivante montre les différences entres le cumule de plants présentant des altérations, ces plants sont regroupés par dose. On enregistre la plus grande valeur pour la dose D3 représentée par un nombre de 32 plants altérés au neuvième jour. La plus petite valeur a été relative à la dose D1 au troisième jour avec un nombre de 5 plants.

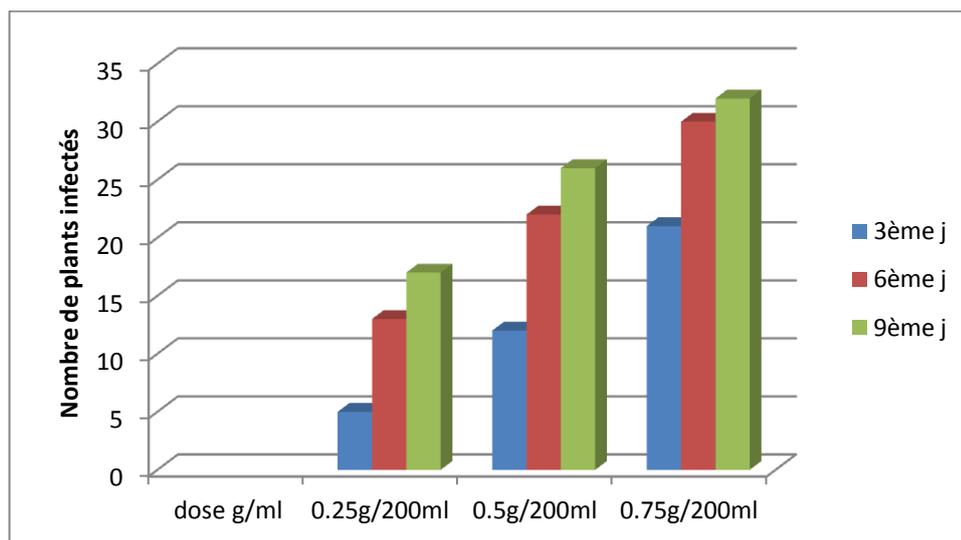


Figure (4.38) : Le nombre des différents plants infectés par les différentes doses de *Bt*.



Figure (4.39): Plants altérés présentant les différents types de symptômes suite à l'application de *Bacillus thuringiensis*(original).

Nous avons remarqué une reprise de croissance pour la totalité des plants altérés après la pulvérisation des différentes dilutions de *Bacillus thuringiensis*, cependant les plants qui présentent des symptômes de brûlure et jaunissement ont subi une chute de feuilles touchées par le bio-pesticide, cela peut s'expliquer par une réaction du végétal suite à l'application du traitement.

En général, le *Bt* perd 50% de son potentiel insecticide en l'espace de 1 à 3 jours, et une deuxième application est donc souvent nécessaire contre certains insectes comme la spongieuse (*Lymantria dispar* Linnaeus), la tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana* Clemens), la tordeuse occidentale de l'épinette (*Choristoneura occidentalis* Freeman) et la tordeuse du pin gris (*Choristoneura pinus pinus* Freeman) [26].

4.1.2 Etude de la persistance de *Bacillus thuringiensis* sur feuillage de blé

Les résultats présentant la persistance de *Bacillus thuringiensis* sur le feuillage sont relatifs à la présence ou l'absence des colonies par unité de surface dans chaque lot traité. Ces résultats sont libellés sur le tableau suivant :

Tableau 4.13 : Présence ou absence des colonies de *Bacillus thuringiensis* sur le feuillage.

Dose g/ml jour	0.25g/200ml	0.5g/200ml	0.75g/200ml
3 ^{ème} jour	p	p	p
6 ^{ème} jour	p	p	p
9 ^{ème} jour	p	p	p

P : présence

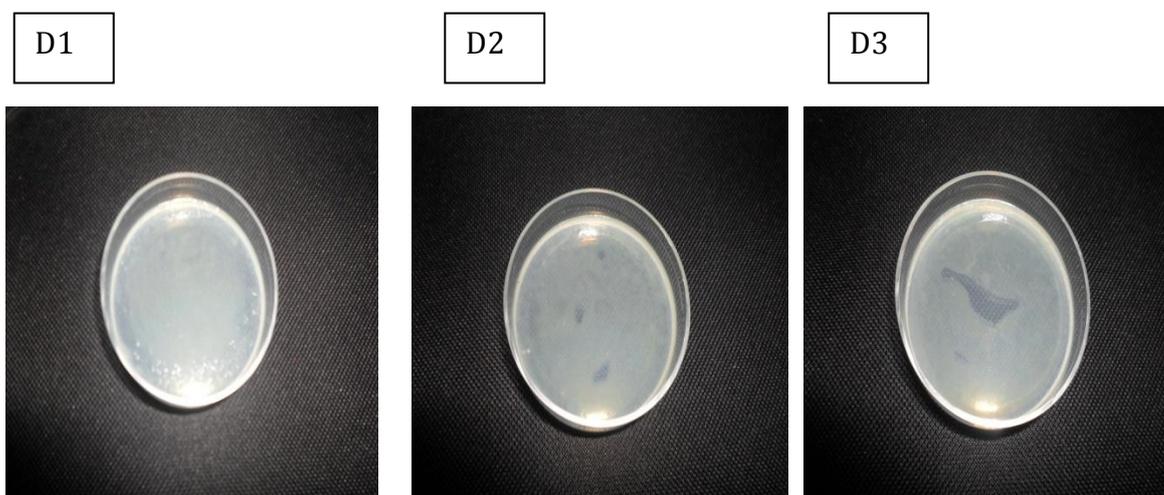


Figure (4.40) : Présence des spores de *Bacillus thuringiensis* au 3^{ème} jour

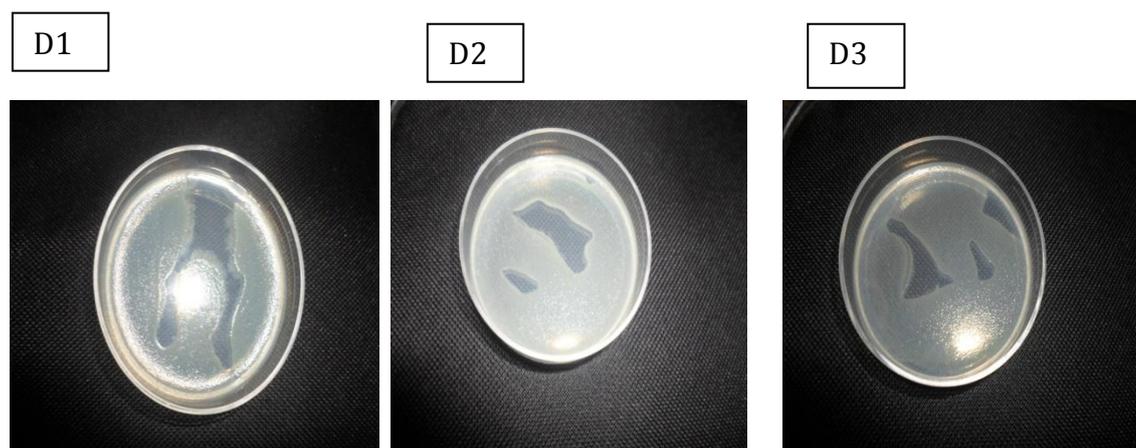
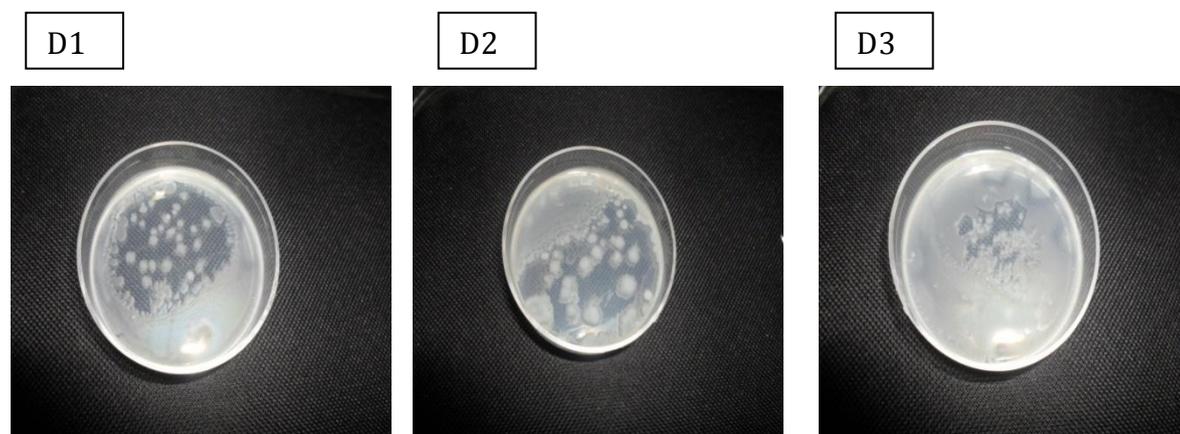


Figure (4.41): Présence des spores de *Bacillus thuringiensis* au 6^{ème} jour.



D1, D2, D3 : Doses.

Figure (4.42) : Présence des spores de *Bacillus thuringiensis* au 9^{ème} jour.

Les résultats du (tableau 4.13) révèlent que *Bacillus thuringiensis* est présente sur toute la période de suivie des tests.

D'après les résultats marqués par MAHDJOUBI,(2010), *Bacillus thuringiensis* peut persister jusqu'à dix jours sur le feuillage, par contre [56]montrent que cette bactérie perd 50% de son potentiel insecticide après le 3^{ème} jour de pulvérisation sur feuillage, et une deuxième application est donc souvent nécessaire contre certains insectes.

Contrairement au *Bacillus subtilis* qui persiste sur le feuillage jusqu'au 6^{ème} jour après le traitement pour disparaître complètement le 9^{ème} jour [65].

Cette diminution du nombre des colonies de *B.subtilis* persistant est expliquée par le fait que la bactérie n'a pas pu résister longtemps sur le feuillage car elle n'a pas trouvée les conditions favorables pour son développement. Certains chercheurs ont cependant fait état d'une activité résiduelle plus longue (10 jours) [81], et quelques endospores viables de *Bt* ont été isolées sur du feuillage un an après une application au sol de *Bt* effectuée à raison de 1 milliard d'unités internationales (MUI)/arbre in [26]

Le *Bt* est une bactérie du sol indigène qui est répandue dans le monde entier [81]. La forme végétative du *Bt* n'est généralement pas bien adaptée au sol, et sa survie dépend de sa capacité d'atteindre l'habitat spécialisé que constituent les insectes vulnérables.

Les endospores du *Bt* peuvent toutefois survivre dans la majorité des types de sol, quoique leur croissance soit inhibée à des valeurs de pH inférieures à 4,8. Des applications répétées de *Bt* n'entraînent aucune accumulation de la bactérie [26].

Le devenir du *Bt* dans le sol dépend vraisemblablement de l'intensité de la compétition avec les autres formes microbiennes. En effet, l'abondance du *Bt* diminue rapidement dans les sols non stérilisés, tandis qu'elle peut augmenter dans les sols stérilisés [26] Inoculé dans le sol à la dose de 105 cellules par gramme de sol, le *Bt* s'est maintenu à la densité de 103 cellules par gramme pendant 12 à 16 mois. Toutefois, l'abondance relative du *Bt* par

rapport à celle des autres bacilles du sol a chuté de 20-40% à environ 10%, ce qui indique que le *Bt* n'est pas bien adapté aux environnements édaphiques. [81] ont noté qu'après 63 jours, le *Bt* n'avait conservé que 3% de son activité insecticide dans le sol, même si environ 38% des endospores étaient encore viables. Après 135 jours, 23% des endospores étaient encore viables, mais le *Bt* avait complètement perdu son activité insecticide.

4.1.3 Etude de la toxicité de *Bacillus thuringiensis* sur les souris blanches de laboratoire

Le suivi des souris blanches traitées par *Bacillus thuringiensis* à différentes concentrations (350µl, 175µl, 87.5µl) comparativement aux témoins a permis d'évaluer le taux de mortalité et la croissance pondérale durant 10 jours après traitement.

On signale que les trois concentrations utilisées correspondent respectivement aux dilutions 10^{-1} , 10^{-2} et 10^{-3} de la solution mère.

4.1.4 Taux de mortalité

Aucune mortalité n'est marquée durant toute la période de suivi chez les souris blanches traitées par les différentes concentrations de la suspension bactérienne *Bacillus thuringiensis* (350µl, 175µl, 87.5µl) ainsi que chez les témoins. Cela signifie que la bactérie n'a pas présenté un pouvoir périssable sous les conditions d'expérimentations décrites précédemment.

Selon LOMER C.J(2001), l'innocuité du *Bt* dans l'environnement est maintenant bien établie, quelques souches sauvages étant appliquées depuis plus de trente ans sans le moindre incident ou dommage sous forme de formulations commerciales en quantités de plus en plus importantes pour protéger les cultures vivrières, les plantes ornementales, les arbres forestiers et les grains ensilés.

En outre, les nombreux projets de recherche fondamentale et appliquée qui ont accompagné l'exploitation et l'étude du *Bt* nous ont permis d'acquérir des connaissances limitées sur le comportement du microorganisme dans l'environnement [69].

D'après les lignes directrices de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) applicables à l'évaluation de l'innocuité des agents bactériens, les agents de lutte bactérienne doivent être soumis non seulement à des épreuves de toxicité par voies orale, intra péritonéale, respiratoire et cutanée et à des

épreuves d'allergénécité et d'hypersensibilité, mais aussi à des épreuves d'exposition oculaire (chez le lapin) et de mutagénécité *in vitro*. Le Bt a passé tous ces tests avec succès, de même que des épreuves d'exposition sous-cutanée et des épreuves d'exposition par ajout au régime alimentaire d'une durée de trois semaines. ROGOFF (1982), in [81] présente un historique des évaluations réglementaires de l'innocuité du Bt qui ont été réalisées conformément aux exigences de l'Environmental Protection Agency (EPA).

4.1.5 L'évolution pondérale

Les résultats de l'évolution pondérale des souris traitées et des témoins sont représentés sur le tableau suivant

Tableau 4.14: L'évolution pondérale moyenne par bloc de souris, témoins et traitées avec les différentes doses.

jour \ poids	Témoin	350µl	175µl	87.5µl
1	20.4	28	31.6	31.2
2	19.8	28.6	28.8	29.6
3	19.6	29.8	27.4	28.2
4	23.2	-	27.6	33.6
5	22	-	31	31.2
6	22.8	-	31	29.8
7	24.4	-	31.6	30.2
8	25.2	-	31.8	29.6
9	26	-	33.6	30.6
10	32	-	35.2	33.4

Dans le (tableau 4.14) on constate que la valeur la plus importante est 35.2g enregistrée le 10^{ème} jour correspond à la dose D2= 175µl, suivie de la valeur 33.4g relative à la dose D3= 87.5µl . Le témoin présente une troisième valeur de 32g.

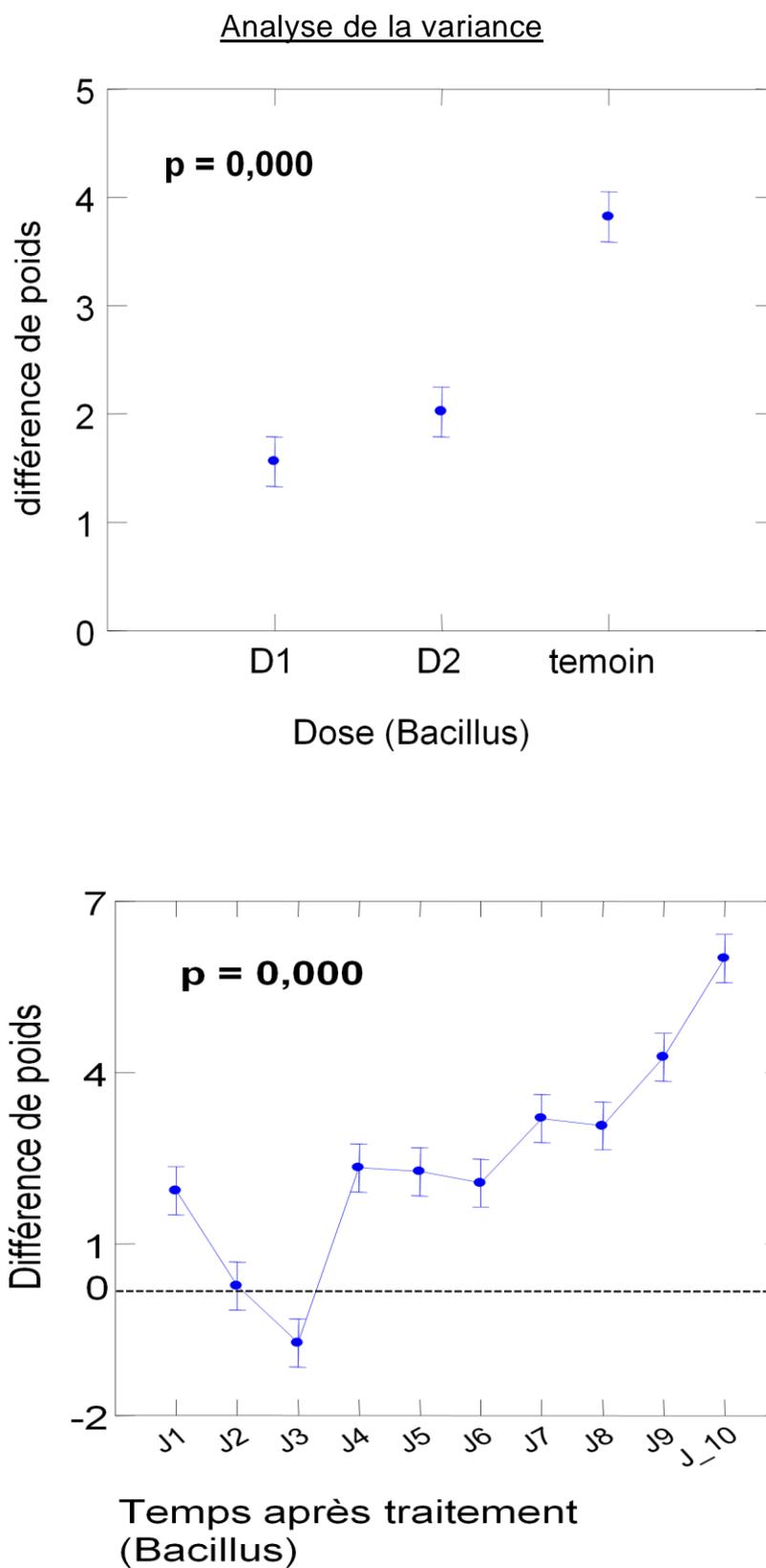


Figure (4.43) : Différence de poids avant et après traitement (la limite est le zéro).

Tableau 4.15 : Analyse de la variance

Analyse de la variance (ANOVA avec systat vers. 7) (Bacillus)					
Source	somme des carrés des écarts	ddl	Moyenne des écarts	F-Ratio	P
DOSE	142,653	2	71,327	26,95	0,000
TEMPS	483,067	9	53,674	20,28	0,000
DOSE*TEMPS	220,013	18	12,223	4,618	0,000
Varia. Intra.	317,6	120	2,647	-	-

On dit qu'il y'a une :

- Différence significative si $p < 0,05$.
- Différence très significative si $p < 0,01$.
- Différence hautement significative si $p < 0,001$.

D'après le tableau d'analyse de la variance, ce test a révélé une différence hautement significative entre les doses utilisées et le poids, ce dernier varie aussi d'une manière hautement significative dans le temps ($p = 0,000 < 0,001$).

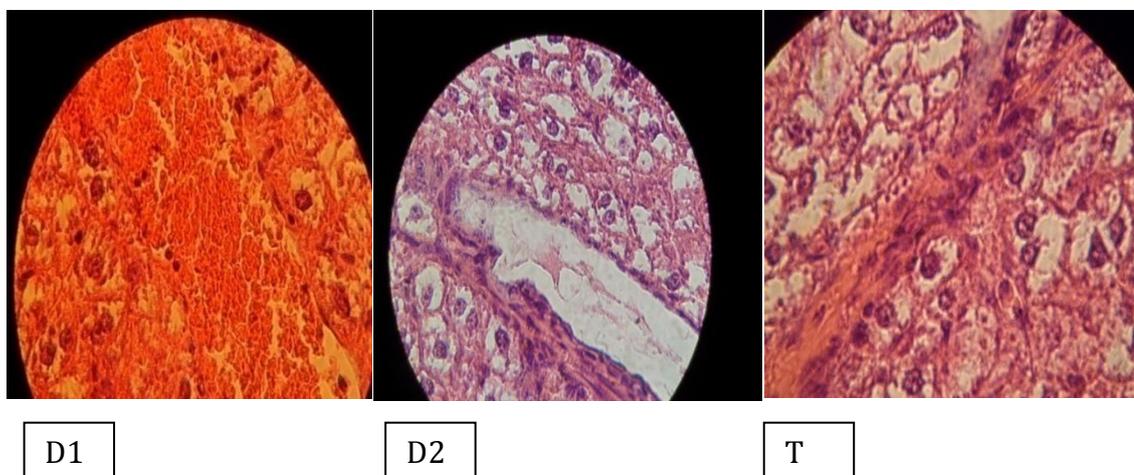
Nous avons pris en considération les différences de poids enregistrées le long de la période du suivi avec une probabilité de ($p = 0.000$).

À partir du mode d'analyse adopté, les valeurs enregistrées signifient que le *Bt* n'influe pas sur la perte du poids des souris au moins dix jours après exposition dans le cas d'une exposition à ce type d'entomopathogène, et ce en fonction des circonstances d'application du bio-pesticide.

Le *Bt* produit un corps d'inclusion parasporal de nature cristalline durant la sporulation. Ce cristal est constitué de protéines. Un grand nombre de protéines cristallisées apparentées ont été identifiées, et un cristal peut renfermer plusieurs types de protéine. Pour dénouer une situation aussi confuse, [14] ont proposé un système de classification des protéines cristallisées et des gènes codant leur synthèse.

Cette classification repose sur la structure des protéines cristallisées et sur la gamme d'hôtes. Plus de 14 gènes codant la synthèse de protéines cristallisées distinctes ont été décrits, et d'autres protéines présentant des propriétés insecticides ont été identifiées récemment [17]

4.1.6 Analyse des coupes histologiques



D1, D2 : Doses. T : témoins.

Figure (4.44) : Des coupes histologiques au niveau des foies des souris.

Dans cette partie nous avons opté pour la réalisation des coupes histologiques au niveau des foies de souris d'élevage, ces individus ont été exposés aux traitements par voie intra-péritonéale.

L'analyse des différentes coupes montre une absence d'anomalies à l'échelle histologique ainsi qu'au cytologique. Une homogénéité est observée chez les différentes images en comparaison avec celles de témoins.

4.2 Etude de la toxicité induite *M. anisopliae* sur les L5 du *S. gregaria*

Les résultats de la mortalité des larves (L5) sont présentés sur le tableau 1, la mortalité chez les témoins est nulle, la mortalité remarqué à partir du 2^{ème} jour, correspond à la D1 ($0,834 \cdot 10^7$ spores/ml). Une mortalité supérieure à 50% a été observée au 6^{ème} jour, avec la D1, Une deuxième valeur a été observée au 9^{ème} jour, avec la dose D2 ($0,834 \cdot 10^5$ spores/ml). La mortalité à 100% a été observée au 8^{ème} jour, correspondant à la D1 chez les L5 traités de *S.gregaria*.

Tableau 4.16 : Moyennes des mortalités journalières des larves L5 de *S.gregaria* traités par *M. anisopliae*.

Temps (jour)	T	D1 $0,834.10^7$ sp/ml	D2 $0,834.10^5$ sp/ml	D3 $0,033.10^8$ sp/ml
	M	M	M	M
1	0	0	0	0
2	0	6,66	0	0
3	0	16,66	6,66	0
4	0	40	13,33	3,33
5	0	46,66	33,33	3,33
6	0	73,33	33,33	16,66
7	0	90	50	33,33
8	0	100	60	43,33
9	0	-	83,33	60
10	0	-	93,33	73,33

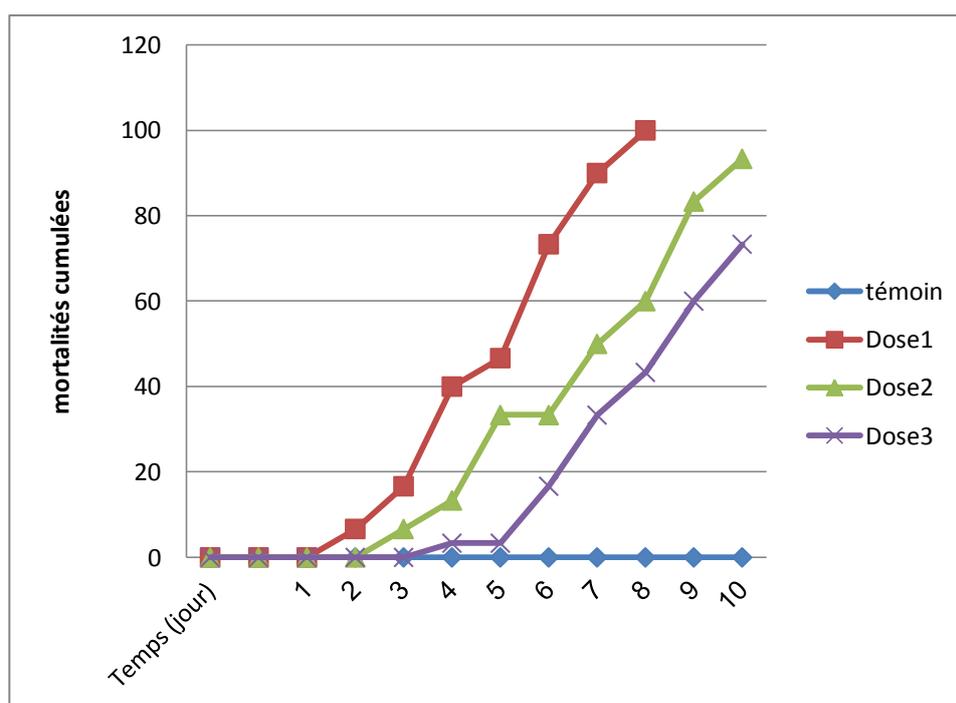


Figure (4.45) : Mortalité des L5 de *Schistocerca.g*, traités avec 3 différentes doses de *Metarhizium anisoplia*

L'examen des résultats portés sur le (tableau 4.16) montrent que les taux de mortalité chez les individus de *S. gregaria* traité au *Metarhizium anisopliae* augment avec l'augmentation des doses utilisées.

Les valeurs enregistrées au 6^{ème} jour montrent que l'activité pathogène la plus élevée par le champignon (*Metarhizium anisopliae*), exprimée par la mortalité correspond à la dose D1 de $(0,834.10^7$ spores /ml). Ce taux de mortalité diminue avec la baisse des concentrations de l'inoculum pour atteindre un minimum de 3,33% à la dose D3 de $(0,033.10^8$ spores /ml).

On signale que le taux de 100% de mortalité commence à se manifester à partir du 8^{ème} jour.

[44] ont démontré qu'une dose de $3,75.10^4$ /gr de poids vif produit, selon l'espèce acridienne, une mortalité de 100% au bout de 4 à 7 jours. [80], ont noté, suite aux essais sur le terrain effectués au Niger, au Bénin et au Mali à la dose de 5.10^{12} spores /hectares de *M. anisopliae*, une mortalité s'élevait à 80% voir 95% après 10 à 15 jours.

Les mortalités cumulées, présentent la même allure et évoluent dans le même sens, se caractérisant par un décalage dans le temps en réponses aux doses auxquelles les adultes de *Schistocerca gregaria* ont été soumis.

4.2.1. Etude de la persistance et de la phytotoxicité de *M. anisopliae* sur le feuillage du blé dur

4.2.1.1. Etude de la persistance de *Metarhizium anisopliae* var *acridum* :

Les résultats présentant la persistance de *M. anisopliae* var *acridum* sur le feuillage sont relatifs à la présence ou l'absence des colonies par unité de surface foliaire dans chaque lot traité. Ces résultats sont libellés sur le tableau

Tableau 4.17 : Présence ou absence des colonies de *M. anisopliae var acridum* sur le feuillage.

	Lots 1	Lots 2	Lots 3
3 ^{ème} jour	P	P	P
6 ^{ème} jour	P	P	P
9 ^{ème} jour	P	P	P

P : Présence

Les résultats du tableau révèlent que *M. anisopliae var acridum* est présent tout le long de la période de suivi, les différences observées sont relatives à la vitesse de croissance ainsi que les dimensions des colonies.



La dose 1



La dose 2



La dose 3

Les résultats pour le 3^{ème} jour



(a) La dose 1



(b) La dose 2



(c) La dose 3

Les résultats pour le 6^{ème} jour



(a) La dose 1



(b) La dose 2



(c) La dose 3

Les résultats pour le 9^{ème} jour

Figure (4.46) : Présence des colonies de *M. anisopliae var acridum* sur le feuillage.

Les résultats obtenus indiquent que le *Metarhizium anisopliae var acridum* persiste sur le feuillage du blé dur. Cette persistance est exprimée par le nombre des colonies, ou par la durée de vie de ces dernières. Cette durée de vie peut s'expliquer dans certains cas par une survie des colonies de la souche mise en évidence

[42] Trouvent que les spores de *Metarhizium anisopliae var acridum* persistent longtemps sur les végétaux et gardent leur pouvoir d'infection pendant plusieurs jours ou même plusieurs semaines ce qui réduit le besoin en traitement répété souvent nécessaire avec les insecticides chimiques.

Tous les résultats présentés précédemment montrent que le *M. anisopliae* persiste durant une période variable dans l'environnement [71]

4.2.1.2. Etude de la phytotoxicité



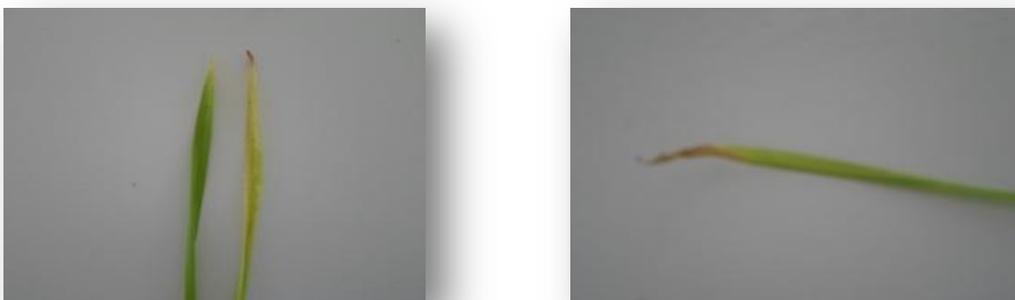


Figure (4.47) : Symptômes observés après pulvérisation du *M. anisopliae*.

Le suivi des lots traités par *M. anisopliae* à différentes concentrations ($0,834.10^7$ spores/ml, $0,834.10^5$ spores/ml, $0,033.10^8$ spores/ml) comparativement aux témoins a permis d'évaluer le nombre des plants altérés durant 9 jours après traitement.

Tableau 4.18 : le nombre des plants présentant des altérations après traitement.

	Dose1	Dose2	Dose 3
3 ^{ème} jour	14	10	7
6 ^{ème} jour	35	30	28
9 ^{ème} jour	36	30	28

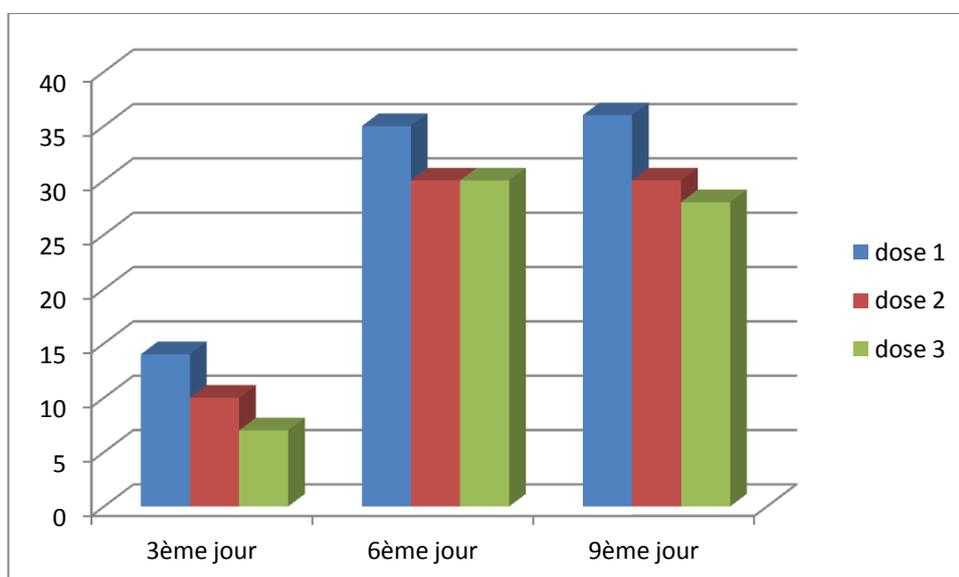


Figure (4.48) : valeur des nombre des plants altérés

Dans la (figure 4.48), les différences entre les cumules par doses, de plants présentant des altérations sont illustrées. On enregistre la plus grande valeur de 36 plants altérés qui correspond à la dose D1.

La plus petite valeur a été enregistrée au troisième jour dans le bloc de la dose D3, avec un nombre de 7 plants.

La (figure 4.48) montre qu'il y'a une corrélation positive entre les valeurs des doses et la durée de persistance du bio-pesticide sur le végétale. Pour une dose de 0.375g/200ml on enregistre 36 plants altérés et ce jusqu'au 9^{ème} jour. Outre pour la dose 0.025g/200ml, sept (07) plants sont observés avec des anomalies comme symptômes de phytotoxicité.

4.2.1.3. Etude de la toxicité des souris blanches de laboratoire par *M.anisopliae*

4.2.1.3.1. Effet de *M. anisopliae* sur l'évolution pondérale

Les différentes concentrations ($0,834.10^7$ spores/ml, $0,834.10^5$ spores/ml, $0,033.10^8$ spores/ml) avec témoins de *M. anisopliae* traitent la souris blanches a permis d'évaluer le taux de mortalité et la croissance pondérale durant 10 jours après traitement.

4.2.1.3.2. Taux de mortalité des individus traités par les différentes doses de *M.anisopliae*

Durant notre expérimentation aucune mortalité n'a été observée chez les souris blanches traitées par les différentes concentrations de la suspension du *M.anisopliae* à savoir D1 = $0,834.10^7$ spores/ml, D2 = $0,834.10^5$ spores/ml et D 3= $0,033.10^8$ spores/ml) ainsi que chez les témoins. Cela signifie que le pouvoir périssable sur ce petit mammifère pendant la période d'observation et suivi.

a) L'évolution pondérale

Les résultats de l'évolution pondérale des souris traitées et celles des témoins sont portés sur les tableaux aux dessous, et illustrés dans la (figure 4.49).

Tableau 4.19 : Evolution pondérale chez les témoins.

Individus	Avant injection	Après l'injection H2O							
1	23	24	23	22	21	27	25	27	28
2	27	29	29	29	29	32	32	31	32
3	20	21	21	21	21	25	23	24	26
4	19	20	20	20	20	22	21	22	24
5	19	20	20	20	20	22	21	22	24

Tableau 4.20 : Evolution pondérale (en gr) après l'injection de la dose = $0,834 \cdot 10^5$ spores/ml.

Individus	Avant injection	Après l'injection par <i>M.anisopliae</i>							
1	34	38	37	36	36	39	38	38	39
2	29	33	32	30	31	34	33	34	36
3	27	31	30	30	31	33	31	32	34
4	29	32	31	30	31	33	31	32	32
5	31	31	30	32	34	36	34	35	36

Tableau 4.21 : Evolution pondérale (en gr) après l'injection de la dose = $0,033.10^8$ spores/ml.

Individus	Avant injection	Après l'injection par <i>M.anisopliae</i>							
1	32	34	33	34	34	31	32	31	32
2	29	33	31	32	32	30	29	29	31
3	29	30	31	29	29	27	28	27	29
4	27	29	28	28	28	26	34	26	28
5	31	35	33	35	35	33	34	33	35

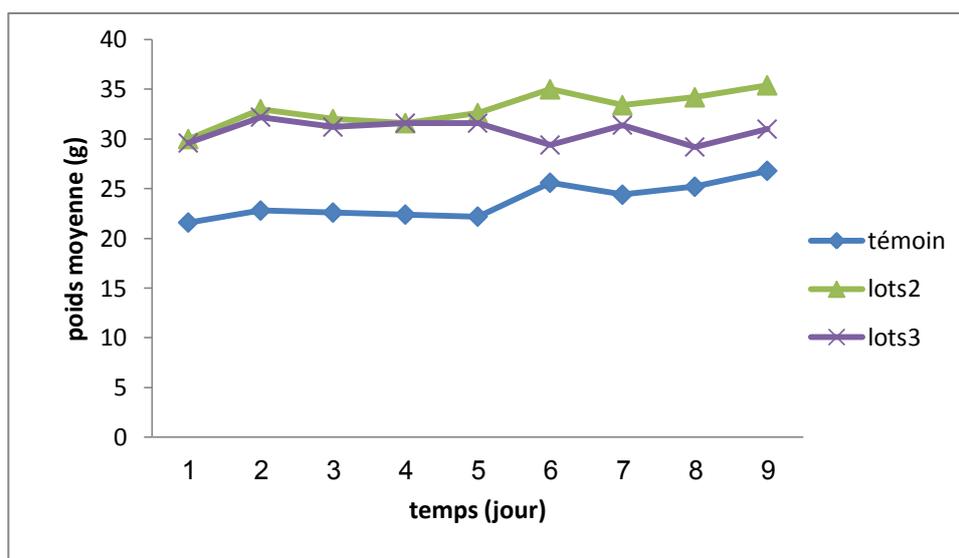


Figure (4.49): Evolution du poids moyen chez les souris traitées par *M.anisopliae*.

D'après la (figure 4.49) on remarque qu'il n'y a pas une différence distincte entre le poids moyen des souris traités par les différentes concentrations de *M. anisopliae* et les témoins, la croissance pondérale augmente au fil du temps au niveau des 03 lots. En outre, leur prise de nourriture est marquée ordinaire quotidiennement durant la période de suivie.

4.2.1.4. Analyse de la variance

Pour que nos résultats soient plus explicites on s'est appuyé sur l'analyse de la variance à deux critères de classifications :

Facteur 1 : Doses de *M. anisopliae*

Facteur 2 : Temps.

Ces résultats ont été traités statistiquement par le logiciel SYSTAT, et sont portés sur le tableau 07.

L'analyse de la variance à deux critères de classification, révèle une différence hautement significative pour les deux facteurs. (F Observé > F Théorique).

Les valeurs de F théorique sont obtenues à partir de la table de distribution de SNEDECOR et COCHRAN ; (1971).

Tableau 4.22 : Analyse de la variance relative à l'évolution pondérale des souris traitées par *M.anisopliae* et des témoins.

Analyse de la variance (ANOVA avec systat vers. 7) (M.anisopliae)					
Source	somme des carrés des écarts	ddl	Moyenne des écarts	F- Ratio	P
DOSE	84,067	2	42,033	22,22	0,000
TEMPS	75,033	7	10,719	5,666	0,000
DOSE*TEMPS	137,667	14	9,833	5,198	0,000
Varia. Intra.	181,6	96	1,892		

D'après le tableau d'analyse de la variance, ce test a révélé une différence hautement significative entre les doses utilisées et le poids, ce dernier varie aussi d'une manière hautement significative dans le temps ($p=0,000 < 0,001$).

Nous avons pris en considération les différences de poids enregistrées le long de la période de suivi avec une probabilité de $p=0.000$

Le premier groupe prend en compte principalement les doses D1 et D2. Ce groupe est corrélé positivement avec la durée de traitement (le temps de traitement), caractérisé par une très forte signification représentée par des différences de poids les plus élevées allant jusqu'au 10^{ème} jour de suivi.

À partir du mode d'analyse adopté, les valeurs enregistrées signifient que le *M. anisoplae* n'influe pas sur la perte du poids des souris au moins dix jours après exposition dans le cas d'une intervention par entomopathogène, et ce en fonction des cas d'application du bio-pesticide de l'environnement dans lequel le bio pesticide est appliqué.

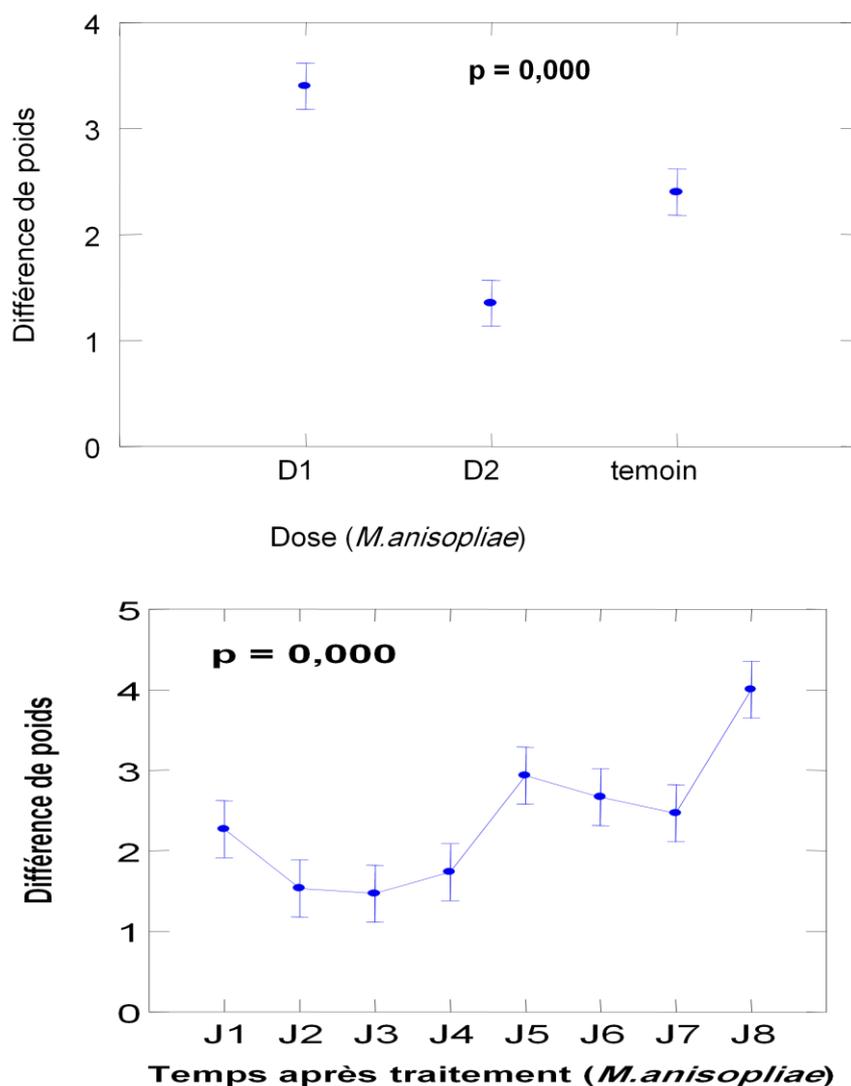


Figure (4.50) : Dendrogramme présentant l'analyse de la variance.

D'après les résultats obtenus pour le paramètre : taux de mortalité, on déduit que *M.anisopliae* n'a aucun effet mortel, ni un autre négatif sur le comportement de prise de nourriture des souris blanches, et ce pendant notre période de suivis.

Dans le cadre d'une étude de terrain réalisée au Canada, BUCKNER et al ; (1974), in [81], ont noté que les petits mammifères (souris sauteuse des bois, souris sylvestre, grande musaraigne, musaraigne commune, campagnol à dos roux, tamia rayé) ont continué de se reproduire durant toute la durée des traitements. Les données de piégeage ont également indiqué que les traitements au *M.anisopliae* n'avaient pas altéré la structure de la communauté de petits mammifères vivant dans les secteurs traités.

En ce qui concerne les résultats de l'évolution pondérale, on a pu marqué au premier jour des valeurs de 22,8g - 33g et 32,2g correspondant respectivement au souris témoins et traité par les 2 doses ($0,834.10^5$ spores/ml, $0,033.10^8$ spores/ml) de la suspension de *M.anisopliae*. Ces poids moyens des souris témoins et traitées augmentent avec le temps jusqu'aux valeurs suivantes : 28,8g – 35,4 g – et 31 g au 10^{ème} jour.

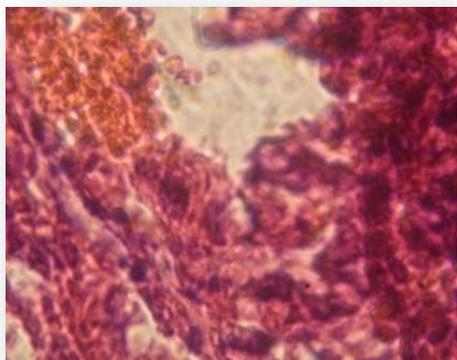
Le poids a donc augmenté d'une façon presque identique au niveau des 04 lots témoins et traitées avec un gain de poids allant de 2 à 6g durant 10 jours.

De ce fait, sous la lumière de ces résultats expérimentaux, l'entomopathogène *M.anisopliae* n'a pas présenté un pouvoir périssable sur les mammifères lorsqu'il est utilisé comme bio-fongicide sous les mêmes conditions expérimentales qu'on a adopté.

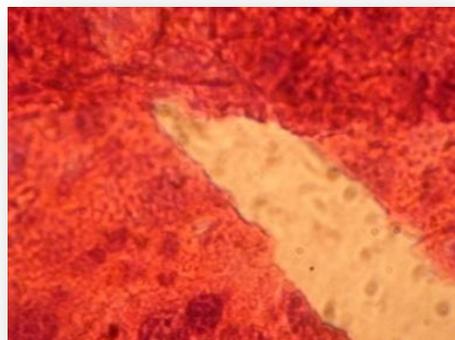
4.2.1.5. Etude d'évaluation de *M. anisopliae* par l'analyse des coupes histologiques

Dans cette partie nous avons opté pour la réalisation des coupes histologiques au niveau des foies de souris d'élevage, ces individus ont été exposés aux traitements par voie intrapéritonéale. L'analyse des différentes

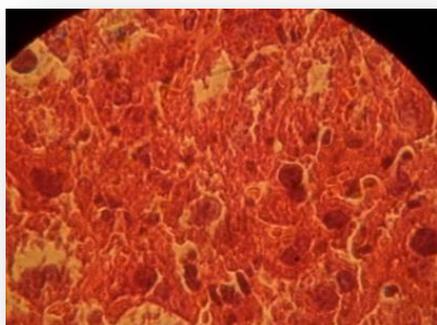
coupes montre une absence d'anomalies à l'échelle histologique ainsi qu'au cytologique. Une homogénéité est observée chez les différentes images en Comparaison avec celles de témoins.



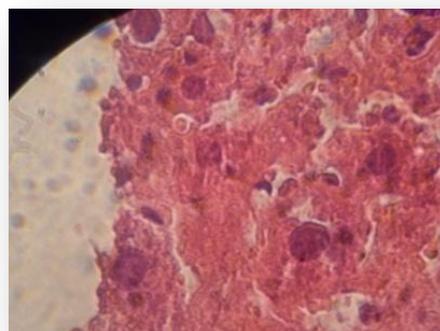
Témoin



Dose1



Dose2



Dose3

Figure (4.51) : les coupes des foies.

Discussion générale

Au terme d'une analyse détaillée des connaissances disponibles relatives principalement à l'environnement du Criquet pèlerin dans le Sud algérien, à l'exploitation de *Schistocerca gregaria* des différents biotopes décrits pour assurer le maintien de l'espèce, plusieurs aspects de l'étude suscitent une ultime discussion. Il est utile de discuter d'abord la méthodologie pour dégager les conditions et les perspectives de perfectionnement des investigations sur terrain [46].

L'analyse de la distribution spatio-temporelle du Criquet pèlerin en Algérie pendant la période étudiée permet déjà d'envisager de faire des améliorations concrètes des interventions de surveillance et de lutte anti-acridienne notamment à travers la réduction des calendriers, des itinéraires de prospections et de surveillance pendant certains mois de l'année en période de rémission ou de fin de recrudescence. Le Sahara central et le Sahara méridional sont concernées par des reproductions régulières ou chroniques du Criquet pèlerin solitaire. Certains sites permettent des reproductions régulières, susceptibles d'engendrer certaines années des phénomènes de transformations phasaire, phénomène critique quand les populations allochtones sont déjà plus ou moins *transiens*.

En effet l'identification des zones de haute fréquence et de densation ainsi que la connaissance de leur calendrier de fonctionnement écologique et acridien, aura une incidence immédiate sur l'amélioration des plans d'action descampagnes de surveillance et d'intervention [71].

Pour le criquet pèlerin, il existe toujours un préférendum écologique qui lui permet de choisir son biotope. Nous avons constaté que cette espèce cherche beaucoup plus les biotopes et les mieux favorables (conditions écométéorologiques) où les températures, et les pluies lui sont optimales tant pour l'alimentation, que pour la reproduction, d'où la notion de foyers grégarigènes [78].

Pour mettre en évidence les types de biotopes de *Schistocerca gregaria* dans le Sud algérien, nous avons analysé nos données relatives au sol, à la végétation et à l'acridien

Selon POPOV G.B(1991), un biotope à Criquet pèlerin peut être défini comme un site colonisé par une population de *Schistocerca gregaria*. Cette définition met en jeu plusieurs composantes :

- composantes statiques : celles qui déterminent les potentialités d'un site et correspondent à l'ensemble des conditions physico-chimiques et biotiques qui règnent en un lieu ou en un site,
- composantes dynamiques : celles qui conditionnent la présence d'un organisme (Criquet pèlerin dans notre cas) et qui relativise la notion de milieu en fonction de l'organisme considéré, et implique de prendre en considération l'incidence des conditions météorologiques qui révèlent plus ou moins les potentialités du milieu (c'est en particulier le cas de l'humidité du sol qui favorise ou interdit la ponte sur un site à un moment donné et mérite d'être décrite sans ambiguïté et de façon précise),
- et celle de la durée qui implique une limite temporelle à la présence de l'acridien en un site donné. Pour le Criquet pèlerin, et vu sa grande mobilité, la délimitation des biotopes doit prendre en compte non seulement les limites spatiales mais aussi les limites temporelles.

❖ Etude de la toxicité de *Bacillus thuringiensis* sur L5 du *S. gregaria* :

D'après [14] en cas de mortalité observée, les protéines cristallisées exercent leurs effets sur l'hôte en lysant les cellules épithéliales de l'intestin moyen et en provoquant la paralysie du tube digestif. L'insecte infecté cesse de se nourrir et finit par mourir s'il ne parvient pas à se rétablir.

La mortalité naturelle au cours de l'expérimentation signifie que les doses employées peuvent nous renseigner sur l'incapacité du bio-pesticide à contrôler une bande larvaire dans des conditions naturelles sous un climat saharien.

Le nombre de plants qui ont été observés, présentent des symptômes de nature variée à savoir les brûlures, le jaunissement, les taches de

brunissement, ainsi que des déformations provoquant des retards de croissance.

Nous avons remarqué une reprise de croissance pour la totalité des plants altérés après la pulvérisation des différentes dilutions de *Bacillus thuringiensis*, cependant les plants qui présentent des symptômes de brûlure et jaunissement ont subi une chute des feuilles touchées par le bio-pesticide, cela peut s'expliquer par une réaction du végétal suite à l'application du traitement.

À partir du mode d'analyse adopté, les valeurs enregistrées signifient que le *Bt* n'influe pas sur la perte du poids des souris au moins dix jours après exposition dans le cas d'une intervention par entomopathogène, et ce en fonction des circonstances d'application du bio-pesticide.

Le *Bt* est une bactérie du sol indigène qui est répandue dans le monde entier [55] La forme végétative du *Bt* n'est généralement pas bien adaptée au sol, et sa survie dépend de sa capacité d'atteindre l'habitat spécialisé que constituent les insectes vulnérables.

Les endospores du *Bt* peuvent toutefois survivent dans la majorité des types de sol, quoi que leur croissance soit inhibée à des valeurs de pH inférieures à 4,8.Des applications répétées de *Bt* n'entraînent aucune accumulation de la bactérie [26].

Le devenir du *Bt* dans le sol dépend vraisemblablement de l'intensité de la compétition avec les autres formes microbiennes. En effet, l'abondance du *Bt* diminue rapidement dans les sols non stérilisés, tandis qu'elle peut augmenter dans les sols stérilisés [26]. Inoculé dans le sol à la dose de 105 cellules par gramme de sol, le *Bt* s'est maintenu à la densité de 103 cellules par gramme pendant 12 à 16 mois. Toutefois, l'abondance relative du *Bt* par rapport à celle des autres bacilles du sol a chuté de 20-40% à environ 10%, ce qui indique que le *Bt* n'est pas bien adapté aux environnements édaphiques.

[47] ont noté qu'après 63 jours, le *Bt* n'avait conservé que 3% de son activité insecticide dans le sol, même si environ 38% des endospores étaient

encore viables. Après 135 jours, 23% des endospores étaient encore viables, mais le *Bt* avait complètement perdu son activité insecticide.

Selon Greathead D. J(1994), l'innocuité du *Bt* dans l'environnement est maintenant bien établie, quelques souches sauvages étant appliquées depuis plus de trente ans sans le moindre incident ou dommage sous forme de formulations commerciales en quantités de plus en plus importantes pour protéger les cultures vivrières, les plantes ornementales, les arbres forestiers et les grains ensilés.

En outre, les nombreux projets de recherche fondamentale et appliquée qui ont accompagné l'exploitation et l'étude du *Bt* nous ont permis d'acquérir des connaissances limitées sur le comportement du microorganisme dans l'environnement [43]

❖ **Etude de la toxicité de *M. anisopliae* sur L5 du *S. gregaria* :**

[44] ont démontré qu'une dose de $3,75 \cdot 10^4$ /gr de poids vif produit, selon l'espèce acridienne, une mortalité de 100% au bout de 4 à 7 jours. [62], ont noté, suite aux essais sur le terrain effectués au Niger, au Bénin et au Mali à la dose de $5 \cdot 10^{12}$ spores /hectares de *M. anisopliae*, une mortalité s'élevait à 80% voir 95% après 10 à 15 jours. Dans notre cas Les résultats de la mortalité des larves (L5) chez les témoins est nulle, la mortalité remarqué à partir du 2^{ème} jour, à la D1 ($0,834 \cdot 10^7$ spores/ml). La mortalité supérieure à 50% a été observée au 6^{ème} jour, à la D1, et a été observée au 9^{ème} jour, à la dose D2 ($0,834 \cdot 10^5$ spores/ml). La mortalité à 100% a été observée au 8^{ème} jour, à la D1 chez les individus traités de *S. gregaria*.

D'après [81], en cas de mortalité observée, les protéines cristallisées exercent leurs effets sur l'hôte en lysant les cellules épithéliales de l'intestin moyen et en provoquant la paralysie du tube digestif. L'insecte infecté cesse de se nourrir et finit par mourir s'il ne parvient pas à se rétablir.

Les mortalités cumulées, présentent la même allure et évoluent dans le même sens, se caractérisant par un décalage dans le temps en réponses aux doses auxquelles les adultes de *Schistocerca gregaria* ont été soumis.

CONCLUSION GENERALE

La compréhension des phénomènes qui engendrent les invasions du Criquet pèlerin nécessite une bonne connaissance du fonctionnement de ces biotopes.

Le Sahara a été divisée en trois secteurs, définis par des influences climatiques méditerranéennes et tropicales plus ou moins marquées : le secteur du Sahara septentrional, le secteur du Sahara central, et le secteur du Sahara méridional. A ce gradient latitudinal, se superpose un étagement altitudinal. Le phénomène est particulièrement net au Sahara central, en liaison avec les hauts reliefs sahariens.

La typologie des groupements végétaux a permis la description et la caractérisation des biotopes acridiens. Dans les biotopes acridiens prospectés au Sud algérien, les plantes tendent à se réunir suivant leurs affinités biologiques et suivant leurs exigences vis-à-vis du milieu ambiant. L'analyse floristique du tapis végétal a permis de mettre en évidence une dizaine de groupements floristiques qui se répartissent en fonction de la texture et l'humidité du sol, de la latitude (ou du bioclimat) et de l'anthropisation.

Selon Popov *et al.* (1991), la seule stratégie de lutte contre le Criquet pèlerin, économiquement supportable et écologiquement acceptable, est la lutte préventive. Tous les moyens doivent être mis en œuvre pour empêcher que les effectifs du Criquet pèlerin n'atteignent la masse critique de *transiens* dont l'évolution deviendrait incontrôlable et au-delà de laquelle le processus de grégarisation généralisée devient irréversible. La lutte préventive requiert une surveillance continue et soutenue des aires de distribution des solitaires et des interventions régulières sur toutes les populations acridiennes en voie de grégarisation susceptibles de participer significativement à l'accroissement des effectifs afin d'éviter par tous les moyens que la masse critique ne soit atteinte.

La mise en œuvre de la lutte préventive est fondée sur les informations obtenues par les réseaux de surveillance dont l'efficacité est liée à une bonne connaissance de la bio-écologie du Criquet pèlerin, de l'état des biotopes et de l'état des populations acridiennes en place.

Il apparait bien souvent l'analyse de la distribution des éléments floristiques est préférable, pour préciser certaines limites, à celle des bioclimats du Sahara qui n'autorise guère une délimitation précise. Il se peut aussi qu'un groupement se substitue insensiblement à un autre. Il est souvent malaisé de définir à partir de quel moment l'un remplace l'autre. Cette diversité que d'aucuns considèrent comme apparente, se traduit par une variabilité floristique de chaque individu d'association, de chaque phytocénose qui sont le reflet de plusieurs variables : bioclimat, station, chorologie.

Avant d'envisager un traitement dans l'environnement, il est essentiel de choisir un mode d'application approprié et de bien connaître la persistance du microorganisme sélectionné dans l'environnement, son potentiel reproductif (multiplication), la rapidité avec laquelle ses gènes peuvent être transférés aux organismes indigènes, son potentiel de dispersion hors des sites d'application (dissémination) et ses effets sur l'équilibre et le fonctionnement des écosystèmes exposés (sécurité, avantages et dommages) (Trevorset *al.*, 1987).(InHemour, 2005).

Un nouveau cadre régional de coopération et de concertation sur le Criquet pèlerin doit être rapidement trouvé. La stratégie proposée devra comporter un important volet de formation et apprentissage. Celui-ci est fondé sur la conviction que, si un certain nombre de mesures concrètes doivent être prises immédiatement pour améliorer l'efficacité du système de lutte, de veille et d'alerte précoce contre les invasions du Criquet pèlerin, il reste encore de nombreuses lacunes en ce qui concerne l'écologie, les méthodes de prévision.

En perspective Il faut également mettre en place des plans d'intervention d'urgence qui permettent de faire face rapidement aux recrudescences majeures si elles se déclarent en dépit des mesures de prévention entreprises. Pour ce faire, les capacités des états de la région doivent être renforcées pour leur permettre de remplir ces tâches. En parallèle, la coopération entre les pays et les échanges d'informations doivent également être renforcés.

REFERENCES

1. Abbot, W.B., "A method for computing the effectiveness of insecticides". *J.écon .ent .*, n018, (1925), pp.265-267.
2. Abderrahmane, M., "Effet de l'activité biologique d'un champignon entomopathogène *metarhizium anisopliae* var *acridum* (metch) (deuteromycetes-moniliaceae) sur les stades larvaires I4 et I5 et les adultes de *schistocercagregaria* (forskål, 1775) (orthopteraacrididae)". Thèse. ing. Agro.Univ.Blida, (2007), 67p.
3. Allal, B.L., "Recherches quantitatives sur le criquet migrateur *Locusta migratoria* (Orth. Oedipodinae) dans le Sahara algérien. Perspectives de lutte biologique à l'aide de microorganismes pathogènes et de peptides synthétiques" Thèse de Doc. Univ. Limoges, (2006), 127p.
4. Anonyme, "Répartition acridien". Article de FAO. www.fao.org, (2003).
5. Babah, M. A.O et Sword, G. A " Linking locust gregarization to local resource distribution patterns a cross a large spatial scale. *Environmental entomology*", vol. 33, no 6, (2004), 1577-1583 p.
6. Barry J.P., Celles J.C. et Maniere R., " Le problème des divisions bioclimatiques et floristiques au Sahara Algérien". Note II. Le Sahara central et le Sahara méridional. *Naturalia Monspeliensia*, sér. Bot. 26 : ,(1976), 211-242.
7. Barry J.P., Celles J.C. et Maniere R., " Le problème des divisions bioclimatiques et floristiques au Sahara Algérien". Note III. L'analyse de la végétation de la région d'In Salah et de Tamarasset (Sahara central et méridional. *Naturalia Monspeliensia*, sér. Bot. 44 : (1981), 1-48p.
8. Barry J.P. et Celles J.C., " Le problème des divisions bioclimatiques et floristiques au Sahara Algérien". *Naturalia Monspeliensia*, sér. Bot., 23-24 : (1972-1973), 5-48 p.
9. Barry, J.P. " La frontière méridional du Sahara entre l'Adrar des Iforas et Tombouctou". - *Ecologia Mediterranea*, VIII (3) : (1982), 99-124p.
10. Barry, J.-P., Celles, J. C., Maniere, R., "Le problème des divisions bioclimatiques et floristiques au Sahara algérien". Note II.- Le Sahara central et le Sahara méridional. - *Naturalia monspeliensia*, sér. Bot. (26) : (1976), 211-242p.

11. Barry, J.-P., Celles, J.C., Maniere, R., Le problème des divisions bioclimatiques et floristiques au Sahara algérien. III- L'analyse de la végétation de la région d'In Salah et de Tamanrasset (Sahara central et méridional) ". *Naturalia monspeliensia*, sér. Bot. (44) : (1981), "1-48p.
12. Barry, J.-P., Celles, J.C., Musso, J., "Le problème des divisions bioclimatiques et floristiques au Sahara algérien" note IV : le plateau du Tademaït et ses alentours (carte Ouargla). - *Ecologia Mediterranea*, XI (2-3) : (1985), 123-181p.
13. Belhadi M., " Impact de quelques plantes sur paramètres biologiques et physiologiques du criquet pèlerin *schistocerca gregaria* (forskal, 1775) en conditions contrôlées" ; Thèse Mag, Inst, Ago, Elharrach ; (2005) ,106 p.
14. Bissad F.Z., Youcef ,M., Bounaceur F., et Doumandji, M.B., " Activité biologique d'un biopesticide le Green muscle sur le tégument du criquet pèlerin *Schistocercagregaria* (Forskål, 1775) (Orthoptera, Acrididae) ". *Nature et Technologie*, N° 6: (2012) 51-58p.
15. Bouaichi, A., Simpson, S. J., Roessingh, P. " The influence of environmental microstructure on the behavioural phase state and distribution of the desert *Schistocerca gregaria*. *Physiological Entomology*", 21(4), (1996), 247-256p.
16. Braun-B J.. *Plant sociology* " The study of plant communities". Translated, Revised and edited by G. D. FULLER et H. S. CONARD. Facsimile of the édition of 1932. Hafner: New-York/ London. (1965)
17. Butt, T.M.L et Ibrahim, B.V.S.J et Clark, A. B, " The germination behavior of *Metarhizium anisopliae* on the surface of aphid and flea beetle cuticles". *Mycol. Res.* 99: 945-950, Canning, E. U. 1982, An evaluation of protozoal characteristics in relation to biological control pests. *Parasitology*, (1995), 119 p.
18. Cabi, V "Lutte biologique contre les criquets: possibilité d'utiliser les organismes pathogènes et recherches proposées". *International Institute of Biological Control* : Berks (UK), (1988), 6 p.
19. Calvet, C., "Manuel de protection des végétaux". Ed. Baillière, Coll. (enseignement agricole), paris, (1980), 447p.
20. Capot, R., "Les limites du Sahara français". *Trav. Inst. Recher. sahar.*, 8 : (1952) 23-48p.

21. Chara B. “ Organisation de la lutte antiacridienne en Algérie”. Historique et évolution des moyens. CLCPANO, Alger. (1998)
22. Chopard L., “Orthoptéroïdes de l’Afrique du nord, faune de l’empire français”. Ed.Lib., Larose, Paris, (1943) 450 p.
23. Culmsee, H “ The habitat functions of végétation in relation to the behaviour of the desert locust *Schistocerca gregaria* (Forskål)(Acrididae: Orthoptera) ”-a study in Mauritania (West Africa). *Phytocoenologia*, , vol. 32, no 4, p. (2002), 645-664p.

24. Dajoz, R., “ Précis d’écologie”. Ed. Gauthier-Villars, Paris, (1982), 503 p.
25. Delassus, M.H. et Pasquier R., “la lutte contre les sauterelles en Algérie”. Pub.Gouv.Gen., Alger, (1929), 72p.
26. Djezzar M., “*Effet d’un biopéticide « Green muscle » sur les différents stades de schistocerca gregaria (Forskål, 1775) (Orthoptera, Acrididae) et impact sur quelques composantes des écosystèmes aquatiques*”. Thèse Mag. Inst.Nat.Sci. Agro.,EL-Harrach, (2006) ,155p.
27. Djouadi, “Etude de la persistance de trois microorganismes entomopathogènes et contrôle du développement mycélien de *Metarhizium anisopliae* var *acridum*”, Université de M’HAMED BOUGARA, Boumerdes, (2011),90 p.
28. Dobson H.M. “Lutte anti acridienne”.Ed. n°2. F.A.O.,(2001), 82p.
29. Dore A., Barbier M., Lecoq M. et Ouled B.A. M., “Prévention des invasions de criquets pèlerins : analyse sociotechnique d’un dispositif de gestion du risque”.*Cahiers Agricultures*, vol. 17, N° 5, (2008), 457-464p.

30. Doumandji ,M.B., Doumandji, S., Kara F.Z., Ouchen D. et Mehenni M., a“Comparaison du régime alimentaire de la sauterelle pèlerine *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) à Adrar et à Tamanrasset (Sahara, Algérie) ”, *Med. Fac. Landbouww. Univ. Gent.* 61/3a.,(1996), 745-781p.
31. Dubief,J., “Le climat du Sahara”. Tome I : Les températures. - Mém. Inst. Rech. Sah. (Alger), I (hors série), (1959) ,1-308p.
32. Dubief,J., “ Le climat du Sahara”. Tome II : Les précipitations. - Mém. Inst. Rech. Sah. (Alger), II (hors série) : (1963),1-275p.

33. Dubief, J., "Essai sur la détermination des limites climatiques du Sahara et sur ses subdivisions climatiques". - In : Programme biologique international. Section CT. Hammamet (Tunisie) : (1968), 1-9p.
34. Dubief, J., "L'Ajjer, Sahara Central". 1. -Karthala : Paris, (1971), 709 p.
35. Duranton J.F. et Lecoq M., " Le Criquet pèlerin au Sahel", Coll. Acrid. Opert. CIRAD-PRIFAS, Montpellier, (1990) ,343p.
36. Duranton J.F., Foucart A. et Gay P.E., "Florule des biotopes du Criquet pèlerin en Afrique de l'Ouest et du Nord-Ouest à l'usage des prospecteurs de la lutte anti-acridienne". -FAO-CLCPRO/Cirad, Alger/Montpellier, (2012), 487 p.
37. Duranton J.F., Launois M., Launois-Luong M.H. et Lecoq M., "De l'étude des criquets à l'écologie opérationnelle". Rev.Sci., (1987),54-67p.
38. Duranton J-F, Lecoq M., "Le criquet pèlerin au sahel". (1990),84 p.
39. Duranton J-F., Launois Luong M.M. et Lecoq M., "Manuel de protection acridienne en zone tropicale sèche". Ed. Gerdat, Paris, T. I, (1982),695p.
40. Finot A., " Insectes Orthoptères. Thysanoures et Orthoptères proprement dits. Faune de la France". Ed. Deyrolle, Paris, (1890), 153-155p.
41. Germeaux M., "reproduction et grégarisation du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) au Niger". Sécheresse, Antran, n°8, (1), (1997) ,65-68p.
42. Goettel M.S. et Johnson D.L., "Environmental impact and safety of fungal biocontrol agents". – IN : IINN :: IN : LOMER C.J. & PRIOR C. (Ed. Sc.). – Biological control of locusts and grasshoppers, Proceedings of a Workshop held at the International Institute of Tropical Agriculture, Cotonou, Benin", April 29-May 1st, 1991. – CAB International : Oxon (UK): (1992) 356-361.
43. Grasse P.P., "Traité de zoologie. Anatomie, systématique, biologie". Ed. Masson, Paris, T. IX, (1949),1117 p.
44. Greathead D. J, Kooyman C, Launois-Luong M. H. et Popov G. B., "les ennemis naturels des criquets du sahel". CIRAD / PRIFAS, 'collection acridologie opérationnelle n°8, Montpellier, (1994) ,147p.
45. Guendouz B. A., " Ecophysiologie et biogéographie du Criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) (Orthoptera, Acrididae) dans le Sud algérien". Thèse doc. INA. Algérie,(2005), 212p.

46. Guendouz, B.A., "Ecophysiologie et biogéographie du Criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) (Orthoptera, Acrididae) dans le sud Algérien". Thèse de Doctorat d'Etat. Inst. Nat. Agro., El-Harrach, (2005) 210 p.
47. Guendouz, B. A., Duranton, Jean, F, et Mitiche, B. D " Préférences alimentaires de *Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775) à l'état solitaire dans les biotopes du Sud algérien". Journal of Orthoptera Research, (2010), p. 7-14.
48. Guendouz, B.A., Chara, B., Duranton, J.F., et Doumandji, M.B., " Caractérisation, par la végétation, des biotopes de multiplication et de grégarisation de *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) (Orthoptera : Acrididae) dans le sud algérien". - Revue de Cytologie et Biologie végétale- Le Botaniste (France), 25 (2-3) : (2002), 13-25p.
49. Guichard, K. M., et coll "Habitats du criquet pèlerin (*Schistocerca gregaria* Forskål) dans l'ouest de la Libye et du Tibesti". *Antiacridiennes Bull.*, (1955), 21p.
50. Harold V. "Review of the efficacy of *metarhizium anisopliae* var. *acidum* against the desert locust". FAO, (2007), 77p.
51. Hebrard, J.P., "Lutte biologique", du rêve à la réalité. *Jeunes Agric.*, (1994), 484-34-36p.
52. Hunter, D., Milner, R, Lozano, L. B. and Driver F. "A comparative study of two mexican isolates with an australian isolate of *metarhizium anisopliae* var. *acidum* strain characterisation, temperature profile and virulence for wingless grasshopper, *phaulacridium vittatum*. *biocontrol*", (2001), 348p.
53. KAIDI, N., " Effet de la température et des milieux de culture sur *Beauveria bassiana* Bals (hyphomycètes, deuteromycotina). Activité biologique de cet entomopathogène vis-à-vis des imagos de *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) (acrididae, cyrtacanthacrinae) et de *locusta migratoria* (Linné, 1758) (Oedipodinae, acrididae) ". Thèse, Ing.Scie.Agro.Inst.Nat.Agro.El-Harrach, (2004), 154p .
54. KAIDI N., "Bioécologie de *Schistocerca gregaria* (Forskai, 1775) (Orthoptera, Cyrtacanthacridinae) dans la région de l'Ahaggar". Thèse Magistère, Inst. Nat. Agro., El_Harrach, (2007), 164p.

55. Kemassi A., Boual Z., Ould E. H., Khelil A., Dadi B. M. et Ouedd .E.H. M. D., "Activité biologique de l'extrait d'*Euphorbia guyoniana*(Boiss. & Reut.) (Euphorbiaceae) sur les larves du cinquième stade et sur les adultes de *Schistocerca gregaria*(Forskål, 1775) (Orthoptera-Acrididae) ".Annales des Sciences et Technologie, Vol. 2, N° 1, (2010), 61-70.
56. Kemassi A., Bouali Z., Lebbouz ,I., Daddi, B. M., Saker,M.L., Ould,E H. A. et Ould, E.H M.D., "Étude de l'activité biologique des extraits foliaires de *Cleome Arabica* (Capparidaceae) ". Lebanese Science Journal, Vol. 13, No. 2, Beyrouth, (2012) 81-97p.
57. Kleespies,R.G, Huger,A.M, and Stephan,D. "Diagnosis and pathology of diseases from locusts and other orthopterans. gtz (eschborn, germany) and bba (darmstadt, germany) ", (2000),43 p.
58. Kouassi,M. "Les possibilités de lutte biologique -emphase sur le champignon entomopathogène *bauveria bassiana*". sci. enviro.,vol. 2. (2001)
59. Launois,L.M.H et Lecoq,M., "Vade-mecum des criquets du sahel". CIRAD-PRIFAS, Pays Bas, (1989) ,5, 125p.
60. Launois,L.M.H et Lecoq M.,"manuel explicatif du code ONM de transmission des informations sur les criquets ravageurs". Ed.Org. Mete.Mond., Org.Isi.Etu.Sci.Col.,Geneve, (1993), 30p.
61. Launois,L.M.H et Popov,G.B.,"*Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) (acrididae, cyrtacanthacrinae) ".Ed.CIRAD-PRIFAS, Paris, (1992), 4p.
62. Launois,L.M.H., LAUNOIS M. et RACHADI T., 1988 "la lutte chimique contre les criquets du sahel" .Minist.Aff.Etrang.Pays Bas et CIRAD-PRIFAS, Coll.Acrid.Operat., N°3, 62p.
63. LE HOUEROU, H.N., 1962"Les pâturages naturels de la Tunisie aride et désertique". -Institut des Sciences économiques appliquées : Paris-Tunis, 118 p.
64. LE HOUEROU, H.N., 1969"La végétation de la Tunisie steppique". - Ann.Inst.nat.Rech.agronomiques de Tunisie. - 42 (5), 622 p.
65. LE TOULLEC M., 1994"Les insecticides biologiques passent à l'attaque". Ind. Tec, 749, 86-87.

66. LECOQ M. & MESTRE J., 1988. "La surveillance des sauteriaux du Sahel".
– Coll. : Acridologie opérationnelle, n° 222, CILSS-DFPV : Niamey (Niger). – 62 p.
67. LECOQ M., 2004 "Vers une solution durable au problème du criquet pèlerin". Sécheresse n° 3, vol. 15, 2004, pp: 217-224
68. LEMÉE, G., 1967 " Précis de biogéographie". Masson- & Cie : Paris, 358 p.
69. LOMER C.J, BATEMAN R.P, JOHNSON D.L, LANGEWALD J. and THOMAS M. (2001) "Biological control of locusts and grasshoppers". Annual. Review. Entomology, 702 p.
70. MAHDJOUR N., 1988 " le problème du criquet pèlerin et les perspectives de sa solution". Bureau Régional F.A.O/Accru, Ghana. Nature et Faune, N°4, pp : 16-20.
71. MAHDJOURI, 2010 " Autoecologie du criquet pèlerin *schistocerca gregaria* (forskal, 1775) (orthoptera, acrididae) dans le sud Algerien", Université SAAD DAHLAB de Blida.
72. MAIRE, R., 1933 "Etudes sur la flore et la végétation du Sahara central". - Mém. Soc. Hist. nat. Afr. du Nord, 3 : 1-433.
73. MONOD, T., 1973. "La dégradation du Monde vivant : Flore et Faune". - In : Colloque sur la désertification. Tenu à Nouakchott : Dakar : p. 91-95.
74. MOUMEN A., 1995 "Choix et normes d'utilisation des insecticides en lutte antiacridienne". Stage de formation en lutte antiacridienne (Alger 17-27sep). Ed. INPV-OADA, pp : 149-154.
75. MOUMEN K., 2002 " La transformation phasaire chez le criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) (Orthoptera, Acrididae), mécanisme et identification des caractéristiques éco physiologiques de la substance femelle se grégation". Thèse Doct. Biologie, Faculté des sciences de Tunis, 109p.
76. Omer, K. S. O. (2006) "Distribution du criquet pèlerin (*Schistocerca gregaria* Forskal)(Acrididae: Orthoptera) en ce qui concerne la qualité de l'herbage dans la côte de la mer rouge du Soudan " (thèse de doctorat, Université de KHARTOUM).
77. OUELD EL HADJ M. D., " Le problème acridien au Sahara algérien". Thèse doc. INA. Algérie. (2004). 275p.

78. OULD EL HADJ M. D., 2002 "Les nouvelles formes de mise en valeur dans le Sahara algérien et le problème acridien. Sciences et changements planétaires". Vol. 13, N° 1 , pp: 37-42
79. OULD EL HADJ M. D., TANKARI DAN-BADJO A., et HALOUANE F., 2004 "Etude du cycle biologique de *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) sur chou (Brassicaoleraceae) en laboratoire" , Courrier du Savoir – N°05, Univ. Mohamed Khider, Biskra, Pp. 17-21
80. OULD TALEB M.H. and AMADOU D. (2001) "Field demonstration of the use of metarhizium anisoplaefor desert locust control using the release"- spray- recaptures method. Nouakchott, Mauritania Centre de Lutte Antiacridienne, 9 p.
81. OUTTAR, 2009 "Effet de deux entomopathogènes, *Beauveria bassiana* Bals. et *Metarhizium anisopliae* var. *acridum* Metch. (Hyphomycetes, Deuteromycotina) sur l'état embryonnaire du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) (Cyrtacanthacridinae, Acrididae) ", Ing Sci. Agro. Inst. Nati. Agro. El Harrach, 102p.
82. OZENDA, P., 1991 (1958) "Flore et végétation du Sahara. (3e édition, augmentée) ". - CNRS : Paris, 662 p.
83. POPOV G.B., DURANTON J. F. et GIGAULT J., 1991 "Étude écologique des biotopes du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) en Afrique Nord-occidentale. Mise en évidence et descriptions des unités territoriales écologiquement homogènes". Ministère de la Coopération et du Développement, Paris, CEE, Bruxelles, et Cirad-Gerdat-Prifas, Montpellier, 744 p.
84. QUÉZEL, P. SANTA & S., 1962 (1963) "Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales". 2 vol.-Centre National de la recherche scientifique : Paris (France). - I et II, (565) p. 1170, 3079 dessins, 42 cartes, 40 ph n & b.
85. QUÉZEL, P. & SANTA, S., 1962 (1963) "Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales". 2 vol. -Centre National de la recherche scientifique : Paris (France). - I et II, (565) 1170 p., 3079 dessins, 42 cartes, 40 ph n&b.

86. QUÉZEL, P., 1965 "La végétation du Sahara, du Tchad à la Mauritanie". - Gustave FISHER Verlag, Stuttgart (Allemagne), 333 p.
87. RACHADI T., 1990 "processus et limites des insecticides chimiques en lutte antiacridienne". Phytoma, N°421, pp : 53-59.
88. SIMONNET F., 2002 "Inventaire des Orthoptères du Parc National des Pyrénées". Rapport de syn- thèse. Convention AEET/PNP 2001.67S, 31 p.
89. Sitouh M. 1976 "Relation entre les crues et *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) en phase solitaire dans le Sahara central de 1967 à 1972". Annales de l'Institut national Agronomique (El Harrache, Algérie) 6: 33-83.
90. SITUOH M. et JOERN A., 1967 "Relations entre les crues et *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) en phase solitaire dans le Sahara central de 1967 à 1972". Ann.Inst.Nat.Agro.El-Harrach, Vol.,VI, n°4, pp : 43-83.
91. SONG H., 2004a "Revision of the alutacea group of genus *Schistocerca* (Orthoptera Acrididae: Cyrtacanthacridinae) ".Ann. Entomol. Soc. Am. 97(3): pp 420 – 436.
92. SONG H., 2004b "on the origin of the desert locust *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) (Orthoptera: Acrididae: Cyrtacanthacridinae) ".Proc. R. Soc. Lond. B (2004) 271, 1641–1648.
93. SYMMONS P.M. et CRESSMAN K., 2001 "Directives sur le criquet pèlerin : Le criquet pèlerin, biologie et comportement". Ed. Food agric. org. Rome, 32 p.
94. TAPPAN, G. Gray, MOORE, Donald G., et KNAUSENBERGER, " Walter I. Monitoring les habitats de sauterelles et des criquets en Afrique sahélienne, à l'aide de SIG et la distance HT+ télédétection". Revue internationale du système d'Information géographique, 1991, vol. 5, n° 1, p. 123-135.
95. UVAROV, B., "sauterelles et criquets Un manuel d'acridology général". Volume 2. Comportement, écologie, biogéographie, dynamique des populations. Centre de recherche outre-mer Pest., 1977.
96. VAN DER WERF, w., WOLDEWAHID, G., a., herbiers VAN HUIS "peuvent prédire la répartition des solitaires de Criquet pèlerin *Schistocerca gregaria*". Journal d'écologie appliquée, 2005, vol. 42, n° 5, p. 989-997.
97. VAN HUIS, A., WOLDEWAHID, G., TOLEUBAYEV, K., "les relations entre la qualité des aliments et de remise en forme dans le criquet pèlerin, *Schistocerca gregaria* et sa répartition sur les habitats sur la plaine côtière

- du Soudan de mer rouge”. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2008, vol. 127, no 2, p. 144-156.
98. Vey A, Fargues J. & Robert P. (1982) “Histological and ultra structural studies of factors determining the specificity of patho types of the fungus *Metarhizium anisopliae* for scarabaeid larvae”. *Entomophaga* 27, 397 p.
99. WOLDEWAHID, G., VAN DER WERF, w., “la distribution spatiale des populations d'ailés solitaires adulte criquet pèlerin (*Schistocerca gregaria* Forsk. ” sur la plaine côtière de VAN HUIS, A.,
100. WRAIGHT(S .P.), MOLLOY (D .P.) et SINGER (S.), 1987. “Studies on the culicine mosquito host range of *Bacillus sphaericus* and *Bacillus thuringiensis* H-44. with notes on the effects of temperature and instar on bacterial efficacy”. *J. Invert. Path*, 302 p.