

République algérienne démocratique et populaire

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Université Mohamed Khider - Biskra



Faculté des sciences exactes et des sciences de la nature et de la vie

Département des sciences de la nature et de la vie

Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Magister en Biologie

Option : Biologie appliquée

THEME

**Efficacité entomopathogène du *Bacillus subtilis* et du *Bacillus thuringiensis* sur quelques paramètres de croissance et de fécondité du criquet migrateur *Locusta migratoria* (Linné, 1758)
(Oedipodinae, Acrididae)**

Présenté par : M^{elle} LAMRI Halima

Devant le jury :

Président : M. BENAZIZA Abdelaziz

M.C.A (Univ. Biskra)

Promoteur : M^{me} ALLAL- BENFEKIH Leïla

Professeur (U.S.D. Blida)

Examineurs : M. HARRAT Aboud

Professeur (Univ. Constantine)

M. TARAÏ Nacer

M.C.A (Univ. Biskra)

Année universitaire : 2014/2015

Dédicace

A la lumière de ma vie, mes parents

Ce modeste travail est dédié

Remerciements

Au terme de ce travail, nous tenons à remercier notre Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage, la patience et la santé afin d'achever ce modeste travail.

Il est agréable d'exprimer nos sincères gratitudee à tous ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin à sa réalisation. Nos remerciement s'adressent à :

M^{me} Allal, ma promotrice, maître de conférence A au département des sciences agronomiques de Blida, d'avoir été très patiente avec nous en guidant ce travail par les précieux conseils et l'appui qu'elle nous a prodigué. Qu'elle trouve ici l'expression de notre profond remerciement.

Mr MOUSSI, le chef du département de la biologie de l'université de Biskra, pour leur leurs conseils, leurs encouragements, leur inquiétude, leur gentillesse et leur modestie.

Je tiens à remercier Mr BENAZIZA Abdelaziz, d'avoir honoré de sa présence ce jury en acceptant de le présider.

Je remercie les membres de jury M. HARRAT Aboud et M. TARAI Nacer d'avoir aimablement accepté d'examiner et juger ce travail.

Nos sincères remerciements vont également à Mr Kamel BEN SALEH, chercheur au C.R.S.T.R.A de Biskra pour ces précieuses aides et orientations.

A tout le personnel du département de la biologie de l'université de Biskra, pour nous avoir facilitées l'accès aux informations et données concernant notre sujet d'étude.

A tout et toutes qui ont aidées de près ou de loin de réaliser ce modeste travail.

Liste des tableaux

Tableau 1: Effet des produits (eau, <i>B.s</i> et <i>B.t</i>) sur la mortalité des larves L5 de <i>L. migratoria</i>	30
Tableau 2: Effet des produits (eau, <i>B.s</i> et <i>B.t</i>) sur la durée moyenne du passage des larves L5 témoins et des larves L5 taritées au stade adulte.....	32
Tableau 3: Effet des produits (eau, <i>B.s</i> et <i>B.t</i>) sur l'indice de consommation des larves témoins et des larves traitées de <i>L.m</i>	34
Tableau 4: Effet des produits (eau, <i>B.s</i> et <i>B.t</i>) sur le coefficient d'utilisation digestif des larves L5 témoins et des larves L5 taritées	35
Tableau 5: Effet des produits (eau, <i>B.s</i> et <i>B.t</i>) sur l'efficacité de la conversion de la nourriture ingérée par les larves L5 témoins et par les larves L5 taritées	37
Tableau 6: Effet des produits (eau, <i>B.s</i> et <i>B.t</i>) sur l'efficacité de conversion de la nourriture digérée par les larves L5 témoins et par les larves L5 taritées	48
Tableau 7: Effet des produits (eau, <i>B.s</i> et <i>B.t</i>) sur le délai de la première ponte chez les femelles témoins et les femelles traitées.....	40
Tableau 8: Effet des produits (eau, <i>B.s</i> et <i>B.t</i>) sur le rythme de ponte chez les femelles témoins et les femelles traitées.....	41
Tableau 9: Effet des produits (eau, <i>B.s</i> et <i>B.t</i>) sur le nombre de ponte chez les femelles témoins et les femelles traitées.....	43
Tableau 10: Effet des produits (eau, <i>B.s</i> et <i>B.t</i>) sur le nombre d'oeufs par oothèque chez les femelles témoins et les femelles traitées.....	44
Tableau 11: Effet des produits (eau, <i>B.s</i> et <i>B.t</i>) sur le taux de fertilité chez les femelles témoins et les femelles traitées	46

Liste des figures

Figure 1. Oothèque de <i>locusta migratoria</i>	5
Figure 2. Adulte femelle de <i>L.m.cinerascens</i> en phase grégaire.....	6
Figure 3. Adulte male de <i>L.m.cinerascens</i> en phase grégaire.....	6
Figure 4. La ponte chez la femelle de <i>L.m.cinerascens</i>	7
Figure 5. Larve L1 de <i>locusta migratoria</i> lors de l'éclosion.....	8
Figure 6. Larve L2 de <i>locusta migratoria</i>	8
Figure 7. Larve L3 de <i>locusta migratoria</i>	8
Figure 8. Larve L4 de <i>locusta migratoria</i>	9
Figure 9. Larve L5 de <i>locusta migratoria</i>	9
Figure 10. La mue imaginale chez <i>locusta migratoria</i>	9
Figure 11. Imago male immature de <i>locusta migratoria cinerascens</i>	10
Figure 12. L'accouplement chez <i>Locusta.m.cinerascens</i>	10
Figure 13. L'appareil digestif du criquet migrateur en vue dorsale.....	12
Figure 14. L'appareil génital femelle du criquet migrateur en vue dorsale.....	13
Figure 15. Aire de répartition de <i>locusta migratoria</i>	15
Figure 16. Matériel d'élevage de <i>locusta migratoria cinerascens</i>	22
Figure 17. Protocole expérimental pour l'étude de la croissance et l'activité alimentaire des larves L5 de <i>Locusta migratoria</i>	25
Figure 18. Matériel utilisé pour l'élevage des adultes de <i>L.m cinerascens</i>	29
Figure 19: l'évolution pondérale des larves témoins et des larves traitées de <i>L.m</i>	30
figure 20: Pourcentage de mortalité chez les larves témoins et les larves traitées de <i>L.m.</i>	31
Figure 21. Analyse de la variance des taux de mortalité.....	31
Figure 22: la durée moyenne du passage des larves L5 témoins et des larves L5 traitées au stade adulte.....	32
Figure 23 : Adulte émergé avec des ailes males étalées.....	32
Figure 24. Analyse de la variance des durées du passage au stade adulte.....	33
Figure 25: le gain du poids des larves témoins et des larves traitées	34
Figure 26: l'indice de consommation des larves témoins et des larves traitées de <i>L.m</i> ...	34

Figure 27. Analyse de la variance des indices de consommation.....	35
Figure 28: le coefficient d'utilisation digestif des larves témoins et des larves traitées de <i>L.m</i>	36
Figure 29. Analyse de la variance des C.U.D	36
Figure 30: l'efficacité de la conversion de la nourriture ingérée par les larves témoins et des larves traitées de <i>L.m</i>	37
Figure 31. Analyse de la variance de l'E.C.I	38
Figure 32: l'efficacité de conversion de la nourriture digérée par les larves témoins et les larves traitées de <i>L.m</i>	38
Figure 33. Analyse de la variance de l'E.C.D	39
Figure 34: l'indice de croissance des larves témoins et des larves traitées de <i>L.m</i>	40
Figure 35 : Le délai de la première ponte chez les femelles témoins et les femelles traitées	40
Figure 36. Analyse de la variance du délai de la première ponte.....	41
Figure 37: Nombre moyen de rythmes de ponte chez les femelles témoins et les femelles traitées	42
Figure 38. Analyse de la variance du rythme de ponte.....	43
Figure 39 : Le nombre moyen d'oothèques chez les femelles témoins et les femelles traitées	43
Figure 40. Analyse de la variance du nombre de ponte	44
Figure 41 : Le nombre moyen d'œuf par oothèque chez les femelles témoins et les femelles traitées.....	45
Figure 42. Analyse de la variance du nombre d'œufs / oothèque.....	45
Figure 43: Le taux de fertilité moyen chez les femelles témoins et les femelles traitées...	45
Figure 44. Analyse de la variance du taux de fertilité.....	46

Liste des abréviations

mm : Millimètre

C° : Degré celsius

cm: Centimètre

B.s : *Bacillus subtilis*

B.t : *Bacillus thuringiensis*

g : Gramme

Mg : milligramme

L.m : *Locusta migratoria*

h : Heure

% : pourcent

I.C : indice de consommation

E.C.I : pourcentage d'efficacité de conversion de la nourriture ingérée

E.C.D : pourcentage d'efficacité de conversion de la nourriture digérée

C.U.D : pourcentage du coefficient d'utilisation digestif

I.Cr : indice de croissance

L1: Larve de premier stade

L2: Larve de deuxième stade

L3 : Larve de troisième stade

L4 : Larve de quatrième stade

L5 : Larve de cinquième stade

C.R.S.T.R.A : Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides

SOMMAIRE

Sommaire

Introduction

CHAPITRE I. GENERALITES	5
I. Le criquet migrateur <i>Locusta migratoria</i>	5
1. Position Systématique	5
2. Description morphologique	5
2.1. L'oothèque	5
2.2. La larve	5
2.3. L'adulte	6
3. Le cycle biologique	7
3.1. La ponte	7
3.2. Le développement embryonnaire	7
3.3. Éclosion et développement larvaire	7
3.4. Développement imaginal et maturation sexuelle	9
3.5. L'Accouplement	10
4. L'alimentation chez le criquet migrateur.....	10
5. Eléments sur l'anatomie du tube digestif et de l'appareil génital femelle des acridiens	10
5.1. Le tube digestif	11
5.2. L'appareil reproducteur femelle	12
6. Le Polymorphisme phasaire	13
7. Ecologie et distribution géographique de <i>Locusta.m</i>	14
8. Dégâts et cycles d'invasions	15
9. La lutte antiacridienne	16
9.1. La lutte préventive	16
9.2. La lutte mécanique	16
9.3. La lutte écologique	16
9.4. La lutte chimique	16
9.5. La lutte biologique	17
II. Données bibliographiques sur le <i>Bacillus subtilis</i> et le <i>Bacillus thuringiensis</i>	19
1. <i>Bacillus subtilis</i>	19
2. <i>Bacillus thuringiensis</i>	19
CHAPITRE II. METHODOLOGIE	21
I. Matériels biologique	21
1. Origine de l'insecte	21

SOMMAIRE

1.1. L'élevage de <i>Locusta migratoria</i>	21
2. Les souches bactériennes	22
2.1. Préparation des suspensions bactériennes.....	22
II. Méthodes	23
1. Objectifs de l'étude	23
2. Etude de l'effet des deux souches bactériennes sur la croissance et l'activité alimentaire des larves L5 de <i>Locusta.m</i>	23
2.1. Mode d'application des traitements biologiques.....	23
2.2. Les paramètres biologiques étudiés.....	24
2.2.1. Croissance pondérale individuelle des larves L5	24
2.2.2. Pourcentage de mortalité larvaire	24
2.2.3. La durée du développement larvaire	25
2.2.4. Le gain du poids.....	25
2.2.5. L'activité alimentaire.....	25
3. Etude de l'impact des deux souches bactériennes (<i>B.s</i> , <i>B.t</i>) sur la reproduction de <i>Locusta migratoria</i>	27
3.1. Les paramètres biologiques étudiés	28
3.2.1. Le délai de la première ponte.....	28
3.2.2. Le rythme de ponte.....	28
3.2.3. Le nombre d'oothèques.....	28
3.2.4. Le nombre d'œufs par oothèque.....	28
3.2.5. Le taux de fertilité.....	28
III. Analyse statistique	28
CHAPITRE III.RESULTATS	29
I. L'effet des deux souches bactériennes sur la croissance et l'activité alimentaire des larves L5 de <i>Locusta.m</i>	29
1. Effet des deux souches bactériennes (<i>B.s</i> , <i>B.t</i>) sur la croissance des larves L5.....	29
1.1. Effet sur la croissance pondérale individuelle des larves L5.....	29
1.2. Effet sur le taux de mortalité des larves L5.....	29
1.3. Effet sur la durée du développement larvaire des larves L5.....	31
1.4. Effet sur le gain du poids des larves L5.....	32

SOMMAIRE

2. Effet des deux souches bactériennes (<i>B.s</i> , <i>B.t</i>) sur les indices nutritionnels de consommation et l'utilisation de la nourriture des larves L5.....	32
2.1. Indice de consommation (I.C).....	32
2.2. Coefficient d'utilisation digestive (C.U.D).....	35
2.3. Efficacité de conversion de la nourriture ingérée (E.C.I).....	36
2.4. Efficacité de conversion de la nourriture digérée (E.C.D).....	37
2.5. Indice de croissance (I.Cr).....	39
II. Effet des deux souches bactériennes (<i>B.s</i> , <i>B.t</i>) sur la reproduction de <i>Locusta migratoria</i>	39
1. Effet sur le délai de la première ponte.....	39
2. Effet sur le rythme de ponte.....	41
3. Effet sur le nombre de ponte par femelle	42
4. Effet sur le nombre d'œufs par oothèque.....	44
5. Effet sur la fertilité des femelles.....	45
VI. DISCUSSION	47
1. Effet des deux souches (<i>B.t</i> et <i>B.s</i>) sur la croissance pondérale et la prise du poids des larves L5 de <i>L.m</i>	47
2. Effet des deux souches (<i>B.t</i> et <i>B.s</i>) sur le taux de mortalité des larves L5 de <i>L.m</i>	48
3. Effet des deux souches (<i>B.t</i> et <i>B.s</i>) sur le passage des larves L5 au stade adulte.....	50
4. Effet des deux souches (<i>B.t</i> et <i>B.s</i>) sur les indices nutritionnels de consommation et l'utilisation de la nourriture des larves L5 de <i>L.m</i>	52
5. Effet des deux souches bactériennes (<i>B.s</i> et <i>B.t</i>) sur la reproduction des femelles de <i>Locusta migratoria</i>	54
Conclusion	58
Références bibliographiques	

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Introduction

Les acridiens sont les hôtes les mieux connus des prairies et des clairières ; ils occupent une place très importante parmi les insectes nuisibles pour l'environnement (Uvarov, 1977 ; Beaumont et Cassier, 2001).

En effet, les ravages commis à la surface du globe par les acridiens migrants peuvent être comparés aux grands fléaux de l'humanité, aux inondations, aux tremblements de terre et aux épidémies. La plupart des régions du globe situées en bordure ou à proximité de zones steppiques ou désertiques sont périodiquement soumises aux invasions d'acridiens migrants (Launois-Luong et Lecoq, 1989) .

Il existe au moins 12 000 espèces d'acridiens, dont les principales susceptibles de revêtir une importance économique par l'ampleur des dégâts qu'elles peuvent occasionner aux cultures sont d'environ 500 espèces (Ould El Hadj, 1992).

Parmi les criquets ennemis des cultures sahéennes, le criquet migrant *Locusta migratoria* (Linné, 1758) constitue un ravageur majeur puisque ses invasions s'étendent à toutes les zones steppiques d'Europe, d'Asie ainsi que les régions tropicales de l'Afrique, et à Madagascar (Balachowsky et Mesnil, 1936). C'est une espèce graminivore en phase solitaire, mais un redoutable ravageur en période d'invasion car son régime devient polyphage. De très nombreuses plantes sont alors susceptibles d'être attaquées, qu'elles soient ligneuses comme le bananier, le palmier dattier (Kabassina, 1990), ou herbacées, comme le mil, le maïs, le blé et le sorgho (Duranton *et al.*, 1982; Launois-Luong et Lecoq, 1989), accroissant ainsi le risque d'érosion sociale et de pauvreté (Zakaria et Sagnia, 2003).

Face à ce fléau acridien, au cours des grandes invasions, la lutte chimique a largement contribué à éviter le pire par l'utilisation de tout un arsenal d'insecticides. Les principaux pesticides utilisés sont : le fénitrothion, le bendiocarbe, le deltaméthrine, la dieldrine, le triflumuron et le teflubenzuron...). Cependant cette lutte a alourdi le bilan environnemental par l'intoxication de l'homme et de bétail, la raréfaction et la destruction de la faune utile et les insectes auxiliaires (Launois-Luong *et al.*, 1988).

Pour cela, l'intérêt des chercheurs scientifiques se tourne vers la lutte biologique, qui consiste à détruire les insectes nuisibles par l'utilisation de leurs ennemis naturels appartenant soit au règne animal, soit au règne végétal (Greathed *et al.*, 1994). La lutte biologique, précisément par

INTRODUCTION

utilisation de micro-organismes entomopathogènes est une alternative très prometteuse pour assurer une protection phytosanitaire performante.

Parmi les bactéries entomopathogènes, se sont surtout les espèces du genre *Bacillus* qui sont les plus utilisées en lutte contre les ravageurs et qui offrent des perspectives encourageantes.

Dans le but de déterminer l'effet des bactéries entomopathogènes sur les acridiens, plusieurs travaux ont été fait, citons ceux de Lazare *et al* (1996) ; Greathed *et al* (1994) ; Tail (1998) ; Allal- Benfkhih ,2006 ; Mohand-kaci ,2012...

Dans la quête de nouvelles techniques pour exploiter les toxines des bactéries entomopathogènes contre le criquet migrateur *L.m*, il nous a paru intéressant de mettre en évidence la toxicité des deux souches bactériennes (*Bacillus subtilis et Bacillus thuringiensis*) sur les larves L5 de *L.m*. Par la suite, nous avons testé leur influence sur la physiologie de la nutrition et la physiologie de la reproduction des individus survivants.

Pour cela, notre travail consiste dans un premier temps à présenter des données bibliographiques sur le matériel biologique utilisé. Ensuite, nous aborderons le matériel et la méthodologie du travail. Enfin, nous clôturons notre travail par l'interprétation, l'analyse statistique et la discussion des résultats trouvés.

CHAPITRE I

GENERALITES

I. Le criquet migrateur *Locusta migratoria*

1. Position Systématique

Le genre *Locusta* ne contient qu'une espèce polymorphe *L. migratoria* (Linnaeus, 1758) (Allal-Benfkhih ,2006). Ce criquet migrateur est un Orthoptère Caelifère qui fait partie de la famille des *Acrididae* et de la sous-famille des *Oedipodinae* (Chopard, 1943).

2. Description morphologique

2.1. L'oothèque

L'oothèque est longue de 60 à 75 mm, contenant 55 à 115 œufs (Launois-Luong et Lecoq, 1993). Ces derniers sont sous forme allongée, un peu incurvés, à chorion blanchâtre, d'une taille qui varie de 5.5 à 7mm (Grassé, 1949). La masse ovigère est surmontée d'un long bouchon de matière spumeuse (fig.1) (Lecoq, 1991).

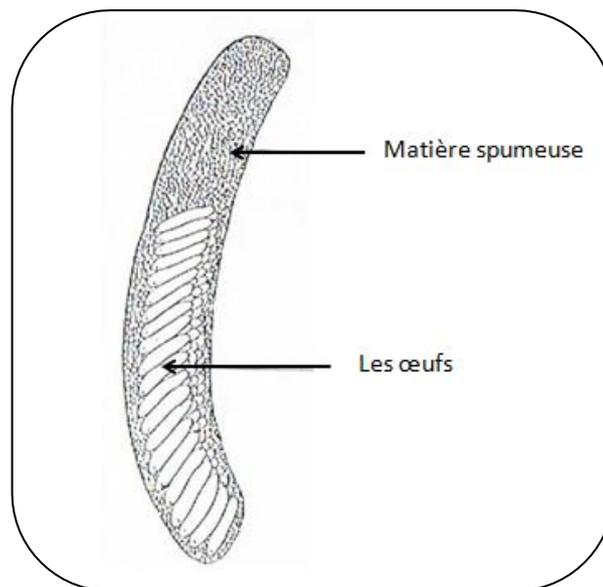


Figure 1. Oothèque de *locusta migratoria*

2.2. La larve

Selon Masson (1989), les larves grégaires de *Locusta migratoria* sont de couleur grise au début de développement qui devient foncé par la suite, orange et même noir en fin de développement larvaire. Alors qu'au sein des populations solitaires, les formes larvaires possèdent une teinte verte pâle (Doumandji et Doumandji-Mitich, 1994), ou brune (Duranton *et al.* , 1982).

2.3. L'adulte

Ce grand oedipodien passe par deux phases alternatives : une phase solitaire sédentaire et une phase grégaire migratrice (Robert, 1972). Sous sa forme solitaire cet acridien mesure 29 à 46mm chez le mâle et 37 à 60mm chez la femelle, tandis que sous sa forme grégaire, il mesure 40 à 50mm chez le mâle et 46 à 56mm chez la femelle (fig. 2 et 3) (Balachowsky et Mesnil, 1936). La coloration générale des imagos solitaires est verte ou brune, plus ou moins claire ou foncée et plus ou moins mouchetée de brun foncé ou noirâtre, en particulier sur le pronotum mais les imagos grégaires ont une teinte unique ; jaune plus ou moins orange, maculé. *Locusta migratoria* présente une tête arrondie, le sommet du vertex est large, convexe, les favéoles temporales sont petites et triangulaires, les antennes sont filiformes un peu plus longues que la tête (Bonnemaison, 1961).

Dans la description morphologique du genre *Locusta* de Chopard (1943), Dirsh et Descamps (1968) et Harz (1975) nous retrouverons que l'oviscapte des femelle est court, robuste, à valve courbées, les valves inférieurs à saillie basale externe. Selon Beaumont et Cassier (2009), l'appareil génital mâle est subdivisé en une partie proximale appelé plaque sus-anale et une partie distale appelé plaque sous-génitale.



Figure 2. Adulte femelle de *L.m.cinerascens* en phase grégaire (Original)



Figure 3. Adulte mâle de *L.m.cinerascens* en phase grégaire (Original)

3. Le cycle biologique

Le criquet migrateur est une espèce à reproduction continue durant toute l'année sans arrêt de développement à aucun stade (Lecoq, 1991). Le cycle biologique de ce ravageur comprend trois états successifs : l'état embryonnaire, l'état larvaire et l'état imaginaire (Appert et Deuse, 1982). Pour Launois-Luong et Lecoq (1989), le criquet migrateur africain peut avoir 4 à 5 générations par an sous sa phase solitaire et 3 dans sa phase grégaire.

3.1. La ponte

Au moment de la ponte, la femelle enfonce son oviscapte profondément dans la terre (Balachowsky et Mesnil, 1936) (fig.4) (Outtar, 2009). Les œufs sont déposés sur la couche humide du sol entre cinq à quinze cm de profondeur (Popov *et al.*, 1990). Une fois qu'elle a déposé ses œufs, la reproductrice redresse son abdomen puis remplit le trou en y grattant de la terre et tasse bien la surface (Steedman, 1988).



Figure 4. La ponte chez la femelle de *L.m.cinerascens*

3.2. Le développement embryonnaire

Les œufs des criquets évoluent en un temps très variable mais en rapport direct avec les conditions extérieures, la température en particulier (Chopard, 1932). Chez *Locusta migratoria*, l'embryogenèse dure 18 jours à 27°C et 10 jours à 33°C (Duantan *et al.*, 1982), mais elle peut durer plus d'un mois en particulier en saison fraîche (Lecoq, 1991).

3.3. Éclosion et développement larvaire

En saison chaude, le développement larvaire passe normalement par 5 stades et dure environ 3 semaines (Launois-Luong et Lecoq, 1989). Les 3 premiers stades larvaires se ressemblent avec bien sur une augmentation de taille (fig.5) (Bellmann et Luquet, 1995), (fig.6)(Outtar, 2009) et (fig.7).

Les larves de 4^{ème} et 5^{ème} stade se distinguent par leur taille et la grandeur de leur ébauches alaires qui sont dirigées vers le haut (fig.8) (Outtar, 2009) et (fig .9) et qui restent différentes de celles des 3 premiers stades qui sont dirigées vers le bas (Bellmann et Luquet, 1995).



Figure 5. Larve L1 de *locusta migratoria* lors de l'éclosion



Figure 6. Larve L2 de *locusta migratoria*



Figure 7. Larve L3 de *locusta migratoria* (Original)



Figure 8. Larve L4 de *locusta migratoria*

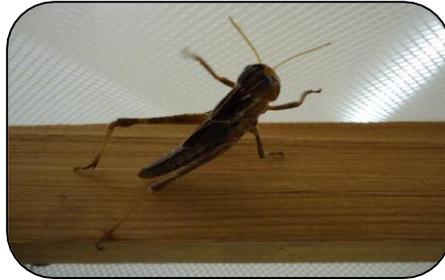


Figure 9. Larve L5 de *locusta migratoria* (Original)

3.4. Développement imaginal et maturation sexuelle

La larve du 5^{ème} stade subit une mue imaginale qui donne naissance à l'adulte (fig.10) (**Outtar, 2009**) et (fig.11) (De Gregorio, 1996). Ce jeune imago possède des téguments mous qui durcissent progressivement en une dizaine de jours au maximum. Après cette étape, le jeune imago se consacre surtout à la recherche d'un biotope favorable à l'alimentation. (Duranton et Lecoq, 1990).



Figure 10. La mue imaginale chez *locusta migratoria*



Figure 11. Imago mâle immature de *locusta migratoria cinerascens* (Original)

3.5. L'Accouplement

Les individus de cette espèce peuvent s'accoupler 4 jours après la mue imaginale (Steedman, 1988). Pour s'accoupler, la mâle grimpe sur la femelle, l'extrémité de son abdomen tordue sur le coté (Chopard, 1938), le spermatophore est introduit dans la spermathèque de la femelle (fig.12), le sperme se trouve transféré dans les organes femelles (Grassé, 1949).



Figure 12. L'accouplement chez *Locusta.m.cinerascens* (Original)

4. L'alimentation chez le criquet migrateur

Le criquet migrateur est un acridien géo-phytophile et graminivore, fréquentant les formations herbeuses denses et hautes (90-120cm) de type savane ou pseudo-steppe (Lecoq, 1991).

5. Eléments sur l'anatomie du tube digestif et de l'appareil génital femelle des acridiens

Dans notre travail nous nous sommes intéressés à l'étude de l'effet des deux souches bactériennes (*Bacillus subtilis* et *Bacillus thuringiensis*) sur la croissance et la reproduction du

criquet migrateur *locusta migratoria*. Ce sont donc surtout le tube digestif et l'appareil génital des femelles qui retiennent notre attention.

5.1. Le tube digestif

Le tube digestif du criquet migrateur comporte trois segments successifs ; le stomodeum, le mésentéron et le proctodeum (fig.13) (**Beaumont et Cassier, 2009**):

➤ **Le stomodeum**

Il s'étend de la bouche au métathorax et comprend la cavité buccale, le pharynx, l'œsophage et deux poches qui sont le jabot, où sont stockés les aliments (Beaumont et Cassier, 2009), et le gésier qui assure la trituration des aliments et régularise le transit de la nourriture vers l'intestin moyen (Chara, 1995)

➤ **Le mésentéron**

Il comprend six caecum gastriques (Chauvin, 1956), et va jusqu'au pylore qui le sépare de l'intestin moyen. Le mésentéron est la région où se font la digestion et l'absorption (Chara, 1995).

➤ **Le proctodeum**

Il commence à partir du pylore où s'insèrent les tubes de Malpighi qui forment l'appareil excréteur (Chara, 1995). D'avant en arrière, il se compose des trois régions suivantes : l'iléon, le colon et l'ampoule rectale (Doumandji et Doumandji-Mitiche, 1994).

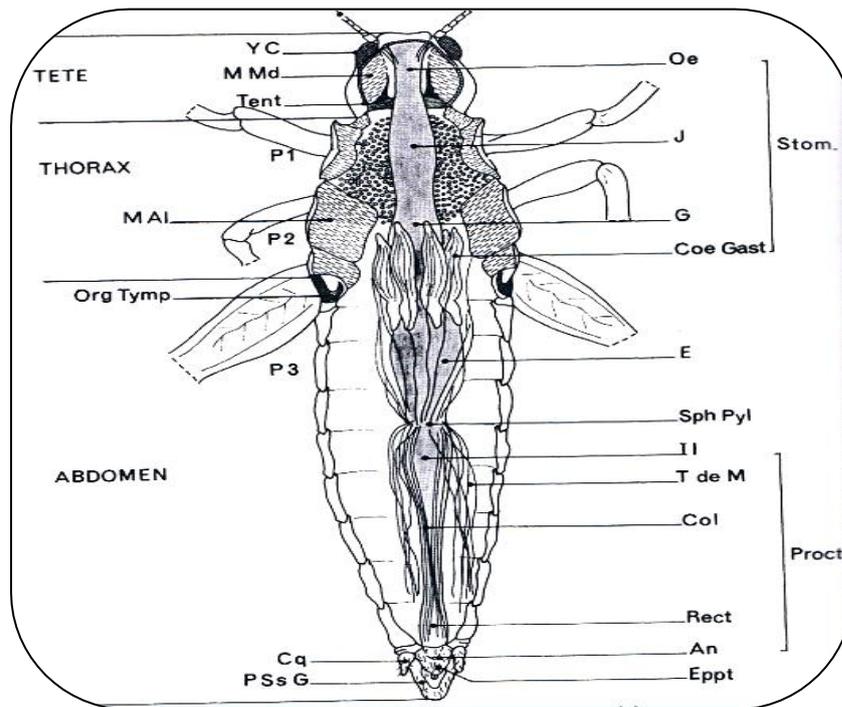


Figure 13. L'appareil digestif du criquet migrateur en vue dorsale

An : anus, Ant : antenne, Coe Gast : coecums gastriques, Col : colon, Cq : cerque, E : estomac, Eppt : épiprocte, G : gésier, Il : iléon, J : jabot, M.Al : muscles alaires, M.Md : muscles mandibulaires, Oe : œsophage, Org Tymp : organe thympanique, P1 : pattes prothoraciques, P2 : pattes mésothoraciques, P3 : pattes métathoraciques, Proct : proctodeum, P Ss G : plaque sous-génitale, Rect : rectum, Sph pyl : sphincter pylorique, Stom : stomodeum, T de M : tubes de Malpighi, Tent, tentorium, Y C : yeux composés.

5.2. L'appareil reproducteur femelle

➤ Rappel anatomique

L'appareil génital de la femelle d'un criquet se compose de deux ovaires comportant chacune un nombre variable d'ovarioles suivant l'espèce, l'origine des souches et l'état phasaire des individus. Les ovarioles s'ouvrent sur un canal appelé calice ; celui-ci est prolongé vers l'avant en une glande accessoire et vers l'arrière en un oviducte latéral. Les oviductes latéraux des deux ovaires se rejoignent pour former l'oviducte commun qui se termine par le vagin. Au dessus du vagin débouche le canal de la spermathèque qui accueille et recouvre les spermatozoïdes vivants après l'accouplement (Chara, 1995).

En partant du sommet vers la base de l'ovariole, on distingue d'après Duranton *et al.*, (1982) : Le germarium, Le prévitellarium puis le vitellarium (fig.14) (Beaumont et Cassier, 2009).

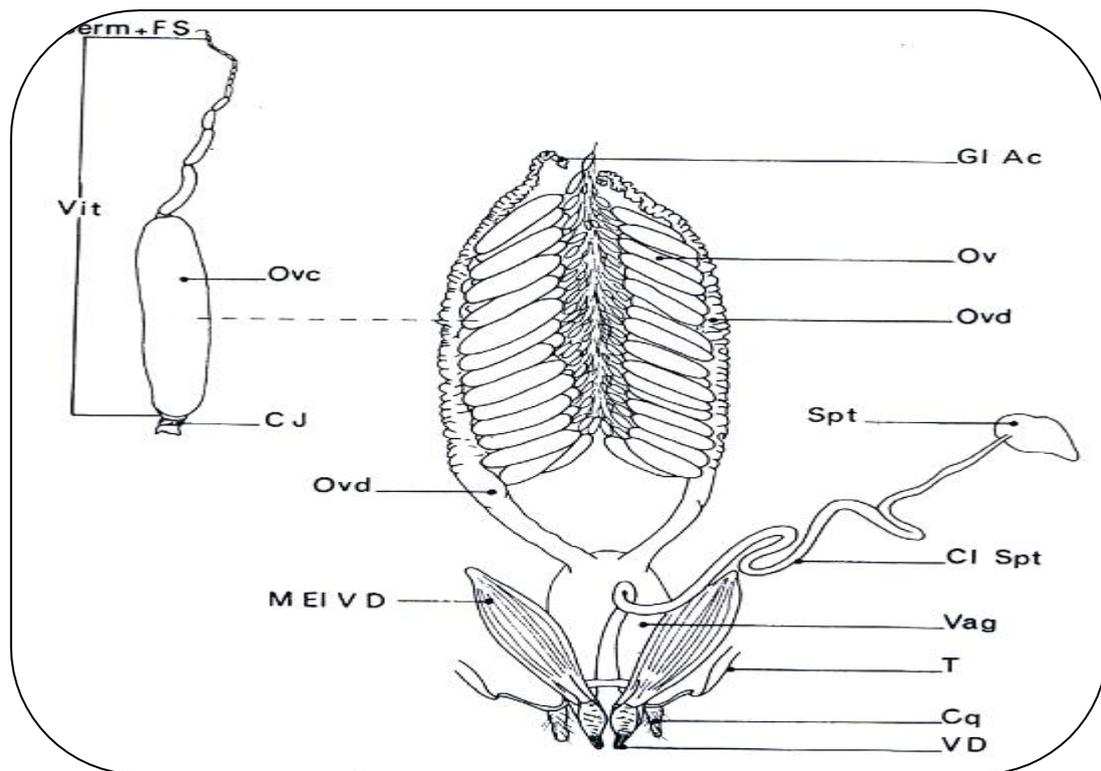


Figure 14. L'appareil génital femelle du criquet migrateur en vue dorsale

C J : corps jaune, Cl Spt : canal de la spermathèque, Cq : cerques, F S : filament suspenseur, Germ : germarium, GI Ac : glande accessoire, M E I V D : muscle élévateur des valves dorsales, Ov : ovaire, Ovc : ovocyte, Ovd : oviducte, Spt : spermathèque, T : tergite, Vag : vagin, V D : valves dorsales, Vit : vitellarium.

6. Le Polymorphisme phasaire

Une espèce *cealifère* grégariapte donnée peut se trouver dans la nature sous deux états extrêmes l'un appelés solitaire sédentaire et l'autre grégaire et migrateur (Doumandji et Doumandji-Mitiche, 1994). Zolotarevsky (1938) a mis en évidence deux phases intermédiaires transiens congrégans et transiens degregans. Le principal facteur déclenchant étant la densité ; le seuil critique est estimé à 2000 ailés/hectare (Appert et Deuse , 1982). En plus de l'effet de la densité, d'autres facteurs semblent intervenir dans l'expression du polymorphisme phasaire tels que la sécheresse prolongée, ou au contraire inondation (Dhouibi, 2002) ; Le polymorphisme phasaire s'exprime par des différences morphologiques, anatomiques, physiologiques, écologiques et comportementales

(Fescemyer, 1993) avec l'intervention de stimuli nerveux et de voies hormonales imparfaitement connus (Chapman et Joern , 1990).

7. Ecologie et distribution géographique de *Locusta.m*

➤ **Ecologie**

Le facteur hydrique est le facteur clé de l'écologie du criquet migrateur. Ce dernier est une espèce hygro-mésophile (Lecoq, 1991). Au plein cœur de la saison sèche, le criquet migrateur se dirige vers les plaines basses, où subsistent encore de larges étendues de végétation verte. Pendant la saison des pluies, au contraire, il occupera les parties élevées non soumises à l'inondation (Albrecht, 1967).

➤ **Distribution géographique**

L'aire de répartition des espèces migratrices est extrêmement vaste (Balachowsky et Mesnil, 1936). Ces sous espèces se rencontrent en Afrique au sud du Sahara, à Madagascar, dans la péninsule Arabique et Indo-Pakistanaise, une grande partie de l'Europe et sur le pourtour méditerranéen, en Asie et en Australie (Duranton *et al.*, 1982), elle ne manque donc guère qu'aux Amériques (Defaut *et al.*, 2012) (fig.15) (Uvarov 1977, Albrecht 1967, Fishelson 1985, Kang *et al.*, 1989, le site australien <http://www.affa.gov.au/index.cfm>, Grichanov et Saulich 2003, in Allal-Benfekhih 2006).. Mais sur ce vaste territoire elle est représentée par plusieurs races géographiques ; leurs nombre varie beaucoup avec les auteurs ; Farrow et Colless (1980) n'en admettent que trois, C.O.P.R. (1982) et Louveaux et Gillon(1986) neuf, et le CIRAD (2006) au moins une douzaine.

Chacune des sous-espèces de *L.m* possède des particularités bioécologiques, on distingue : La sous-espèce *burmana* (en Chine d'Ouest et Burmanie) ; la sous-espèce *capito* (à Madagascar et les îles adjacentes) ; la sous-espèce *cinerascens* (à la région méditerranéenne) ; la sous-espèce *manilensis*(dans la région pacifique, l'Asie du Sud et dans le Sud et l'Est de la Chine) ; la sous-espèce *migratoria* (dans la partie orientale de l'Europe et l'Asie) ; la sous-espèce *migratoroides* (en Afrique du sud et tropicale) (Mohand-kaci ,2012).

- Notons que la sous-espèce *gallica* est incluse dans la sous espèce *migratoria* selon OSF2 mais considérée comme indépendante dans Defaut (2005) in Allal- Benfkhah (2006). Il en est de même pour la sous espèce *australias*, considérée comme valable par Chapuis *et al.*, (2005) in Allal-Benfkhah (2006).

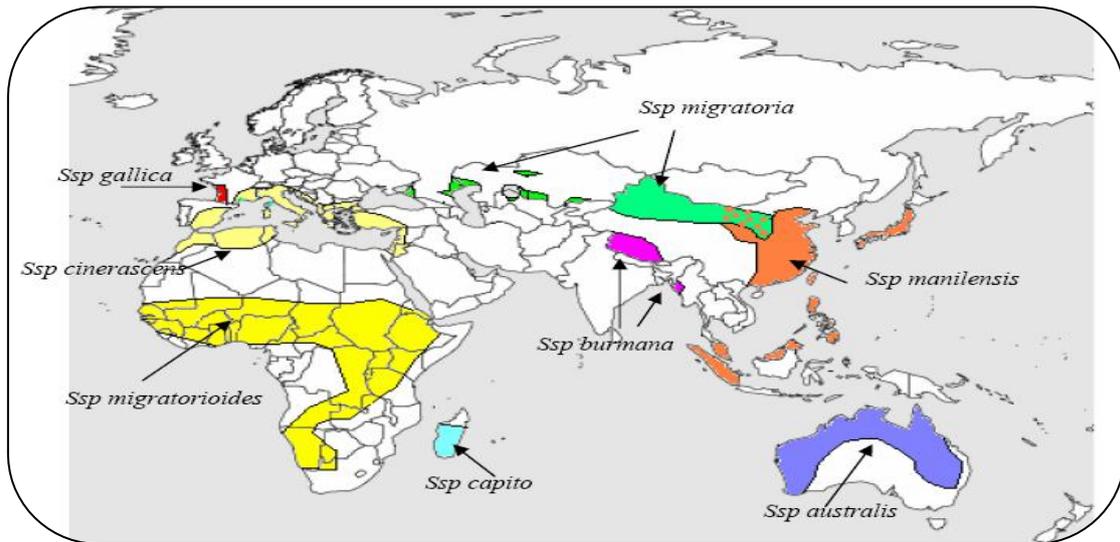


Figure 15. Aire de répartition de *locusta migratoria*

8. Dégâts et cycles d'invasions

➤ Dégâts

De très nombreuses plantes sont susceptibles d'être attaquées par le criquet migrateur, qu'elles soient ligneuses comme le bananier, le palmier dattier (Kabassina, 1990), ou herbacées, comme le mil, le maïs, le blé et le sorgho (Duranton *et al.*, 1982; Launois-Luong et Lecoq, 1989). Selon les estimations des spécialistes, en 1974, 368000 tonnes de céréales dans le Sahel auraient été perdues du fait des sautereaux (Abou Thiam, 1991).

➤ Cycles d'invasions

Les cycles d'invasions du criquet migrateur sont peu fréquents, surtout sur le continent africain. Une invasion se caractérise par :

- La durée souvent très longue des périodes de rémission qui séparent deux fléaux successifs ;
- La rapidité de formation, de migration et de dissémination des essaims ;
- La brièveté de la période où la lutte préventive est réellement efficace et économique (Lecoq, 1991).

9. La lutte antiacridienne

9.1. La lutte préventive

La lutte préventive comporte trois étapes essentielles :

- la surveillance des conditions écologiques dans les aires potentielles de reproduction et de grégarisation.
- l'organisation de prospections aériennes et terrestre dans les aires devenues potentiellement favorables à la suite de précipitations abondantes.
- la lutte contre toutes les populations des acridiens dépassant un certain seuil de nuisibilité (Duranton et Lecoq, 1990).

9.2. La lutte mécanique

D'après Dobson (2001), les méthodes de lutte mécanique consistent à creuser des tranchées pour que les larves y tombent ou à les balayer avec des branchages. Il arrive qu'on bêche ou laboure les champs de ponte.

9.3. La lutte écologique

Elle consiste à rompre la synchronisation entre le cycle biologique de l'acridien et son environnement ou de rendre le milieu moins favorable au ravageur. Les moyens utilisés sont par exemple :

- L'inondation temporaire de certains sites de reproduction,
- Le labourage de sols indurés,
- La suppression des jachères (Duranton *et al.*, 1987).

9.4. La lutte chimique

Le but initial de la lutte chimique est de supprimer, d'exterminer le ravageur, la mauvaise herbe, le pathogène, le parasite (Philogene, 1991).

Selon (Launois -Luong *et al.*, 1988 ; Rachadi, 1991 in Mohand-kaci ,2012) les principaux pesticides utilisés dans la lutte antiacridienne sont :

- les organophosphorés (fénitrothion, parathion méthyl, diazinon, ect).
- les carbamates (bendiocarbe).
- les pyréthrinoides (deltamethrine, lambda-cyhalothrine) qui ont une action létale significative atteinte dans les vingt quatre heures qui suivent l'application.
- la dieldrine capable de tuer les larves plusieurs semaines après l'application.

- les régulateurs de croissance (diflubenzuron, le triflumuron, le teflubenzuron) qui agissent sur le mécanisme hormonal ou de synthèse de la cuticule et les larves meurent au moment de la mue.

9.5. La lutte biologique

La lutte biologique est une alternative pour assurer une meilleure protection de la santé et de l'environnement (Thiam *et al.*, 2004). Elle consiste à employer des parasites, prédateurs, organismes pathogènes (Ali Moumen, 1995), des méthodes génétiques et des plantes acridifuges ou acridicides (Lomer et Prior, 1992). Le pathogène se multiplie dans l'hôte en lui causant des dommages par destruction des tissus, par septicémie ou toxémie entraînant sa mort plus ou moins immédiate. Tous les micro-organismes pathogènes possèdent des formes de résistance leur permettant de persister dans l'environnement et de perpétuer leur cycle de vie (Jourdeuil *et al.*, 1992). Cependant, les micro-organismes ont des spectres d'action assez étroits à cause de certains facteurs abiotiques qui peuvent être limitant pour leur développement optimal (Mathias, 2001).

❖ Les champignons entomopathogènes

Les espèces des genres *Beauveria*, *Metharizium*, *Verticillium*, *Erynia*, *Hirsutella*, *Entomophthora* et *Entomophaga* sont les plus utilisées en lutte biologique (Wraight et Roberts, 1987). Les champignons peuvent tuer très rapidement en l'espace de quelques heures, ou plus lentement par épuisement de l'hôte (Luong-Skormand *et al.*, 1999).

❖ Les virus

Parmi les sept familles des virus, ce sont les *Baculoviridae*, les *Reoviridae* (Miller *et al.*, 1983) et le virus entomopox (*poxviridae*) qui sont les plus utilisés en lutte biologique (Payne, 1982). Il est rapporté par Meynadier *et al.*, (1992) que dans certains cas, les virus liquéfient les corps gras entraînant une turgescence de l'insecte suivi de sa mort.

❖ Les protozoaires

Parmi les protozoaires, *Nosema locustae* est surtout connu pour réduire la fécondité et la longévité des acridiens (Launois-luong *et al.*, 1994). Selon Greathed *et al.*, (1994), *Nosema acridophagus* et *N. cuneatum* semblent avoir un effet plus néfaste sur leurs hôtes que *N. locustae* car ils sont capables de les tuer.

Parmi les Amoebidae, *Melameba locustae* semble celui de tous les protozoaires amiboïdes entomophiles qui présente le plus d'intérêt en lutte microbiologique (Mclaughlin, 1971).

❖ Les prédateurs

La classe des insectes comprend un grand nombre de prédateurs parmi les Mantoptera, les Orthoptera, les Coleoptera, les Hymenoptera et les Diptera. On rencontre parmi les prédateurs vertébrés des criquets, les batraciens, les reptiles, les mammifères et les oiseaux (Doumandji et Doumandji-mitiche, 1994).

❖ Les parasites

Parmi les parasitoïdes d'œufs d'acridiens, les hyménoptères scélionides sont les seuls connus. Les parasites des larves et des imagos d'acridiens sont surtout des nématodes (Greathead *et al.*, 1994).

❖ Les végétaux

Les insecticides végétaux sont avérés efficaces contre les insectes, non toxiques sur les vertébrés, se dégradent complètement dans le sol (Idrissi *et al.*, 2002). Les extraits provenant de deux méliacées, *Azadirachta indica* et *Melia volkensii* présentent des propriétés antiacridiennes intéressantes. Des extraits de fruits, de feuillages ou d'écorce protègent efficacement les cultures des attaques d'acridiens (Diop et Wilps, 1997 ; Rembold, 1997).

❖ Les phéromones

Ferenz *et al.*, et Rosa Paiva (1994,1997) pensent que par l'application de phéromones, on espère empêcher les criquets de se reproduire en masse et de pulluler.

❖ Les bactéries entomopathogènes

Plus d'une centaine de bactéries ont été identifiées comme ayant un potentiel d'utilisation en lutte biologique (Starnes *et al.*, 1993). Les espèces entomopathogènes appartiennent surtout à trois grandes familles qui sont les Bacillaceae (*Bacillus*), Enterobacteriaceae (*Serratia et Xenorhabdus*) et Pseudomonaceae (*Pseudomonas*) (Greathead *et al.*, 1994). Parmi

les bactéries, seul le genre *Bacillus* fait l'objet d'une utilisation pour combattre les insectes (Lereclus et Chaufaux, 1986). Ce genre regroupe un grand nombre d'espèces très répandues dans la nature, la majorité se développe mieux à 30°C jusqu'à 37°C (Brossard et Terry, 1984). Selon Larpent et Gourgaud

(1997), le genre *Bacillus* produit une gamme assez variée de molécules qui peuvent être groupées en trois classes ; les antibiotiques, les enzymes et les toxines. L'utilisation répétée des bactéries peut toutefois, comme les pesticides chimiques, entraîner une résistance chez certaines espèces (Dunphy et Tibelius, 1992).

II. Données bibliographiques sur le *Bacillus subtilis* et le *Bacillus thuringiensis*

1. *Bacillus subtilis*

Bacillus subtilis fait partie du groupe I de la famille des Bacillaceae, caractérisées par des spores ovales non déformantes, à paroi mince centrale ou terminale formant des colonies de formes irrégulières, de diamètre compris entre 0,2 et 4 mm et de consistance crémeuse. De nombreuses souches de *B. subtilis* sont utilisées dans les industries pour la production d'enzymes (amylases, protéases et cellulases). En outre, *B. subtilis* est connu pour ses propriétés antifongiques et donc utilisé dans le contrôle biologique d'un grand nombre de maladies de plantes et d'animaux (Chaurasia *et al.*, 2005 in Allal- Benfkhih, 2006). Ce bacille peut produire des antibiotiques spécifiques, comme la difficidine et l'oxydifficidine (Zimmerman *et al.*, 1987), mais aussi des antibiotiques plus communs, comme la bacitracine, la bacilline et la bacillomycine B (Parry *et al.*, 1983). L'activité insecticide du *B.s* a été décrite sur des larves d'*Anopheles culicifacies*, vecteur de la malaria en Inde et sur *Drosophila melanogaster* (Gupta et Vyas, 1989 ; Lazare *et al.*, 1996).

2. *Bacillus thuringiensis*

Bacillus thuringiensis est une bactérie abondante dans la nature, biodégradable et présente une action létale rapide sur les ravageurs ciblés (Moscardi, 1999). L'utilisation en agriculture de cette bactérie comme insecticide microbien apporta un nouveau départ à la lutte biologique des insectes (Dedet, 2007). Cependant, son activité insecticide contre les locustes a été rarement reporté (Lingli, 2008). La pathogénécité de cette espèce était due à une toxine présente dans la forme sporulée du bacille (Dedet, 2007). Des souches de *B.t* ont été trouvées avec δ -entotoxine qui est actif contre un grand nombre d'insectes nuisibles et certains d'autres organismes c-à-d Lépidoptère, Homoptère, nématode, protozoaire, mites, mallophages, hyménoptères, diptères, coléoptères (Tailor *et al.*, 1992;

Feitelson, 1993; Li *et al.*, 1996; Bravo, 1997; Higuchi *et al.*, 1998; Ellis *et al.*, 2002) *B.t* peut également synthétiser d'autres toxines, dont la β -exotoxine (Burgerjon, 1965; Heimpel, 1967; Heimpel et Angus, 1963) et γ -exotoxines (Heimpel, 1967; Heimpel et Angus, 1963). Cette dernière diffère grandement de la δ -exotoxine est de nature nucléotidique extracellulaire, thermostable et soluble dans l'eau (Faust et Bulla, 1982). Les exotoxines sont connues pour être particulièrement toxiques contre les espèces Diptères (Sebesta *et al.*, 1981). Il a été démontré que les formulations de *B.t* sont sans danger pour l'environnement ainsi que pour l'homme. En outre, le coût de développement de ces formulations de *B.t* est largement inférieur à celui des pesticides chimiques conventionnels (Lambert et Peferoen, 1992). A elle seule, *B.t* accapare aujourd'hui plus de 80% du marché mondial des agents microbiens de lutte contre les ravageurs de l'agriculture (Glare et M.O'Callaghan, 2000). Récemment, le gène de cette toxine a été introduit dans un certain nombre de plantes cultivées, de sorte qu'elle devient elle-même toxique pour les insectes ravageurs qui les agressent (Dedet, 2007).

CHAPITRE II

METHODOLOGIE

I. Matériels biologique

1. Origine de l'insecte

Afin de voir l'effet des deux souches bactériennes (*Bacillus subtilis* et *Bacillus thuringiensis*) sur la croissance et la reproduction du criquet migrateur *L.m.*, nous avons effectué nos travaux sur les larves du cinquième stade larvaire et les imagos issus d'un élevage de masse réalisé au laboratoire du département de science de la nature et de la vie de l'université Mohamed Khider (Biskra).

1.1. L'élevage de *Locusta migratoria*

Les individus sur les quels notre étude est porté sont issus de pontes de 4 couples d'adultes récoltés le 02/03/2013 de la zone de Biskra. L'élevage de ces individus est réalisé dans des cages parallépipédiques en bois, constitué en avant d'un tulle pour faciliter l'entrée de l'air à l'intérieur, ainsi d'une petite fenêtre à la face latérale droite et une autre en haut permettant les diverses manipulations. Dès l'observation des premiers accouplements, des bocal remplis de sable humidifié et stérilisé sont introduits dans la cage. Ces bocaux sont destinés à être récipients de ponte, donc le sable est maintenu humide sans que l'eau coule toutefois. La température de l'air est contrôlée grâce à un thermomètre. Les individus sont élevés à une température de $30 \pm 2^\circ\text{C}$ et une photopériode continue grâce à l'utilisation d'une ampoule de 60 watts. Cette dernière est déposée près des pondoirs pour obtenir un sable tiède qui stimule la ponte. Une résistance électrique est placée en temps froid pour maintenir une température donnée. Quant à l'alimentation, elle est à la base du gazon. Les pondoirs contenant les oothèques sont recouverts d'une toile moustiquaire pour éviter que les jeunes tous juste éclos de sauter et se noyer, puis sont mis en incubation dans des cages plus petits. Les larves nouvellement muée sont retirées aussitôt que possible et mises dans des cages d'élevage. Les conditions d'élevage de tous les stades larvaire et les imagos sont les même que pour les adultes. Le renouvellement de la nourriture, la récupération des pontes ainsi que le nettoyage des cages se fait quotidiennement (figure 16).



Figure 16. Matériel d'élevage de *Locusta migratoria cinerascens* (Original)

2. Les souches bactériennes

Il s'agit de la souche VIII₃ de *Bacillus Subtilis* fournies à l'état lyophilisé par le laboratoire de zoologie générale et appliquée de la faculté universitaire des sciences agronomique de Gembloux (Belgique), et le DiPel à base de *Bacillus thuringiensis kurstaki* fournis à l'état lyophilisé par le C.R.S.T.R.A (Biskra).

2.1. Préparation des suspensions bactériennes

Les deux souches de *Bacillus* qui ont été testé sont sous forme de spores lyophilisée, elles sont mises directement dans de l'eau physiologique. Puisque les concentrations voulues sont faibles, nous avons mis 0.75g de *B.t* et 1mg de *B.s* séparément dans un tube contenant 10ml d'eau physiologique stérile, puis le tube est fermé hermétiquement et mis en agitation.

II. Méthodes

1. Objectifs de l'étude

Ce travail a pour but d'étudier l'influence de faibles doses des deux souches bactériennes (*B.t* et *B.s*) sur la croissance et la reproduction du criquet migrateur *Locusta.m*; c'est-à-dire ya-il un effet perturbateur de la physiologie de croissance et de reproduction ou bien l'insecte est capable d'accomplir un développement réussi en survivant à l'effet des bactéries ; pour cela, nous avons suivi le plan suivant :

Premièrement, nous avons essayé de voir l'effet des deux souches bactériennes (*B.t* et *B.s*) sur la croissance et le développement des larves L5 de *L.m* en considérant les paramètres suivant : croissance pondérale individuelle des larves de cinquième stade, mortalité larvaire, durée de développement larvaire et le gain du poids.

Ensuite, nous nous sommes intéressés de mettre en évidence l'impact des deux souches bactériennes (*B.s* et *B.t*) sur la consommation, l'assimilation, la digestibilité de la nourriture et l'utilisation de cette dernière en matière corporelle par les larves L5. Cette étude est réalisée en établissant les indices nutritionnels suivants : l'indice de consommation (I.C), l'efficacité de conversion de la nourriture ingérée (E.C.I), l'efficacité de conversion de la nourriture digérée (E.C.D), le coefficient d'utilisation digestif (C.U.D) et l'indice de croissance (I.Cr)

La dernière étape de notre étude consiste à révéler l'influence des deux souches bactériennes (*B.t* et *B.s*) sur la reproduction des adultes de *L.m*. Elle comprend les paramètres suivants : le délai de la première ponte, le rythme de la ponte, le nombre d'oothèques, le nombre d'œufs par oothèque et la fertilité.

2. Etude de l'effet des deux souches bactériennes sur la croissance et l'activité alimentaire des larves L5 de *Locusta migratoria*

2.1. Mode d'application des traitements biologiques

Dans notre étude le mode de traitement réalisé est le traitement par ingestion; où les insectes sont nourris avec du gazon pulvérisé avec les solutions bactériennes du *B.s* et du *B.t* séparément, avec le témoin qui est l'eau dans les deux cas. Nos essais se déroulent aussi bien sur les larves L5 de *Locusta.m*.

Le choix de stade est porté sur les larves du 5^{ème} stade pour mettre en évidence l'action des souches bactériennes (*B.t* et *B.s*) sur la mue.

Les larves L5 sont immédiatement isolées dès leurs émergences et mises individuellement dans des boîtes pourvues de perchoirs pour permettre aux larves de muer. Ces bocaux sont maintenus dans les mêmes conditions de température et d'humidité que l'élevage en masse. Les larves sont mises à jeuner pendant 24h avant le traitement afin de leur permettre de vider leurs tubes digestifs et de les affamer, puis alimentées chacune des larves avec une quantité de 3g du gazon pulvérisé une fois le premier jour de l'expérience avec du *B.s* ou du *B.t* séparément ou de l'eau pour les témoins. Après 24h, le reste du végétal non consommé est récupéré. Les larves sont mises à jeuner de nouveau chacune pendant 5h afin qu'elles vident entièrement leurs tubes digestifs. Les excréments mis par les larves et le reste de l'aliment sont emballés avec du papier aluminium portant les informations nécessaires, puis séchés à l'étuve réglé à 100°C pendant 24h pour obtenir le poids sec. Une quantité de 3g du gazon est aussi séché à l'étuve afin de déduire la quantité moyenne sèche du gazon donné aux larves. Le papier aluminium est ensuite placé dans un dessiccateur pour éviter leur humidification. Les pesées sont effectuées à l'aide d'une balance de précision type 0.00000g. Le poids des larves est aussi révélé journalièrement (fig.17).

Le nombre des larves utilisées est fixé à 10 pour chaque produit, avec 3 répétitions dans tous les cas. Donc nous avons utilisé au total 90 larves. La durée de cette étude est fixée jusqu'à la mue imaginale, la malformation ou la mort.



Poids des larves L5

poids du gazon



Les larves sont alimentées avec du gazon



Le reste de l'aliment et les fèces récupérés sont séchés à l'étuve



L'aliment et les fèces séchés sont placés dans un dessiccateur



Poids des fèces



poids du gazon

Figure 17. Protocole expérimental pour l'étude de la croissance et l'activité alimentaire des larves L5 de *Locusta migratoria* (Original)

2.2. Les paramètres biologiques étudiés

2.2.1. Croissance pondérale individuelle des larves L5

La prise du poids des larves L5 a été effectuée quotidiennement à l'aide d'une balance de précision, et cela pour calculer la moyenne pondérale quotidienne et le gain du poids de ces larves.

2.2.2. Pourcentage de mortalité larvaire

Le pourcentage de mortalité observé chez les larves L5 est estimé en appliquant la formule suivante :

$$(\text{Nombre de morts} / \text{Nombre total des individus}) * 100$$

2.2.3. La durée du développement larvaire

La durée moyenne du développement larvaire des larves L5 traitées et des larves témoins est calculée à partir du jour où on a commencé l'expérience jusqu'au jour de la mue imaginale.

2.2.4. Le gain du poids

Le gain du poids est la différence entre le poids de la larve L5 au premier jour et son poids au dernier jour ; il correspond au poids pris par la larve.

2.2.5. L'activité alimentaire

Afin d'évaluer les indices nutritionnels nous avons calculé les paramètres suivants : l'ingéra ; qui est exprimé par la différence entre le poids sec de l'aliment donné aux larves chaque jour et celui de l'aliment récupéré après 24, et l'egesta ; qui est le poids sec de l'excrément mis par les larves dans les boîtes et récupéré après 29h.

Les indices nutritionnels sur lesquels notre étude est menée sont :

➤ l'indice de consommation (I.C)

Il s'exprime par le rapport entre le poids de la nourriture ingérée et celui de l'animal au cours de 24h. La formule adoptée est donnée par Waldbauer (1964), cité par Tira (1975), cité par Acheuk (2000) in Outtar (2009).

$$\text{I.C.} = \frac{\text{Poids de la nourriture ingérée}}{\text{Poids moyen de l'animal}}$$

➤ **pourcentage d'efficacité de conversion de la nourriture ingérée (E.C.I. %)**

Elle est définie par le rapport entre l'accroissement du poids de l'animal en une période donnée, et le poids de la nourriture ingérée au cours de même laps de temps. Ce rapport est multiplié par 100 Tira (1975), cité par Acheuk (2000) in Outtar (2009).

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

➤ **pourcentage d'efficacité de conversion de la nourriture digérée (E.C.D. %)**

Cet indice est appelé également indice d'assimilation de la nourriture digérée. Il est défini par le rapport entre l'accroissement du poids de l'animal et le poids de la nourriture retenu au cours de la digestion en un temps donné. Ce rapport est multiplié par 100 Tira (1975), cité par Acheuk (2000) in Outtar (2009).

$$\text{E.C.D.} = \frac{\text{Gain du poids}}{\text{Ingéra - Egesta}} \times 100$$

➤ **pourcentage du coefficient d'utilisation digestif (C.U.D)**

Le coefficient d'utilisation digestive, appelé aussi coefficient approximatif de digestibilité est défini par le rapport de la différence les poids des ingéra et des egesta, sur le poids des ingéra. Ce rapport est multiplié par 100 Tira (1975), cité par Acheuk (2000) in Outtar (2009).

$$\text{C.U.D.} = \frac{\text{Ingéra - Egesta}}{\text{Ingéra}} \times 100$$

➤ **indice de croissance (I.Cr)**

L'indice de croissance ou croissance relative est exprimé par le rapport du gain du poids sur le poids moyen de l'animal Hamadoun et Strebler (1989), cité par Acheuk (2000) in Outtar (2009).

$$\text{I.Cr.} = \frac{\text{Gain du poids}}{\text{Poids moyen de l'animal}}$$

3. Etude de l'impact des deux souches bactériennes (*B.s* et *B.t*) sur la reproduction de *Locusta migratoria*

Afin de voir l'influence des deux souches bactériennes (*B.s* et *B.t*) sur la reproduction du criquet migrateur *L.m*, nous avons conduit notre étude sur les imagos qui viennent juste d'effectuer leur mue imaginale. La démarche consiste à mettre une femelle pour deux mâles, à raison de trois couples pour chaque souche bactérienne ainsi que pour les témoins. Chaque couple est mis dans une petite cage, puis il est alimenté avec du gazon pulvérisé une fois le premier jour de l'expérience avec du *B.s* ou du *B.t* séparément et de l'eau pour les témoins. Lorsque les premières tentatives d'accouplements sont observées, les pondoires remplis de sable stérilisé et humidifié sont placés à la base de chaque cage. Le nettoyage de la cage et le renouvellement de la nourriture se font quotidiennement (fig.18). Cette expérience se déroule dans les mêmes conditions de l'élevage en masse. Sa durée est fixée de 30 jours.

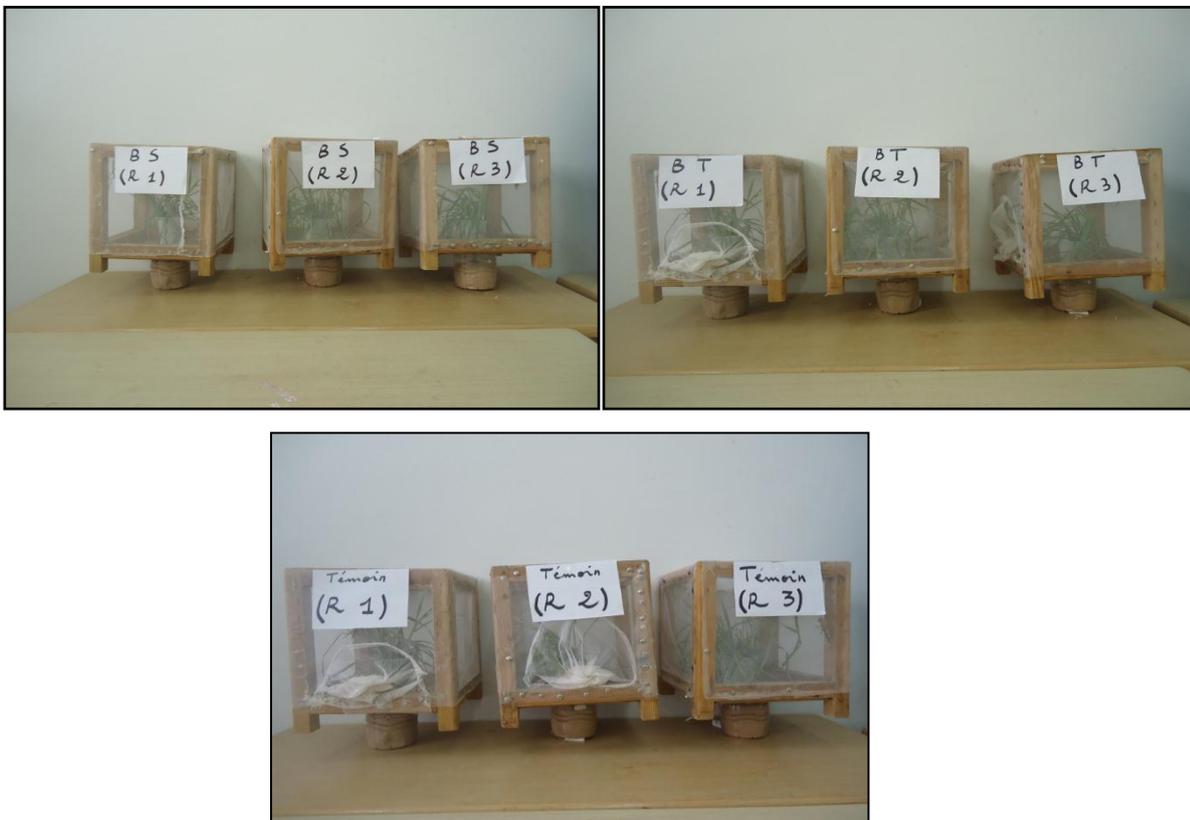


Figure 18. Matériel utilisé pour l'élevage des adultes de *L.m cinerascens* (Original).

3.1. Les paramètres biologiques étudiés

3.2.1. Le délai de la première ponte

Le délai de la première ponte correspond à l'intervalle de temps qui sépare la mue imaginale de la première ponte.

3.2.2. Le rythme de ponte

C'est le délai séparant deux pontes successives d'une même femelle.

3.2.3. Le nombre d'oothèques

Après avoir calculé le nombre d'oothèques cumulé pondus par chaque femelle, nous avons trouvé le nombre moyen d'oothèques par chaque produit.

3.2.4. Le nombre d'œufs par oothèque

La fécondité qui est le nombre d'œuf pondus par une reproductrice est définie à partir du nombre d'œuf par femelle. Le nombre d'œufs par oothèque est obtenu en additionnant le nombre d'œufs éclos et le nombre d'œufs non éclos.

3.2.5. Le taux de fertilité

Le taux de fertilité correspond au nombre total des œufs viables.

$$\text{Taux de fertilité} = (\text{Nombre des œufs viables} / \text{Nombre total des œufs}) * 100$$

III. Analyse statistique

L'analyse statistique de l'effet des deux souches bactériennes (*B.s* et *B.t*) sur la physiologie de la croissance et la physiologie de la reproduction de *Locusta migratoria* a été réalisée par comparaison des moyennes obtenues sur trois répétitions tout en s'appuyant sur le logiciel Systat 7. Afin de montrer s'il existe une différence significative entre les moyennes d'une variable des trois produits utilisés (*B.s*, *B.t*, eau) nous avons eu recours à l'ANOVA en utilisant le modèle GLM.

CHAPITRE III

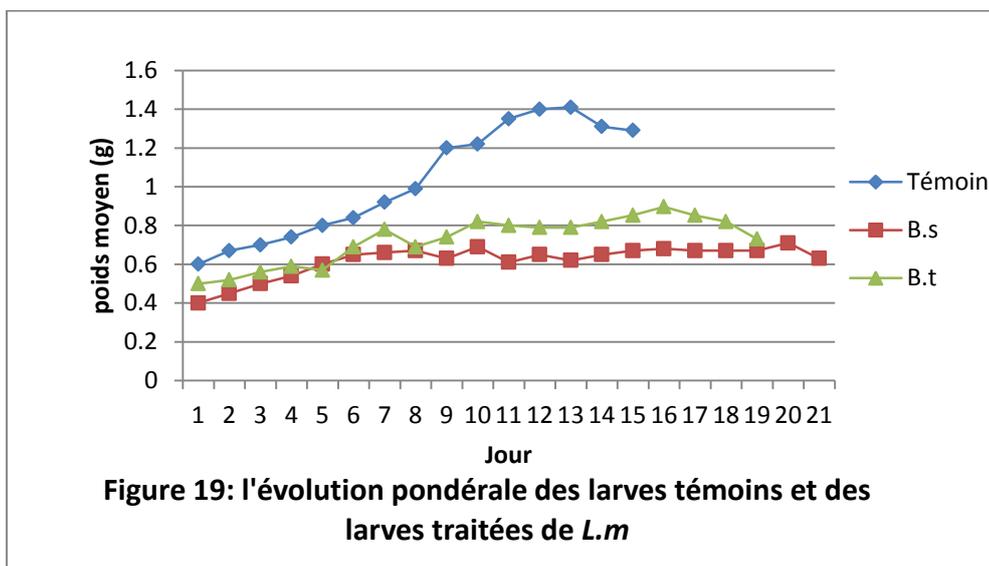
RESULTATS

I. L'effet des deux souches bactériennes sur la croissance et l'activité alimentaire des larves L5 de *Locusta migratoria*

1. Effet des deux souches bactériennes (*B.s*, *B.t*) sur la croissance des larves L5

1.1. Effet sur la croissance pondérale individuelle des larves L5

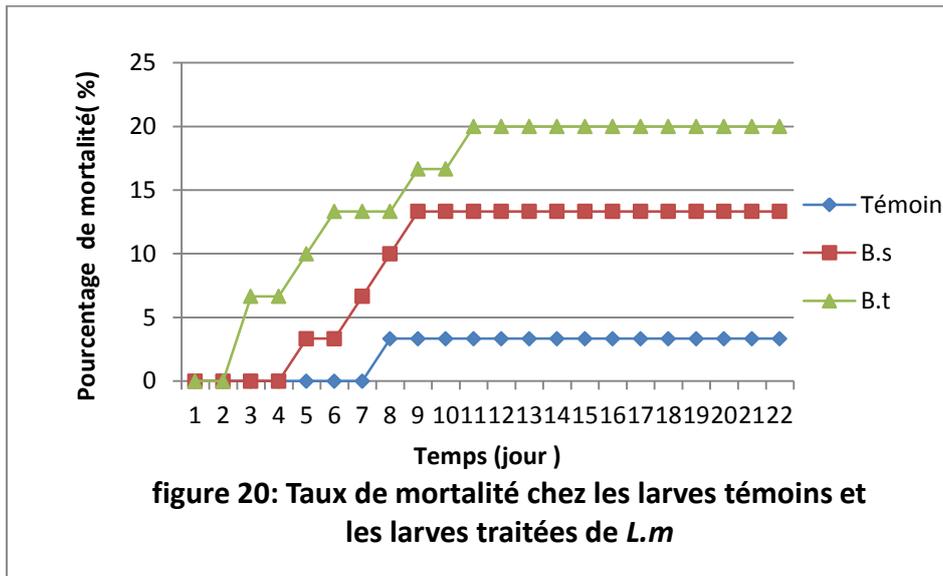
Les résultats relatifs aux variations du poids moyen journaliers des larves du cinquième stade de *Locusta.m* des lots traités et des lots témoins sont présentés sur la figure 19. Il apparaît d'après les résultats obtenus que la croissance pondérale augmente au fil du temps jusqu'à l'atteinte de la mue où elle diminue, mais la différence est bien distincte entre le poids moyen des larves L5 témoins et des larves L5 traitées. En effet, au début de l'expérience on a noté un poids moyen de 0.6g pour les larves témoins, ce dernier augmente progressivement avec le temps, ensuite il diminue avant et après la mue où il arrive à une valeur finale de l'ordre de 1.29g après l'exuviation. Quant aux larves traitées on a noté une augmentation moins importante surtout chez les larves traitées au *B.s*. On a aussi noté un poids moyen initial de 0,4g et 0,5g respectivement pour les larves traitées par ingestion au *B.s* et au *B.t* puis un poids final de l'ordre de 0,63g et 0,73g respectivement pour les larves traitées par ingestion au *B.s* et au *B.t*.



1.2. Effet sur le taux de mortalité des larves L5

Les pourcentages de mortalité acquis chez les lots traités et les lots témoins sont illustrés par la figure 20.

Chez les larves L5 témoins, on a enregistré une seule mortalité soit un taux de 3.33% qui reste stable pendant toute la période du stade étudié. Mais chez les larves traitées par le *Bacillus subtilis* le taux de mortalité atteint 13.33% au bout de 8 jours après le traitement. Quant aux larves L5 traitées par le *Bacillus thuringiensis* le taux de mortalité atteint 20 % au bout de 10 jours après le traitement. On a noté que tous les individus survivants atteignent le stade imago sans difficulté de mue.



❖ Analyse de la variance

Tableau 1: Effet des produits (eau, *B.s* et *B.t*) sur la mortalité des larves L5 de *L. migratoria*

Source	somme des carrés	ddl	carrés moyens	F-ratio	P
Traitement	825.671	2	412.835	39.338	0.000

L'analyse de la variance des taux de mortalité des larves L5 de *L.m* par le modèle GLM a indiqué une différence significative selon le type du traitement utilisé (Tableau 1). En fait, le taux le plus bas est enregistré chez les larves témoins avec une valeur de 1,9%. Inversement, les taux enregistrés chez les larves traitées sont remarquablement élevées, ils sont de l'ordre de 6.8% , de 11% pour les larves traitées par le *B.s* et par le *B.t* respectivement (fig.21). Cela montre que le

B.t exerce un effet remarquable sur le taux de mortalité que le *B.s*.

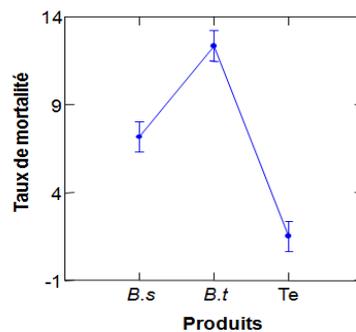


Figure 21. Analyse de la variance des taux de mortalité.

1.3. Effet sur la durée du développement larvaire des larves L5

Les durées du développement des larves sont illustrées sur la figure 22. La durée du développement la plus courte est enregistrée chez les larves L5 témoins, elle compte 15 jours, mais chez les larves traitées on a noté des durées de développement plus élevées : 21 jours et 17,8 jours respectivement chez les larves traitées au *B.s* et au *B.t*. Chez les larves survivantes, celles qui ont gagnés le stade imaginal, on a remarqué que les imagos des lots témoins et ceux des lots traités ne présentent aucune malformation, alors que, 50% des imagos émergés présentent des ailes males étalées lorsque les larves L5 sont traités par le *B.t* (fig.23).

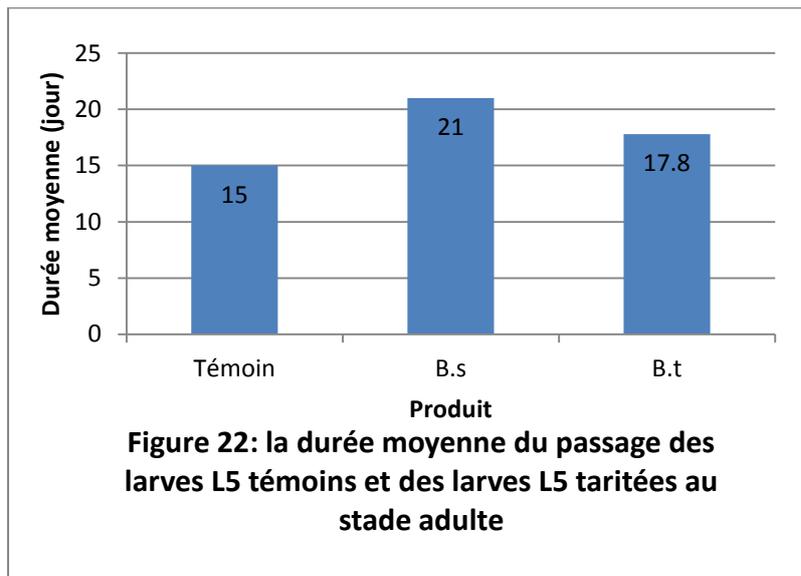


Figure 23 : Adulte émergé avec des ailes males étalées (Original).

❖ Analyse de la variance

Tableau 2: Effet des produits (eau, *B.s* et *B.t*) sur la durée moyenne du passage des larves L5 témoins et des larves L5 traitées au stade adulte

Source	somme des carrés	ddl	carrés moyens	F-ratio	P
Traitement	180.267	2	90.133	55.817	0.000

L'analyse de la variance des durées moyenne du passage des larves L5 de *L.m* a montré que la différence entre les durée enregistrées chez les témoins et celles enregistrées chez les traitées est significative selon le type du traitement (Tableau 2). Vraiment, la figure révèle que le *B.s* a une action très importante sur la durée de développement des larves L5 que celle exercé par le *B.t* (fig.24).

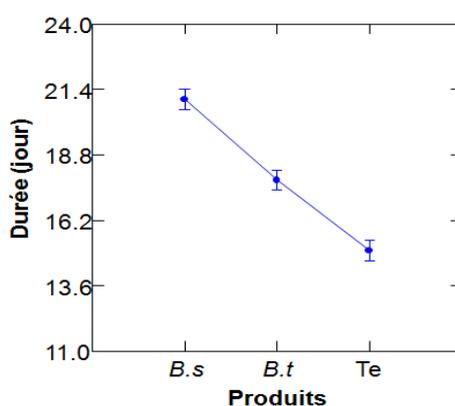


Figure 24. Analyse de la variance des durées du passage au stade adulte .

1.4. Effet sur le gain du poids des larves L5

Les pesées effectuées pour les larves L5 traitées et témoins nous a permis d'établir le gain du poids moyen de ces larves. Les résultats sont illustrés sur la figure 25.

D'après les résultats obtenus, on a remarqué que le gain du poids moyen des larves témoins est plus élevé par rapport à celui des larves traitées. En effet, on a enregistré un gain du poids de l'ordre de 0,46g chez les larves témoins et des valeurs de 0,23g et 0,22g respectivement chez les larves traitées au *B.s* et au *B.t*.

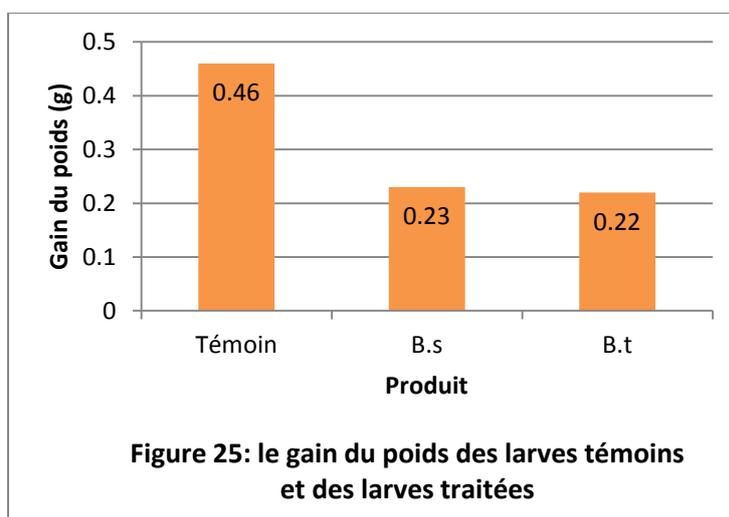


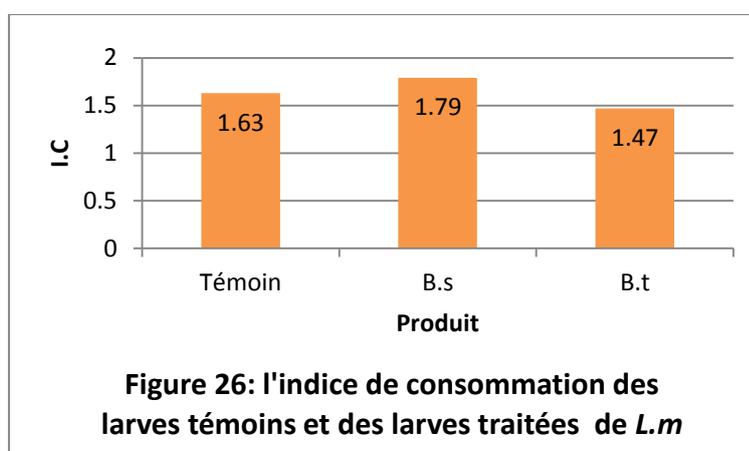
Figure 25: le gain du poids des larves témoins et des larves traitées

2. Effet des deux souches bactériennes (*B.s*, *B.t*) sur les indices nutritionnels de consommation et l'utilisation de la nourriture des larves L5

2.1. Indice de consommation (I.C)

Les résultats des indices de consommation des larves L5 témoins et des larves traitées évaluées chaque jour sont illustrés sur la figure 26.

Selon la figure on remarque que l'indice de consommation le plus élevé qui est de l'ordre de 1,79 par rapport à celui des témoins qui est de 1,63 est noté chez les larves nourries par du gazon pulvérisé avec le *B.s*. Mais les larves nourries par du gazon pulvérisé avec le *B.t* présente une valeur plus faible que la valeur des autres larves ; elle est de 1,47.



❖ Analyse de la variance

Tableau 3: Effet des produits (eau, *B.s* et *B.t*) sur l'indice de consommation des larves témoins et des larves traitées de *L.m*

source	somme des carrés	ddl	carrés moyens	F-ratio	P
Traitement	1.000	2	0.500	2.600	0.093

L'analyse de la variance des indices nutritionnels des larves L5 témoins et des larves L5 traitées par le *B.s* et le *B.t* en modèle GLM a montré qu'il n'y a aucune différence significative selon le type du traitement (Tableau 3). Les valeurs enregistrées sont de l'ordre de 1.1 pour les larves traitées par le *B.t*, de 1.2 pour les larves témoins et de 1.3 pour celles traitées par le *B.s* (fig.27). On peut donc dire que les deux souches employées n'ont aucune influence sur cet indice.

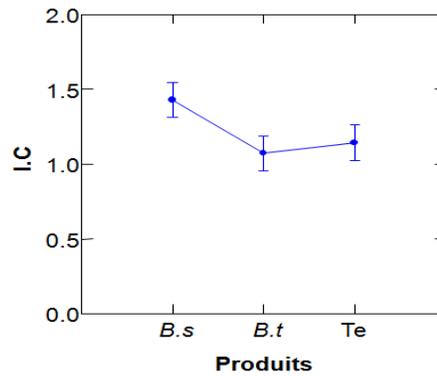


Figure 27. Analyse de la variance des indices de consommation.

2.2. Coefficient d'utilisation digestive (C.U.D)

Les résultats des calculs du C.U.D journalier pour les larves témoins et traitées sont illustrés dans la figure 28.

On a enregistré des valeurs de C.U.D très proches entre les larves témoins et les larves traitées ; elle est de 79,61% pour les larves témoins, de 81,79% pour les larves traitées au *B.s*, et de 80,76% pour les larves traitées au *B.t*. Donc on constate que la différence n'est pas très importante.

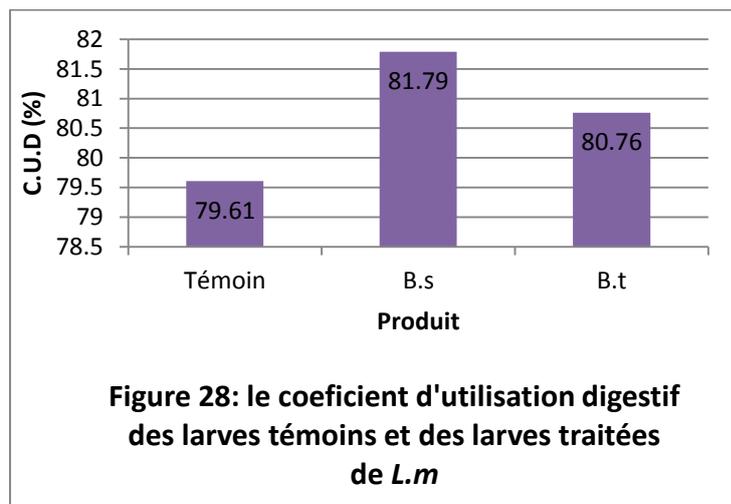


Figure 28: le coefficient d'utilisation digestif des larves témoins et des larves traitées de *L.m*

❖ Analyse de la variance

Tableau 4: Effet des produits (eau, *B.s* et *B.t*) sur le coefficient d'utilisation digestif des larves L5 témoins et des larves L5 traitées

Source	somme des carrés	ddl	carrés moyens	F-ratio	P
Traitement	84.143	2	42.071	0.374	0.692

L'analyse de la variance des coefficients d'utilisation digestive des larves L5 témoins et des larves L5 traitées par le *B.s* et le *B.t* en modèle GLM a montré qu'il n'y a aucune différence

significative selon le type du traitement (Tableau 4) ; en effet les valeurs enregistrées pour les larves traitées sont très proches de celles enregistrées chez les témoins, elles sont de l'ordre de 78,8 pour les larves témoins, de 78.5 et de 76 respectivement chez les larves traitées par le *B.s* et le *B.t* (fig.29). A ce moment nous constatons que les deux souches n'ont aucun impact sur cet indice.

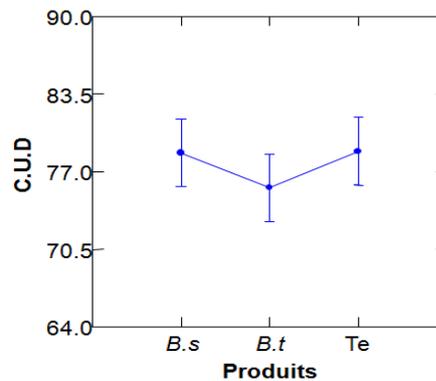
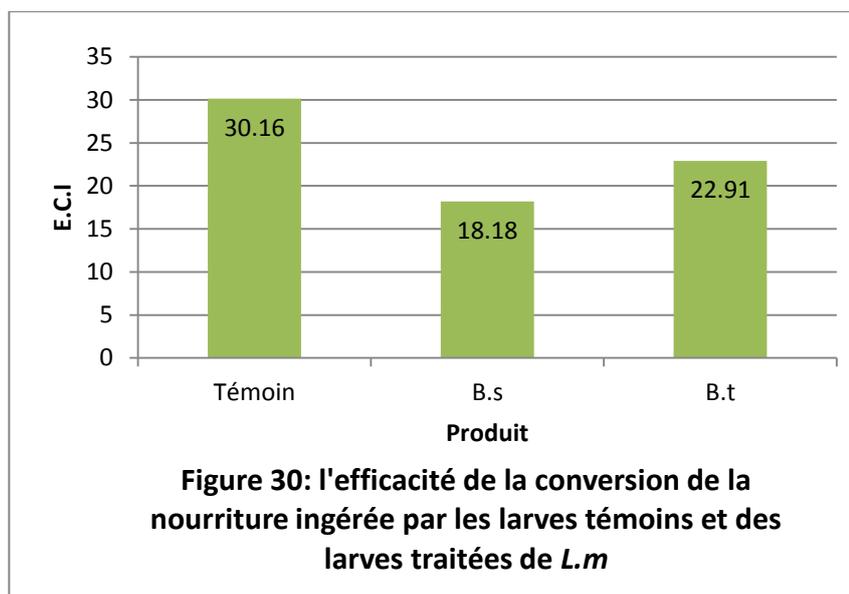


Figure 29. Analyse de la variance des C.U.D .

2.3. Efficacité de conversion de la nourriture ingérée (E.C.I)

Les résultats des calculs du E.C.I journalier pour les larves témoins et traitées sont illustrées par la figure 30.

Ces résultats nous montrent qu'il existe une différence remarquable entre les valeurs de l'efficacité de conversion de nourriture ingéré (E.C.I), les plus élevées sont notées chez les larves témoins avec 30,16% et chez les larves traitées au *B.t* avec 22,91%. A l'opposé, le plus faible indice est enregistré chez les larves traitées au *B.s* avec 18,18%.



❖ Analyse de la variance

Tableau 5: Effet des produits (eau, *B.s* et *B.t*) sur l'efficacité de la conversion de la nourriture ingérée par les larves L5 témoins et par les larves L5 taritées

Source	somme des carrés	ddl	carrés moyens	F-ratio	P
Traitement	1048.048	2	524.024	35.362	0.000

L'analyse de la variance des indices de conversion de nourriture ingérée en modèle GLM a montré une différence significative selon les produits testés (Tableau 5). Les valeurs enregistrées chez les larves témoins sont de l'ordre de 29,7. Inversement, les valeurs enregistrées chez les larves traitées par le *B.s* et par le *B.t* ne dépassent pas 30, elles sont de l'ordre de 17,8 et de 21,7 chez les lots traités par le *B.s* et le *B.t* respectivement (figure 31). D'après l'observation du graphe, le *B.s* a un effet notable sur l'indice à la différence de celui de l'autre souche.

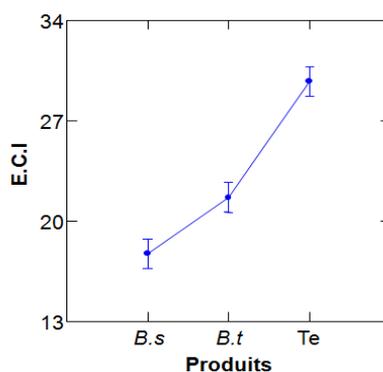
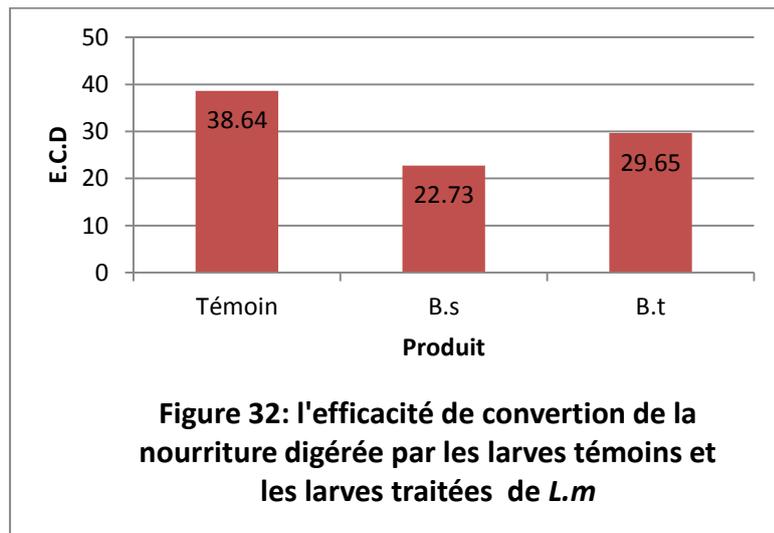


Figure 31. Analyse de la variance de l'E.C.I.

2.4. Efficacité de conversion de la nourriture digérée (E.C.D)

Les résultats des indices de conversion de nourriture sont illustrés sur la figure 32.

L'efficacité de conversion de nourriture digérée maximale est observée chez les larves témoins ; elle est de 38,64%. Mais pour les larves traitées on note une valeur moins élevée que celle des larves témoins, elle est de 29,65% chez les larves traitées au *B.t*. Par contre la valeur la plus faible est enregistrée chez les larves traitées au *B.s* : 22,73%.



❖ Analyse de la variance

Tableau 6: Effet des produits (eau, *B.s* et *B.t*) sur l'efficacité de conversion de la nourriture digérée par les larves L5 témoins et par les larves L5 traitées

Source	somme des carrés	ddl	carrés moyens	F-ratio	P
Traitement	1666.286	2	833.143	11.830	0.000

L'analyse statistique des indices de conversion de nourriture digérée par le modèle GLM a fait paraître une différence significative selon le type du traitement (Tableau 6). En effet, les valeurs enregistrées de cet indice des larves traitées sont inférieures à celles des larves témoins (37,1), elles sont de l'ordre de 23 et de 30,3 chez les lots traités par le *B.s* et le *B.t* respectivement (figure 33). Ces résultats révèlent que l'effet du *B.s* sur cet indice est plus important que celui enregistré avec le *B.t*.

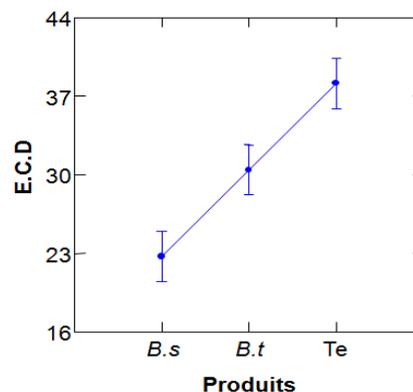
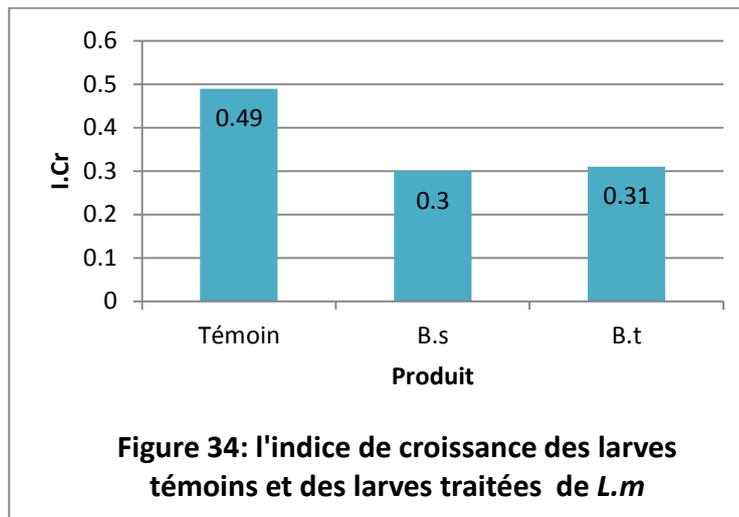


Figure 33. Analyse de la variance de l'E.C.D.

2.5. Indice de croissance (I.Cr)

Les résultats relatifs à l'indice de croissance sont illustrés par la figure 34.

Selon la figure on constate que la croissance des larves témoins est relativement plus élevée, elle est de 0,49. Un ralentissement de la croissance s'observe chez les larves traitées à partir de l'enregistrement des valeurs de l'ordre de 0,30 et 0,31 respectivement chez les larves traitées au *B.s* et au *B.t*.

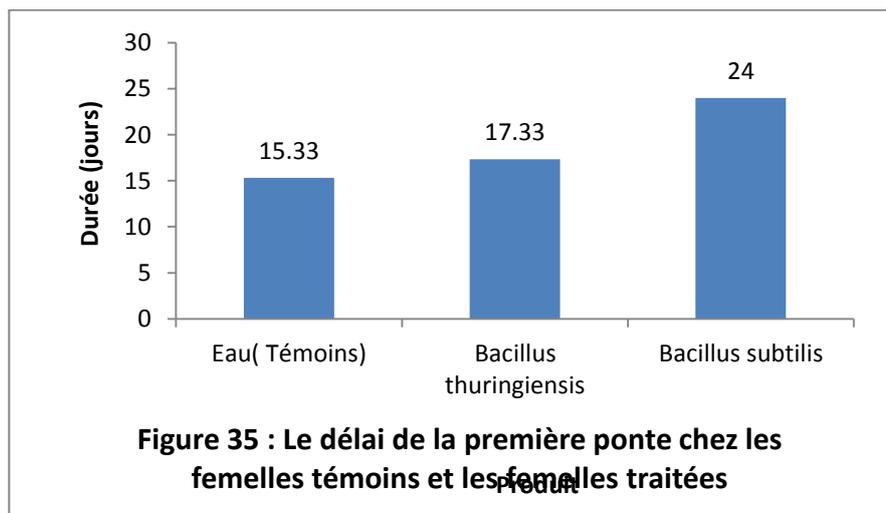


II. Effet des deux souches bactériennes (*B.s*, *B.t*) sur la reproduction de *Locusta migratoria*

1. Effet sur le délai de la première ponte

Les résultats relatifs au délai de l'émission de la première ponte et le nombre de femelle participant à la ponte chez les femelles témoins et les femelles traitées au *B.s* et au *B.t* sont illustrés par la figure 35.

D'après les résultats obtenus, on remarque que la durée moyenne d'émission de la première ponte la plus courte est enregistrée chez les femelle témoins et les femelles traitées au *B.t*, elle est de 15.33 jours et de 17.33 jours respectivement chez les femelles témoins et celles traitées au *B.t*. Concernant au nombre des femelles participant à la ponte il est de 3 sur 3 pour les femelles témoins et les femelles traitées au *B.t*. Par contre, chez les femelles traitées au *B.s* on a enregistré une durée moyenne plus longue, elle est de 24 jours et ceci avec un nombre de femelles participant à la ponte de 1 sur 3.



❖ Analyse de la variance

Tableau 7: Effet des produits (eau, *B.s* et *B.t*) sur le délai de la première ponte chez les femelles témoins et les femelles traitées

Source	somme des carrés	ddl	carrés moyens	F-ratio	P
Traitement	48.667	2	24.333	48.667	0.020

L'analyse de la variance de l'effet des deux souches bactériennes (*B.s*, *B.t*) sur le délai de la première ponte des adultes femelles de *L.m* a été réalisé par le modèle GLM. Ce dernier a montré une différence significative entre les lots témoins et les lots traités (Tableau 7). Selon la figure 36, il est clair que le délai de la première ponte des femelles de *L.m* a été hautement influencé au *B.s* qu'au *B.t* en comparaison au témoin. Les valeurs enregistrées sont de l'ordre de 15,5 jours chez les lots témoins, de 24,5 jours et de 17,5 jours chez les lots traités par le *B.s* et le *B.t* respectivement.

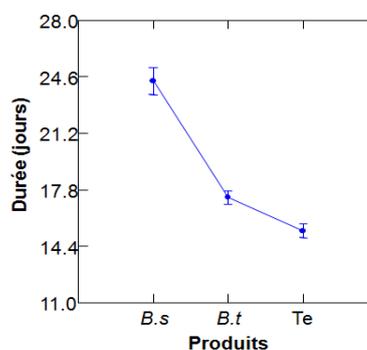
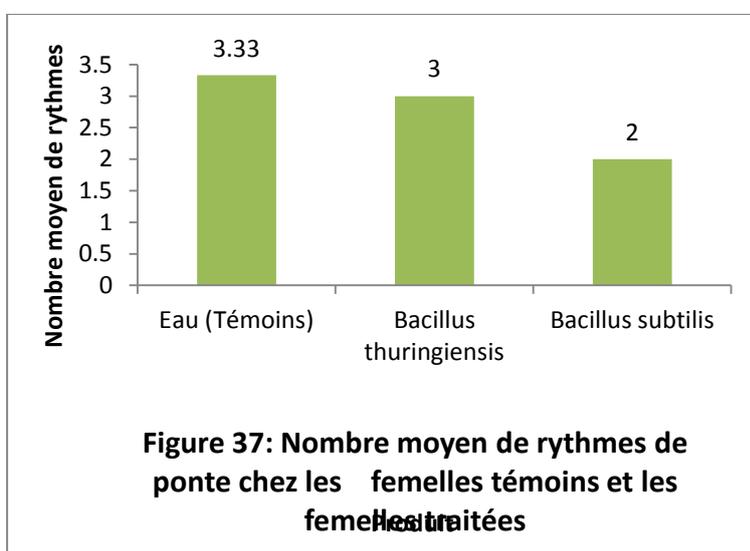


Figure 36. Analyse de la variance du délai de la première ponte.

2. Effet sur le rythme de ponte

Le calcul des rythmes de ponte est porté sur toutes femelles qui ont pondu au moins deux fois, les résultats relatifs à ce paramètre sont illustrés par la figure 37.

D'après les résultats obtenus, on remarque que le nombre moyen de rythmes le plus élevé est enregistré chez les génitrices témoins avec 5 rythmes, et 4 rythmes pour les génitrices traitées au *B.t*. Ces rythmes sont assez fluctuants pour les deux produits ; il varie de 3 à 7 jours chez les génitrices témoins, et de 6 à 10 jours chez les génitrices traitées au *B.t*. On remarque aussi que les génitrices témoins et les génitrices traitées au *B.t* ont présentées des rythmes de pontes variables d'un couple à un autre, avec 5 rythmes, 2 rythmes et 3 rythmes pour les couples témoins, et avec 2 rythmes, 4 rythmes et 3 rythmes pour les couples traitées au *B.t*. Par contre, les génitrices traitées au *B.s* n'ont présenté que 2 rythmes qui sont enregistrés chez le troisième couple, avec une valeur de 18 jours pour le premier rythme et de 15 jours pour le deuxième rythme.



❖ Analyse de la variance

Tableau 8: Effet des produits (eau, *B.s* et *B.t*) sur le rythme de ponte chez les femelles témoins et les femelles traitées

Source	somme des carrés	ddl	carrés moyens	F-ratio	P
Traitement	83.333	2	41.667	19.231	0.049

L'analyse de la variance des rythmes de pontes des femelles de *L.m* par le GLM a montré une différence significative entre les lots témoins et les lots traités par les deux bactéries (*B.s* et *B.t*) (Tableau 8). D'après la figure 38, on constate que le nombre de rythme enregistré chez les lots traités par le *B.t* (7) n'est pas très différent à celui enregistré chez les lots témoins (3,6). Néanmoins, le *B.s* augmente le nombre de rythme (15,3) en comparaison aux autres lots. Pour ce qui est de l'effet des

bactéries, le *B.s* présente un effet important sur le nombre des rythmes des femelles en comparaison avec celui du *B.t*.

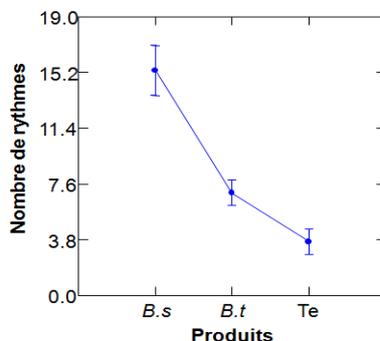
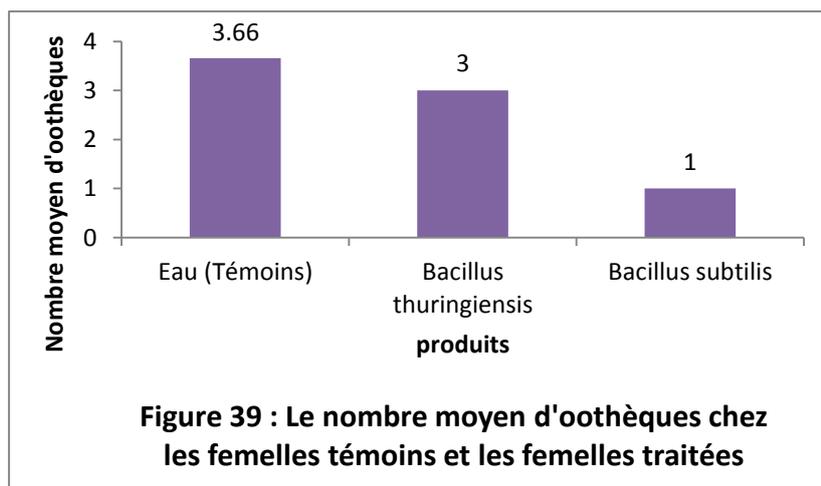


Figure 38. Analyse de la variance du rythme de ponte.

3. Effet sur le nombre de ponte par femelle

Le nombre moyen d'oothèques par femelle et par produit sont illustrés par la figure 39.

D'après les résultats obtenus, on remarque que la meilleure fécondité est obtenue chez les femelles témoins et les femelles traitées au *B.t*, avec un total de 11 oothèques et 9 oothèques respectivement, donc une moyenne de 3.66 oothèques par les femelles témoins et 3 oothèques par les femelles traitées au *B.t*. Par contre, le *B.s* n'a permis aux femelles d'avoir qu'un nombre total de 3 oothèques avec une moyenne d'une oothèque.



❖ Analyse de la variance

Tableau 9: Effet des produits (eau, *B.s* et *B.t*) sur le nombre de ponte chez les femelles témoins et les femelles traitées

Source	somme des carrés	ddl	carrés moyens	F-ratio	P
Traitement	18.667	2	9.333	2.947	0.163

L'analyse de la variance par le modèle GLM n'a montré aucune différence significative entre le nombre d'oothèques des femelles témoins et celui des femelles traitées par les bactéries (Tableau 9). La figure 40 montre que le *B.t* (3,6), et le *B.s* (1) n'ont aucun effet sur le nombre d'oothèque en comparaison avec celle des femelles témoins (4,3).

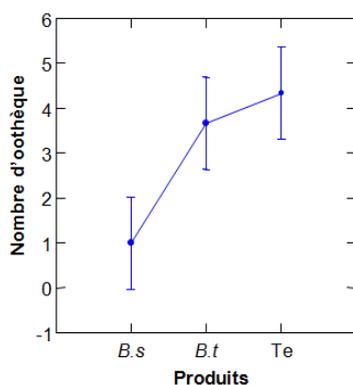
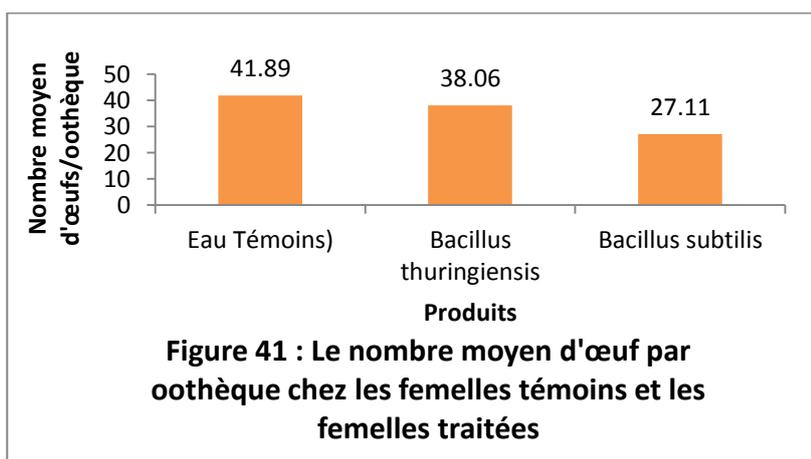


Figure 40. Analyse de la variance du nombre de ponte .

4. Effet sur le nombre d'œufs par oothèque

Les résultats relatifs au nombre d'œufs par ponte des femelles témoins et des femelles traitées sont illustrés par la figure 41.

Le dénombrement des œufs contenus dans les oothèques pondus par les reproductrices révèle que les meilleures fécondités sont enregistrées chez les femelles témoins et celles traitées au *B.t* ; avec un nombre moyen de 41.89 œufs et 38.06 œufs respectivement. Par contre, chez les femelles traitées au *B.s* le nombre moyen d'œufs est nettement faible, il est de 27.11 œufs.



❖ Analyse de la variance

Tableau 10: Effet des produits (eau, *B.s* et *B.t*) sur le nombre d'œufs par oothèque chez les femelles témoins et les femelles traitées

Source	somme des carrés	ddl	carrés moyens	F-ratio	P
Traitement	366.400	2	183.200	4.352	0.068

Comparons le nombre d'œuf par oothèque chez les femelles traitées par le *B.s* (27) et celui des femelles traitées par le *B.t* (36) avec celui des lots témoins (41.2), on constate que les deux bactéries (*B.s* et *B.t*) n'exercent aucun effet sur ce paramètre (fig.42). Comme le montre l'analyse de la variance, les différences sont non significatives (Tableau 10).

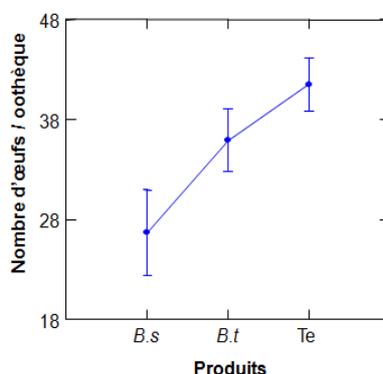


Figure 42. Analyse de la variance du nombre d'œufs / oothèque.

5. Effet sur la fertilité des femelles

Les résultats relatifs au taux de fertilité des femelles sont illustrés par la figure 43. D'après cette dernière on remarque que les taux moyen de fertilité des femelles témoins et des femelles traitées au *B.t* sont très proches elles sont de l'ordre de 80,07 et de 74,25 respectivement. Tandis que celles traitées au *B.s* ont enregistrées un taux moins important, il est de l'ordre de 49,12

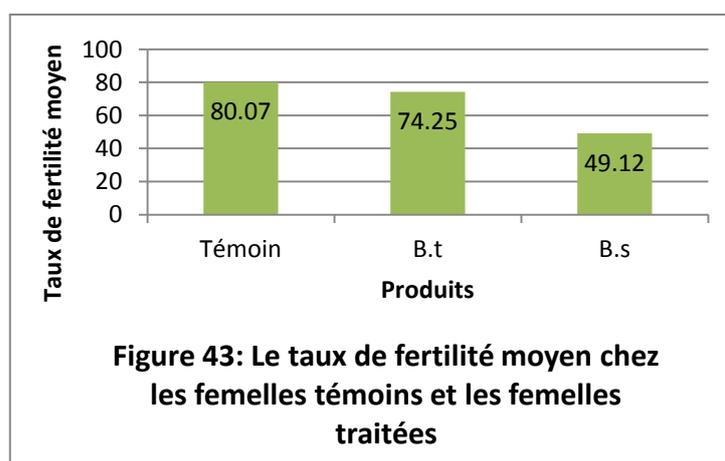


Figure 43: Le taux de fertilité moyen chez les femelles témoins et les femelles traitées

❖ Analyse de la variance

Tableau 11: Effet des produits (eau, *B.s* et *B.t*) sur le taux de fertilité chez les femelles témoins et les femelles traitées

Source	somme des carrés	ddl	carrés moyens	F-ratio	P
Traitement	1146.489	2	573.244	99.663	0.000

L'analyse de la variance des taux de fertilité montre qu'il y a une différence significative (Tableau 11). Entre les taux de fertilité des lots témoins et ceux des lots traités selon le type du traitement. La figure 44 montre que le *B.s* exerce un effet plus important sur l'abaissement du taux de fertilité que l'autre bactérie.

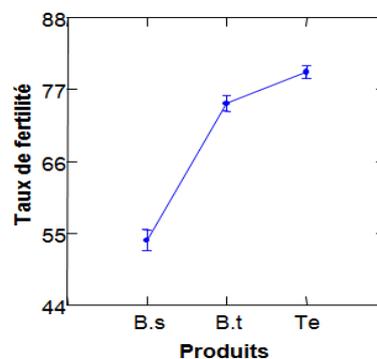


Figure 44. Analyse de la variance du taux de fertilité.

CHAPITRE IV

DISCUSSION

1. Effet des deux souches (*B.t* et *B.s*) sur la croissance pondérale et la prise du poids des larves L5 de *L.m*

D'après les résultats relatifs aux variations du poids moyen des larves L5 de *L.m* des lots témoins et des lots traités, on constate que les larves des lots traités ont des poids plus faibles comparativement à ceux des lots témoins. Également, le gain du poids moyen enregistré chez les lots témoins (0.46g) est plus important en comparaison avec ceux enregistrés chez les lots traités, il est de 0.23g chez les lots traités par le *B.s* et de 0.22g chez les lots traités par le *B.t*.

Allal- Benfekhih (2006), a démontré que la souche VIII₃ du bacillus subtilis administrée par injection en faibles doses aux larves L5 de *L.m* favorise une baisse pondérale. Elle a révélé que le mode d'administration le plus efficace pour tuer les larves consiste en l'injection des spores. Elle explique que cela est peut-être du au fait que l'intestin ne constitue pas une cible pour l'effet toxique de la bactérie ou que l'intestin lui-même ne convient pas à sa croissance ; l'hypothèse tirée est que la bactérie perturbe le métabolisme de *L. m* puisque les larves traitées à faible dose montrent une perte de poids.

- On constate que l'abaissement pondéral enregistré chez nos larves traitées par le *B.s* est peut-être du au refus de l'alimentation ou de la perturbation de leurs métabolisme pratiqué par la souche VIII₃.

Quant au *B.t*, il a entraîné l'abaissement pondéral des larves après avoir diminué leur alimentation.

Lacousière et Boisvert (2004), ont révélés que le *B.t* provoque la cessation de l'alimentation après avoir exercé des changements au niveau du tube digestif de l'insecte. Castella (2008), ajoute que les toxines entomopathogènes synthétisées par le *B.t* sont incluses dans des inclusions cristallines qui après ingestion par l'insecte, se fixent spécifiquement sur les cellules de l'épithélium intestinal et le détruisent. Cependant, les mécanismes induits par cette fixation sont mal élucidés.

- Ainsi, nous nous sommes aperçu que l'abaissement du poids des larves est le fruit de l'action du *B.t* sur le tube digestif ou au refus de l'alimentation.

Mohand-Kaci et Doumandji-Mitiche (2012), ont révélé que la croissance pondérale chez les larves L5 témoins de *L.m* est plus marqué par rapport aux traitées par *Bacillus sphaericus* à différentes concentrations.

Gupta et Vyas (1989), et Lazare et *al.*, (1996) in Allal- Benfekhih (2006), ont aussi observé l'effet du *B.s* sur la perte du poids des larves de l'*Anopheles culicifacies* et les adultes de *Drosophila melanogaste*.

Allal- Benfekhih (2006), a montré que les larves L5 de *L.m* traitées par injection des spores des deux souches (II₄ et VIII₃), présentent une baisse pondérale, contrairement aux larves témoins qui augmentent du poids pendant les 3 jours de l'expérience. Précisant ainsi que la souche VIII₃ a un

effet plus net sur les pertes de poids que la souche II₄ et que cet effet se maintient jusqu'à la fin de l'expérience. Pour la souche II₄, cet effet s'estompe quelque peu entre 48 et 72 h.

Outtar (2009), a révélé qu'à l'exception des larves L5 de *L.m* alimentées par du gazon traité par le *M. anisopliae* où une réduction du poids des individus a été révélée, Le Triflumuron et le henné n'ont pas marqué un effet inhibiteur sur l'évolution pondérale des larves pour les deux types de traitement.

Moussa (2003), a annoncé que les larves L4 et L5 de *Locusta migratoria migratoria* et *Locusta migratoria migratoroides* souffrent d'une inhibition de la croissance lors du traitement à l'huile de *Neem*.

Allal- Benfekhih (2006), a révélé que l'injection des Cry1Aa, Cry1Ab et Cry1E à la dose de 6µg / 6 µl n'entraîne aucune perte de poids significative par rapport aux individus témoins. En revanche, la condition ingestion de 0.5 µg du Cry1C /6 µl conduit à une diminution significative du poids des larves L5 de *L.m* par rapport aux témoins.

Cerstiaens *et al.*, (2001) in Allal- Benfekhih (2006), ont démontré que la toxine Cry1C à la suite de son injection dans l'hémolymphe de *Lymantria dispar* inhibe la prise de nourriture et en conséquence la croissance de l'insecte ; suggérant l'existence d'une cible autre que l'épithélium de l'intestin moyen.

2. Effet des deux souches (*B.t* et *B.s*) sur le taux de mortalité des larves L5 de *L.m*

L'analyse de la variance des taux de mortalité des individus indique qu'il y a une différence significative entre les taux des lots témoins et ceux des lots traités et cela est obtenu malgré l'utilisation des doses faibles.

- Sur le taux de la mortalité enregistré chez des larves traitées par le *B.s*, on peut dire que cette dernière a peut-être pratiqué un effet négatif sur le métabolisme des larves ce qui a influé sur leurs survie. Quant aux larves traitées par le *B.t*, ces taux élevés de mortalité sont peut-être dus en grande partie à l'extrême action qu'exerce le *B.t* sur le tube digestif des larves. Lacousière et Boisvert (2004), ont justifié la nocivité du *B.t* par l'interaction de leurs toxines avec les récepteurs spécifiques sur les cellules épithéliales du système digestif, ce qui cause la mort de l'insecte suite à la disruption de la régulation osmotique de ces cellules. Allal- Benfekhih (2006), a expliqué que l'activité des toxines dépend fortement de l'interaction de plusieurs facteurs retrouvés dans l'intestin des insectes.

Allal- Benfekhih (2006), après avoir comparé l'efficacité des trois souches (B₂₁₃, VIII₃, II₄) administrées aux larves L5 de *L.m* par différents modes, a démontré que le mode d'administration le plus efficace pour tuer les larves consiste en l'injection des spores (souches VIII₃ et surtout II₄). Elle a enregistré la TL50 la plus faible chez les larves traitées au II₄.

Mohand-kaci (2012), après avoir traité des larves L5 de *L.m* par les quatre souche bactériennes (*Bacillus sp.*(HE799656), *Bacillus sp.*(HE805963), *Bacillus sphaericus* et le *Pseudomonas fluorescens* cvIII), elle a enregistré chez les témoins un taux de mortalité de 3.33% qui reste stable durant tout le stade, mais celui enregistré chez les larves traitées par les fortes doses des souches bactériennes est très fort, il est de 100% chez les larves traitées par le *Bacillus sp.*(HE799656), 100% chez celles traitées par le *Pseudomonas fluorescens* cvIII. Quand a la forte dose de *Bacillus sp.*(HE805963) elle donne un taux de 86.67%, suivi de la forte dose de *B.sphaericus* qui donne 76.67% de mortalité.

Mohand-kaci (1998), a noté que même avec la forte dose de B₂₁₃, les larves L5 montrent une certaine résistance et n'enregistrent 100% de mortalité qu'au bout du 21 jour.

West et al., (1997), a enregistré 76 à 93% de mortalité au bout de 10 jours chez *l'arpenreuse de la pruche* traitée par le *B.t*.

Brahmi (1998), a obtenu 45.8% de mortalité après avoir trété des les larves L4 de *L.m* par injection du *B.s*. Ce taux n'est que 31.8% après le 5^{ème} jour et 33.3% après le 7^{ème} jour à la suite d'un traitement par ingestion.

Berradj et Khoudi (2005), révèle qu'avec l'utilisation de *B. larvae* contre les larves L4 du criquet pèlerin, le taux de mortalité atteint 70% au bout de 16 jours, alors que ce taux sera totale si ces même larves sont traitées par le *Pseudomonas aeruginosa*.

Rahmani et Kais (2005), ont enregistré au bout de 18 jour 80% de mortalité des larves L4 de *S.grégaria* préalablement traitées par le *B.t* et 90% de mortalité chez les larves L4 traitées par le *B.s*.

Ould El Hadj et al (2005), a enregistré suite a l'administration des extraits de *Melia azedarach*, d'*Azadirachta* et d'*Eucalyptus globulus* aux larves L5 et au adultes de *S.grégaria* une mortalité de 100% au bout de 10 jours pour les larves L5 et 13 jours pour les adultes pour le traitement par *A.indica*. Pour les larves traitées au *M.azerdarach* elle est de 11 jours chez les larves, et de 14 jours pour les adultes. Quant aux individus traités a *l'Eucalyptus globulus*, ils meurent dans quelques jours.

Bi-Zhen et al., (2012) ont révélé la forte toxicité du flufénoxuron, du pyriproxifène et de l'azadirachtine sur *Locusta migratoria var. manilensis* . Les taux de mortalité sont de 97% pour le flufénoxuron, de 100% pour l'azadirachtine, et de 48% pour le pyriproxifène.

A son tour, Outtar (2009), a enregistré des taux de mortalité très élèves suite a l'application du *M.anisoplie* et du *henné* sur les larves L5 de *L.m*. Elle note une mortalité de 96.67% pour *M.anisoplie* et du *henné* après 21 jours du traitement par ingestion.

Mohand-Kaci (2012), après avoir comparé les effets des différents agents biologiques, a conclu que les bactéries agissent plus lentement que les autres agents de lutte biologique. Elle a expliqué ça par le fait que le mode d'action de la majorité des bactéries du genre *Bacillus* qui agissent par la libération des toxines qui demande des conditions particulière. Ou bien par les

condition du milieu intestinal des criquets qui ne conviennent pas parfaitement à la multiplication ce qui demande un temps plus long (Greathead *et al.*, 1994 ; Keith et Kevan, 1992 ; Lacy *et al.*, 2001 in Mohand-Kaci ,2012).

- ❖ D'après ces résultats on constate que la mortalité est en étroite relation avec la dose, c-à-d que plus on double la dose de la suspension bactérienne de nos souches plus on aura des taux de mortalité plus élevés, et que même au sein du même genre, le taux de mortalité se change d'une espèce à une autre.

3. Effet des deux souches (*B.t*, *B.s*) sur le passage des larves L5 au stade adulte

Chez les grégaire au Sahel, la durée du développement larvaire est d'une trentaine de jours. Le stade le plus bref est le premier, le cinquième est le plus long. En pourcentage, la durée du stade 5 est de 32% de la durée totale du développement, soit 11 jours avec une durée totale de développement de 34 jours (Duranton et Lecoq, 1990 in Mohand-kaci ,2012.).

D'après nos résultats, on estime que ce paramètre semble influencer par le *B.s* et le *B.t*. ce qui a été confirmé par l'analyse de la variance (Probabilité < 0,05). En effet, la durée du passage au stade adulte la plus courte est enregistrée chez les larves L5 témoins (15 jours). Pour les larves traitées au *B.t* , la durée moyenne du passage au stade adulte est de 17,8 jours, suivi par celle enregistré chez les larves traitées au *B.s* (21 jours). Ainsi on a noté que chez les larves L5 traitées par le *B.t*, 50% d'elles présentent des ailes males étalées après la mue, par contre, les larves témoins et les larves traitées par le *B.s* gagnent le stade imago sans aucune malformation.

Nos résultats se concordent avec ceux de Mohand-kaci, (2012). Elle a enregistré la durée la plus courte chez les larves témoins (15,48 jours). Mais, des durées de 21,02 ; 21,79 et 23,59 jours sont enregistrées respectivement pour les larves traitées à la faible dose D3, la moyenne dose D2 et la forte dose D1 du *Bacillus sp.*(HE805963), et 20,58 ; 21,27 et 23,36 jours chez les larves traitées par les doses D3, D2 et D1 du *B.sphaericus*. la durée du 5^{ème} stade larvaire enregistré chez les larves traitées par *B sp.*(HE799656) a la dose D3 est de 20,56 jours contre 20,05 et 20,17 chez les larves traitées par les D3 et D2 de *P. fluorescens* bvIII. Quant aux doses D1 et D2 du *Bacillus sp.*(HE799656) et la dose D1 du *P.fluorescens* bvIII elles causent 100% de mortalité des larves L5 avant le passage au stade imago. Aussi, elle a enregistré des difficultés de la mue imaginale et des malformations chez les survivants traités.

Tail *et al.*, (2006), ont noté que chez les larves traitées par le diflubenzuron, la durée du dernier stade larvaire est remarquablement élevée. Ainsi, ce dérégulateur de croissance a provoqué l'incapacité des larves pour compléter leur mue imaginale.

Ould El Hadj *et al.*, (2006), a remarqué qu'aucune des larves L5 de *S.grégaria* nourries à base de fragments de chou traités au *neem* ou au *mélia* ne puissent exécuter leurs mue imaginal, alors que lorsqu'elles sont traitées par l'*eucalyptus*, 20% d'elles peuvent savoir leurs dernière mue.

Lebouz (2009), après avoir traité les larves L5 de *S.gregaria* par les extraits foliaires de *Cleome arabica*, a enregistré que les imagos des lots témoins ne présentent aucune malformation, alors que chez les larves traitées, 30% des imagos émergés présentent des difficultés au cours de la mue. Ainsi, elle a remarqué que près de 66,67% présentent des ailes males étalées et 33,33% après la mue restent incapables de se débarrasser de leur cuticule.

Outtar (2009), n'a enregistré aucune mue imaginale chez les larves traitées par les trois produits (Triflumuron, *M. anisopliae* et le henné). Par contre, chez les témoins une durée moyenne de développement de 16,4 jours a été notée.

Barbouche et al .,(2001), a prouvé la possibilité de l'absence du liquide exuvial qui apparaît au début de la mue et qui est riche en glycoprotéines et en protéases responsables de la résorption de l'ancienne endocuticule en traitant par voie orale les larves L5 de *S.gregaria* par l'extrait de *Cestrum parqui*.

4. Effet des deux souches (*B.t* et *B.s*) sur les indices nutritionnels de consommation et l'utilisation de la nourriture des larves L5 de *L.m*

L'analyse de la variance des indices de la consommation (I.C) des larves L5 témoins et des larves L5 traitées par le *B.s* et le *B.t* indique qu'il n'y a aucune différence significative par rapport à ceux enregistrés chez les témoins (Probabilité > 0,05). Effectivement, on a enregistré une valeur moyenne de l'ordre de 1,63 chez les larves témoins, de 1,79 chez les larves traitées par le *B.s* et 1,47 chez celles traitées par le *B.t*.

- Remarquons ces résultats, on déduit que l'abaissement des ingéras et du poids des sujets traités ne s'est pas reflété négativement sur cet indice.

Outtar (2009), a démontré que les trois produits testés (*M. anisopliae*, Triflumuron et le henné) inhibent la consommation des larves L5 de *L.m* traitées par contact comparativement aux larves traitées par ingestion.

Il est de même pour le C.U.D qui ne semble pas être influencé par les deux souches bactériennes (*B.s* et *B.t*). En effet les valeurs moyennes des C.U.D sont très proches chez toutes les larves, elles sont de l'ordre de 80,76% chez les larves traitées par le *B.t*, 81,79% chez les larves traitées par le *B.s* et 79,61% chez les témoins. Cette remarque est confirmée par l'analyse statistique qui n'a enregistré aucune différence significative entre les valeurs des témoins et celles des traitées (Probabilité > 0,05).

- La conclusion extraite est que l'assimilation de l'alimentation à travers le tube digestif est bonne pour tous les individus.

Outtar (2009), a noté que Le traitement des larves L5 de *L.m* par les trois biopesticides (*M. anisopliae*, Triflumuron et le henné) selon deux modes de pénétration (contact et ingestion) est sans effet sur le coefficient approximatif de digestibilité des larves de *Locusta migratoria*.

En ce qui concerne l'E.C.I et l'E.C.D, on a noté des valeurs moyennes faibles par rapport à celles enregistrées chez les témoins. Ainsi l'analyse de la variance a enregistré une différence très significative (Probabilité < 0,05).

- Ces résultats révèlent que la conversion des nutriments est très influencée par les deux souches bactériennes (*B.s* et *B.t*).

Outtar (2009), a démontré que le traitement au *M. anisopliae* par contact n'a pas un effet remarquable sur E.C.I. et E.C.D. mais il a diminué le taux de ces deux indices avec le traitement par ingestion. Le Triflumuron et le henné n'ont pas un effet sur E.C.I. et E.C.D. avec le traitement par ingestion. Et pour le traitement par contact ces deux indices ont été élevés avec ces deux derniers produits.

A son tour, l'indice de croissance s'est trouvé influer par les deux souches utilisées. En effet, la valeur moyenne la plus élevée est enregistré chez les larves témoins (0,49), quant aux larves traitées les valeurs moyennes sont de l'ordre de 0,3 chez les individus traités par le *B.s* et de 0,31 chez les individus traités par le *B.t*.

Outtar (2009), a enregistré chez les larves L5 de *L.m* traitées au Triflumuron et au henné des valeurs élevées de cet indice comparativement à celle trouvé chez les larves traitées au *M. anisopliae*. Par contre qu'avec le traitement par ingestion, seulement le *M. anisopliae* a provoqué une diminution de la croissance des larves.

- Acheuk (2000), a révélé que la faiblesse des taux des E.C.I et des E.C.D explique que la conversion des nutriments issus de la digestion de l'espèce en métabolites physiologiques utilisables pour la synthèse de la matière vivante est médiocre et par conséquent la capacité de croissance n'est pas bonne.

Ould Ahmedou et al., (2001) in Outar (2009) , ont étudié l'effet du *Glinus lotoides* (Aizoacées) sur le comportement alimentaire des larves L4 de *Schistocerca gregaria*. Ils ont révélé que le *G. lotoides* a influencé négativement sur le C.U.D des larves, par conséquent les pertes de poids ont été considérable.

Acheuk (2000), a étudié l'influence des deux graminée *S.vulgare* et *Pennisetum purpureum* sur les indices nutritionnels des larves de *L.m*. Il a trouvé que les indices de consommation obtenus pour *P.purpureum* dépassent largement ceux obtenus pour le *S.vulgare*. Cet indice augmente progressivement du premier stade au 4^{ème} stade, puis diminue au cours des stades prochains. Pour *P.purpureum*, il a remarqué un certain rapprochement de cet indice entre le 1^{er} et le 2^{ème} stade et entre le 3^{ème} et le 4^{ème} stade, puis il diminue au cours du 5^{ème} stade et le stade imaginaire. Pour le C.U.D, il a remarqué qu'il manifeste des taux élevés sur *P.purpureum* mais instables d'un stade à un autre. Alors qu'une certaine stabilité de cet indice a été observée pour *S.vulgare*. Pour le E.C.I, il paraît que celle obtenue sur *P.purpureum* est relativement basse pour l'ensemble des stades juvénile en comparaison avec celle obtenue sur *S.vulgare*.il est de même pour l'E.C.D.

D'après Berenbaum (1983), que si les tannins diminuaient la digestibilité des protéines, les indices nutritionnels s'abaisseraient.

Hemour (2009) in Outtar (2009), a noté des taux élevés des ingéras chez les ailés de *S. gregaria* traités par la dose sub létale de *M. a. var. acridum*. Avec un taux plus élevé chez les insectes traités pour le C.U.D. Quant aux individus traités pour E.C.I. et E.C.D, les taux trouvés sont faibles par rapport aux autres.

5. Effet des deux souches bactériennes (*B.s* et *B.t*) sur la reproduction des femelles de *Locusta migratoria*

L'analyse de la variance de nos résultats montre qu'il ya une différence significative entre le délai de la première ponte, le rythme de ponte et le taux de fertilité des lots traités en comparaison aux lots témoins (Probabilité < 0,05). Ainsi, ces résultats indiquent que le *B.s* a un effet très remarquable sur ces trois paramètres que celui exercé par le *B.t*. Cependant, les deux paramètres (nombre d'oothèques par femelle et le nombre d'œufs par oothèque) ne semblent pas affectés par les deux souches bactériennes utilisées. Comme le montre l'analyse de la variance, les différences ne sont pas significatives (Probabilité > 0,05).

Pour la durée de l'émission de la première ponte la plus courte est obtenue chez les femelles témoins (15,33 jours) avec un nombre de femelles participant à la ponte de 3 sur 3. Quant aux femelles traitées par le *B.t* la durée de la première ponte enregistré est de 17,33 jours, avec un nombre de femelles participant à la ponte de 3 sur 3. A la différence de ces derniers, les femelles traitées par le *B.s* ont enregistré une durée de 24 jours avec un nombre de femelles participant à la ponte de 1 sur 3.

Outtar (2009), montre que la durée de l'émission de la première oothèque est influencée par Triflumuron, *M.anisopliae* et le Henné administrés par contact ou par ingestion. La durée est respectivement de 20 jours, 21 jours et 25 chez les femelles traitées par contact, de 24 jours, 28 jours chez les femelles traitées par ingestion. Quant aux femelles élevées sur du gazon traité avec le *Triflumuron*, aucune n'a pas pu pondre.

Belhadi (2005) in Outtar (2009), signale que les femelles de *Schistocerca gregaria* nourries avec les feuilles de *Rosmarinuus officinalis* et *Nerium oleander* n'ont pas pondu tout en maintenant la coloration rose qui signifie leur immaturité sexuelle jusqu'à leur mort.

Acheuk (2000), a conclu que la durée de l'émission de la première ponte se trouve sous l'étroite dépendance du régime alimentaire proposé à l'insecte.

D'après Abbassi et al., (2004) , Les alcaloïdes de *Calotropis procera* engendrent le blocage du développement ovarien en prévitellogenèse des femelles et l'immaturité des mâles, ainsi que la réduction de motricité chez les imagos des deux sexes.

Tail (1998), note que le délai nécessaire à l'émission de la première ponte est plus court pour les femelles nourries du chou que pour celles élevées sur blé, il est respectivement de 8 jours et de 15 jours.

Le paramètre rythme de ponte semble nettement affecté par le *B.s* où on a noté un nombre totale de 2 rythme. Quant aux femelles témoins et celles traitées par le *B.t*, le nombre de rythme totale enregistré est de 10 et 8 respectivement.

Outtar (2009), note que ce paramètre est aussi influencé par le Triflumuron, le *M.anisopliae* et le Henné. Pour le traitement par contact, il est de 1, 2 et 1 respectivement. Pour le traitement par ingestion, elle a enregistré 5 jours, 3 à 5 jours et 6 jours respectivement.

Acheuk (2000), a remarqué que *L.m* a exprimé une activité reproductrice normale sur l'ensemble des régimes (9 à 21 jours sur Sorghum vulgare, 3 à 18 jours sur Sorghum vulgare + son, 2 à 17 jours sur Sorghum vulgare + lait et 3 à 18 jours sur le Sorghum vulgare + aliment de volaille), à l'exception du premier régime (*Pennisetum purpureum*) pour lequel il n'a enregistré aucun rythme de ponte.

Tail (1998), indique que le rythme de ponte est assez fluctuant pour les deux aliments (blé et chou), il varie de 12 jours à 30 jours sur le chou. Ainsi les femelles élevées sur le blé n'ont présentés qu'un seul rythme, alors que celles élevées sur le chou ont présentés des rythmes de ponte variables d'un couple à un autre.

Pour le nombre d'oothèques par femelle, l'analyse de la variance a montré qu'il n'ya pas une différence significative entre le nombre moyen d'oothèque des femelles traités par le *B.s* (1), celui des femelles traitées par le *B.t* (3) et celui des femelles témoins (3.66).

Outtar (2009), indique qu'après le traitement par contact, le nombre total des oothèques enregistrées est de 2 chez les femelles traitées par le Henné, de 2 chez celles traitées par le Triflumuron et de 3 chez les femelles traitées par le *M.anisopliae*. Alors qu'après le traitement par ingestion le nombre d'oothèque est nulle chez les femelles traitées par le Triflumuron et de 1 chez les femelles traitées par le Henné et celles traitées par le *M.anisopliae*.

Acheuk (2000) a enregistré le nombre d'oothèque le plus élevé chez les femelles élevées sur *Sorghum vulgare* + aliment de volaille, a la différence du *Sorghum vulgare* + lait qui n'a permet aux femelles d'avoir q'un nombre total de 21 oothèque. Mais ce dernier nombre reste élevé par rapport à celui obtenu sur *Sorghum vulgare* + son (12 oothèques), sur *Sorghum vulgare* (5 oothèques) et sur *Pennisetum purpureum* (1 oothèque).

En ce qui concerne le nombre d'œufs par oothèque, le nombre moyen le plus élevé est noté chez les femelles témoins (41,89), contre 38,06 œufs chez les femelles traitées par le *B.t* et 27,11 œufs chez celles traitées par le *B.s*.

Outtar (2009), note que le nombre moyen d'œufs par oothèque chez femelles traitées par contact avec le *M. anisopliae* est de 11,20 œufs, contre un nombre moyen nul chez celles traitées par

ingestion au *M. anisopliae*, au *Triflumuron* et au Henné.

Acheuk (2000), a enregistré des nombres moyens d'œufs élevés sur le *Sorghum vulgare* + aliment de volaille et le *Sorghum vulgare* + lait, ils sont de l'ordre de 65,19 œufs et de 56,47 œufs respectivement. Alors que sur le *Sorghum vulgare* + son, sur le *Sorghum vulgare* et sur *Pennisetum purpureum* les valeurs sont moins importantes, elles sont de 45,74 œufs, de 34,33 œufs et de 28 œufs respectivement.

Pour le taux de fertilité et d'après les résultats trouvés, on constate que quelque soit le produit utilisé, les œufs donnés ne sont pas tous viables, ni tous mauvais. Le taux de fertilité est de l'ordre de 80,07 chez les femelles témoins, de 74,25 chez celles traitées par le *B.t* et de 49,12 chez les femelles traitées par le *B.s*. Ces résultats confirment que le *B.s* exerce un effet plus important sur la fertilité des femelles que celui exercé par le *B.t*.

Acheuk (2000), note que le taux de fertilité change selon le régime alimentaire et varie même au sein d'un même régime.

Allal- Benfekhih et *al.*, (2007) in Mohand-Kaci (2012), ont constaté après l'utilisation de *B.s* sur des individus de *L.m* que la a révélé que la vitellogenèse est inhibé lors de la maturation des ovocytes terminaux et par l'augmentation de la résorption ovocytaire à la phase reproductive.

CONCLUSION

CONCLUSION

Conclusion et perspectives

Notre travail est divisé en trois parties ; d'abord, nous avons étudié l'effet des deux souches bactériennes sur quelques paramètres de croissance (évolution pondérale, gain du poids, taux de mortalité et durée du développement larvaire), puis, nous avons recherché l'impact de ces deux souches bactériennes sur les rapports entre l'alimentation et la croissance tout en établissant les indices nutritionnels (I.C, E.C.I, E.C.D, C.U.D, I.Cr). Enfin, nous avons mis en évidence l'effet de ces deux souches bactériennes sur quelques paramètres de reproduction (délai de l'émission de la première ponte, rythme de ponte, nombre d'oothèques par femelle, nombre d'œufs par oothèque et le taux de fertilité).

Bien que les deux souches testées ont influés sur les paramètres de croissance, les différences enregistrées nous a permis de précisé que le *B.s* a plus d'effet sur le poids et la durée du passage au stade adulte de *L.m*. Alors que la mortalité des larves L5 de *L.m* est beaucoup plus influencée par le *B.t* que le *B.s*.

D'après l'analyse des indices nutritionnels étudiés, nous avons remarqué que les taux des E.C.I et E.C.D de tous les lots traités sont faibles par rapport à ceux enregistrés chez les larves témoins, ce qui explique que la conversion des nutriments issus de la digestion est minable, par conséquent, la croissance des larves est devenue faible.

L'analyse des paramètres de reproduction étudiés nous a confirmé que, bien que le délai de l'émission de la première ponte, le rythme de ponte et le taux de fertilité sont influés par l'utilisation des deux souches bactériennes (*B.s* et *B.t*), il est clair que le *B.s* a exercé un effet plus néfaste sur ces paramètres que celui exercé par le *B.t*.

- ❖ Cette étude a confirmé la possibilité de trouver des bioinsecticides naturels à base de *B.s* ou de *B.t* qui peuvent être toxiques contre *Locosta migratoria*.

En perspectives, pour une meilleure poursuite de cette étude, il serait souhaitable d'étudier d'une façon approfondie le mode d'action de ces bactéries au niveau du corps de ce ravageur. Cette étude va permettre de produire des insecticides spécifiques, efficaces et est peu pathogène pour l'homme et les mammifères.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- **ABBASSI K., ATAY KADIRI Z. et GHAOUT S.**, 2004 - Activité biologique des feuilles de *Calotropis procera* (Ait. R. Br) sur le criquet pèlerin (*Schistocerca gregaria*, Forsk. 1775). Zool. baetica , 15(1): 153-166.
- **ABOU THIAM.**, 1991- Problématique de l'utilisation des insecticides chimiques dans la lutte anti-acridienne. In : ESSAID A., 1991- La lutte anti-acridienne. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext, Paris © : 193-206.
- **ACHEUK F.**, 2000- Effet de quelques substrats alimentaires sur quelques paramètres de la biologie et de la reproduction de *L. migratoria* (Orth. Oedipodinae). Etude de l'efficacité de deux insecticides de synthèse : Dursban et Décis au laboratoire, et des perturbations histopathologiques du tube digestif. Thèse Magister, Inst. Nati. Agro, El Harrach, 206 p.
- **ALBRECHT F.O.**, 1967- Polymorphisme phasaire et biologie des acridiens migrants. Collection GPB Masson et Cie, Paris, 194 p.
- **ALLAL- BENFEKIH L.**, 2006- Recherches quantitatives sur le criquet migrateur *Locusta migratoria* (Orth. Oedipodinae) dans le Sahara algérien. Perspectives de lutte biologique à l'aide de microorganismes pathogènes et de peptides synthétiques. Thèse de Doctorat, Inst. Nati. Agro, El Harrach, 140p.
- **APPERT J. et DEUSE J.**, 1982- Les ravageurs des cultures vivrières et maraichères sous les tropiques . G- PMaisonneuve & Larousse, Paris, 420p.
- **BARBOUCHE N., HAJJEM B., LOGNAY G. et AMMAR M.**, 2001. Contribution à l'étude de l'activité biologique d'extraits de feuilles de *Cestrum parqui* L'Hérit. (Solanaceae) sur le criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forsk). Biotechnol. Agronom. Soc. Environ, 5 (2) : 85-90.
- **BEAUMONT A. et CASSIER P.**, 2001- Travaux pratique de biologie animale : zoologie, embryologie, histologie. Dunod,Paris.
- **BEAUMONT A. et CASSIER P.**, 2009- Travaux pratique de biologie animale : zoologie, embryologie, histologie. Dunod,Paris, 502p.
- **BELHADI A.**, 2005- Impact de quelques plantes sur certains paramètres biologiques et physiologiques du criquet pèlerin, *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) en conditions contrôlées. Thèse Magister, Inst. Nati. Agro, El Harrach, 186 p.
- **BELLMANN H. et LUQUET G.**, 1995- Guide des Sauterelles, Grillons et Criquets d'Europe Occidentale. Delachaux et Niestle, Lausanne, 384 p.
- **BERRADJ F. et KHOUDI S.**, 2005- Etude de la toxicité de deux espèces bactériennes vis-à-vis des larves de *S. gregaria* (Orthoptera, Acrididae). Mém D.E.S. UMBB, Boumerdes, 112p.
- **BERENBAUM M.**, 1983- Effects of tannin on growth and digestion in two species of papilionids, 34:245-250.
- **BALACHOWSKY A. et MESNIL L.**, 1936- Les insectes nuisibles aux plantes cultivées, leurs mœurs, leurs destruction. Etablissements Busson, Paris, 1921p.
- **BONNEMAISON L.**, 1961- Les ennemis animaux des plantes cultivées et des forêts. Sep. T.I, Paris, 599p.
- **BRAHMI K.**, 1998- Etude préliminaire de l'activité biologique d'une Actinomycetale *Bacillaceae*, *Bacillus subtilis* sur *Locusta migratoria* (Orthoptera, oedopodinae) au laboratoire. Mém. Ing. I.N.E.S, Blida, 60p.

- **BRAVO A.**, 1997- Phylogenetic relationships of *Bacillus thuringiensis* deltaendotoxin family proteins and their functional domains. *J.Bacteriol*, 179 : 2793–2801.
- **BROSSARD** et **TERRY.**, 1984- Bactériologie systématique. C.R.D.P, Lyon, 220p.
- **CASTELLA C.**, 2008- Cry1C, toxine de *Bacillus thuringiensis* : analyse des récepteurs potentiels et du mode d'action sur lignées cellulaires Sf9. Diplôme de l'école pratique des hautes études. Science de la vie et de la terre, France.
- **CERSTIAENS A., VERLEYEN P., VAN RIE J, VAN KERKHOVE E., SCHWARTZ J.L.** et **SCHOOFS L.**, 2001- Effect of *Bacillus thuringiensis* Cry1 Toxins in Insect Hemolymph and Their Neurotoxicity in Brain Cells of *Lymantria dispar*. *Applied and Environmental Microbiology* ,67(9) : 3923–3927.
- **CHAPMAN R.F.** et **JOERN A.**, 1990- Biology of grasshoppers. John Wiley & Sons , New York , 563 p.
- **CHAPUIS M.P., LOISEAU A., MICHALAKIS Y., LECOQ M.** et **ESTOUP A.**, 2005- Characterization and PCR multiplexing of polymorphic microsatellite loci for the locust *Locusta migratoria*. *Molecular Ecology Notes* ,5 : 554–557.
- **CHARA B.**, 1995- Eléments sur l'anatomie des acridiens. Stage de formation en lutte antiacridienne. INPV-OADA, El Harrach, Alger, 19-31.
- **CHAURASIA B., PANDEYA A., PALNIB L.M.S., TRIVEDIA P., KUMARA, B.** et **COLVINC N.**, 2005- Diffusible and volatile compounds produced by an antagonistic *Bacillus subtilis* strain cause structural deformations in pathogenic fungi in vitro. *Microbiological Research* ,160 : 75-81.
- **CHAUVIN R.**, 1956- Anatomie et histologie du tube digestif de *Schistocerca gregaria*. *Bulletin de la société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du nord*, 18 : 488-499.
- **CIRAD** (2006, <http://locust.cirad.fr>).
- **CHOPARD L.**, 1943- Orthoptéroïdes de l'Afrique du Nord. Faune de l'empire français 1. Librairie Larose, Paris, 450p.
- **CHOPARD L.**, 1938- La biologie des orthoptères . Paul Lechevalier, Paris, 541p.
- **CHOPARD L.**, 1932- Sur la présence du criquet migrateur (*Locusta migratoria* L.) en Normandie. *Bulletin de la Société Entomologique de France*, Paris, 37 : 122-123 .
- **C.O.P.R.** [Centre for Overseas Pest Research], 1982 – The locust and grasshopper agricultural manual, London, 690 p.
- **DEDET P.**, 2007- La microbiologie, de ses origines aux maladies émergentes. Donod, Paris, 262p.
- **DEFAUT B ., MORICHON D ., MORIN D .et PUISSANT S.**, 2012- *Locusta cinerascens* (Fabricius), espèce distincte de *Locusta migratoria* L. (Caelifera, Acrididae, Locustinae). *Matériaux Orthoptériques et Entomocénétiques*, 17 : 5-7
- **DEFAUT B.**, 2005- Sur la répartition de *Locusta migratoria migratoria* (L.) en France (Caelifera, Acrididae, Oedipodinae). *Matériaux Orthoptériques et Entomocénétiques* 10 : 81-86.
- **DE GREGORIO R.**, 1996 – Le criquet pèlerin *Schistocerca gregaria*, biologie et élevage : Durée de développement et rythme de ponte dans les conditions de laboratoire. C.A.U.P.P.A., Serv. Film Rech. Scien, Pau ,Paris.
- **DHOUBI H.M .,** 2002- Introduction à l'entomologie : morphologie, anatomie, systématique et biologie des principaux ordres d'insectes. Centre de publication universitaire, Tunis, 226p.
- **DIOP B.** et **WILPS H.**, 1997- Field trials with neem oil and *Melia volkensii* extracts on *S. Gregaria* : 201-207 in KRALL S., PEVELING M. and DIALLO D., *New Strategies in Locust Control*. Birkhäuser. Basel, Switzerland, 522 p.

- **DIRSH V.M.** et **DESCAMPS M.**, 1968- Insectes Orthoptères Acridoidea, Faune de Madagascar, Paris, 26 : 312 p.
- **DOBSON H.M.**, 2001- Directive sur le criquet pèlerin 4 : lutte antiacridienne . FAOUN, Rome, 47p.
- **DOUMANDJI S.** et **DOUMANDJI-MITICHE B.**, 1994 – Criquets et sauterelles (Acridologie). Office Publ. Univ, Alger, 99 p.
- **DUNPHY G. B.** et **TIBELIUS K. H.**, 1992- Les progrès biotechnologiques augmentant l'efficacité de *Bacillus thuringiensis* et de *Bacillus sphaericus* en tant qu'insecticide microbien, in lutte biologique : 305-320.
- **DURANTON J.F.**, **LAUNOIS M.**, **LAUNOIS-LUONG M.H.** et **LECOQ M.**, 1982 – Manuel de prospection acridienne en zone tropicale sèche. Cirad-Prifas, Départ. G.E.R.D.A.T, Paris, 695 p.
- **DURANTON J.F.**, **LAUNOIS M.**, **LAUNOIS-LUONG M.H.** et **LECOQ M.** et **RACHADI T.**, 1987 – Guide antiacridien du Sahel. Cirad – Prifas. Départ. G.E.R.D.A.T, Montpellier, 343 p.
- **DURANTON J.F.** et **LECOQ M.**, 1990 – Criquet pèlerin au Sahel. Cirad-Prifas. 'Collection Acridologie Opérationnelle 6', Montpellier, 183 p.
- **ELLIS R.T.**, **STOCKHOFF B.A.**, **STAMP L.**, **SCHNEPF H.E.**, **SCHWAB G.E.**, **KNUTH M.**, **RUSSELL J.**, **CARDINEAU G.A.** et **NARA K.E.**, 2002- Novel *Bacillus thuringiensis* binary insecticidal crystal proteins active on western corn rootworm, *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte. Appl. Environ. Microbiol, 68 : 1137–1145.
- **FARROW R.A.** et **COLLESS D.H.**, 1980- Analysis of the interrelation ships of geographical races of *Locusta migratoria* (L.) (Acrididae) by numerical taxonomy, with special reference to sub-speciation in the tropics and affinities of the Australian race. *Acrida*, 7 : 76-96.
- **FAUST P.** et **BULLA L.**, 1982- "Bacteria and their toxins as insecticides". In **KURSTAK E.**, Microbial and viral pesticides. MerceL Dekker, New York :75–208.
- **FERENZ H J.**, **LUBER K.** et **WIETING J.**, 1994- Pheromones as a means of controlling migratory locusts. In: New trends in locust control (eds. S. Krall, H. Wilps). GTZ. Eschborn. TZ-Verlagsgesellschaft Rossdorf : 81-89.
- **FESCEMYER H.W.**, 1993- Influence of phase polymorphism on the morphometric and physiological processes in preparation for insect migration.
- **FISHELSON L.**, 1985- Fauna Palaestina. Insecta III, Orthoptera: Acridoidea, Jerusalem, 229 pp.
- **GLARE T.R** et **O'CALLAGHAN M .**, 2000- "*Bacillus thuringiensis*: biology, ecology and safety". John Wiley & Sons, Ltd ,350 p.
- **GRASSE P.P.**, 1949- Traité de zoologie. Anatomie, systématique, biologie. Masson, Paris, t. IX, 1117 p.
- **GREATHEAD D.J.**, **KOOYMAN C.**, **LAUNOIS-LUONG M.H.** et **POPOV G.B.**, 1994 – Les ennemis naturels des criquets du Sahel. Cirad – Prifas. 'Collection Acridologie Opérationnelle 8', Montpellier, 147 p.
- **GRICHANOV I.Y.** et **SAULICH M.I.**, 2003- The area and zones of mass outbreaks of the Migratory Locust(*Locusta migratoria* (L.)). http://www.agroatlas.spb.ru/pests/Metadata/Meta_Locusta_migratoria_en.htm.
- **GUPTA D.K.** et **VYAS M.**, 1989- Efficacy of *Bacillus subtilis* against mosquito larvae (*Anopheles culicifacies*). Zeitschrift fuer Angewandte Zoologie, 76(1) : 85-91.
- **HARZ K.**, 1975- Die Orthopteren Europas II - The Orthoptera of Europe II Series Entomologica, 11: 1-939.
- **HEIMPEL A. M.**, 1967- A critical review of *Bacillus thuringiensis* var. *thuringiensis* Berliner and other crystalliferous bacteria. Ann. Rev. Entomol, 12 :287.

- **HEIMPEL A. M.** et **ANGUS T. A.**, 1963- Diseases caused by certain spore forming bacteria, in *Insect Pathology: An Advanced Treatise*. Vol. 2. Steinhaus. E. A., Academic Press, New York, 21.
- **HEMOUR S.**, 2009- Effet d'un bio pesticide « *Green Muscle* » (*Metarhizium anisopliae* var. *acridum* IMI 330189) sur la reproduction du criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* Forskål (1775) (*Acricidae, Cyrtacanthacridinae*) en conditions contrôlées. Thèse Magister, Ins. Nati. Agro, El Harrach, 163 p.
- **HIGUCHI K., SAITOH H., MIZUKI E., HWANG S.H.** et **OHBA M.**, 1998- A novel isolate of *Bacillus thuringiensis* serovar leesis that specifically exhibits larvicidal activity against the moth-fly *Telmatoscopus albipunctatus*. *Syst. Appl. Microbiol*, 21 : 144–150.
- **IDRISSI HASSANI L.M., OULD AHMEDOU M.L., MAYAD E.H.** et **BOUAICH A.**, 2002- pouvoir insecticide de *Peganum harmala* sur *Schistocerca gregaria*, effets de l'huile et des extraits des feuilles. *Biologie et santé*, 2(2) : 122-123.
- **JOURDHEUIL P., GRISON P** et **FRAVAL A.**, 1992- La lutte biologique: un aperçu historique. *La lutte biologique. Dossier de la Cellule environnement de l'INRA*, 5 :11-35.
- **KABASSINA B.**, 1990- Comparaison faunistique des Caelifères de la station de Caïd Gacem et de divers étages bioclimatiques du Togo. Thèse .Ing, Inst. Nat. Agro, El Harrach : 32-82.
- **KANG L., HONGCHANG L.** et **YONGLIN C.**, 1989- Analysis of numerical character variations of geographical populations of *Locusta migratoria* phase solitaria in China. *Acta Entomologica Sinica*, 32: 418-426.
- **LACOUSIERE J. O.** et **BOISVERT J.**, 2004- Le *Bacillus thuringiensis israelensis* et le contrôle des insectes piqueurs au Québec. Ministère de l'Environnement. Envirodoq no ENV/2004/0278, 101 p.
- **LAMBERT .B .**et **PEFEROEN .M .**, 1992- "Insecticidal promise of *Bacillus thuringiensis*". *Bioscience*, 42 :112-122.
- **LARPENT P.J .**et **GAURGAUD L.M.**, 1997- *Mémento technique de microbiologie* .Lavoisier, Paris, 934p.
- **LAUNOIS-LUONG M.A.** et **LECOQ M.**, 1993- Manuel explicatif du code OMM de transmission des informations sur les criquets ravageurs. Ciraf-Prifas, Genève, 31 p.
- **GRASSE P.P .**, 1949- *Traité de zoologie : Anatomie, systématique et biologie*. Masson et C^{ie}. T. IX, Paris, 1117p.
- **LAUNOIS-LUONG M.H.** et **LECOQ M.**, 1989 – *Vade Mecum des criquets du Sahel*. Cirad-Prifas. 'Collection Acridologie Opérationnelle 5', Montpellier, 125 p.
- **LAUNOIS-LUONG M.A., LAUNOIS M.** et **RACHADI T.**, 1988- la lutte chimique contre les criquets du Sahel. Coll. Acrid. Operat. 3 . Cirad – Prifas, Montpellier, 125p.
- **LAUNOIS-LUONG M.H., RACHADI. T.** et **DEUSE. J.**, 1994- Les biopesticides en lutte antiacridienne. *Insectes*, 29.
- **LAZARE K., HAUBRUGE E., DESTAIN J., THONART P., LIENARD V.** et **GASPAR C.**, 1996- Utilisation de *Bacillus subtilis* comme insecticide à l'égard de *Drosophila melanogaster* (MEIGEN). *Med. Fac. Landbouwen*, 61(3a) : 887-893.
- **LEBOUZ I.**, 2009- Activité biologique des extraits foliaires de *Cleome arabica* L (Capparidaceae) chez *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) (Orthoptera, Acrididae). Thèse Magister. Université Mohamed Khider, Biskra, 115p.
- **LECOQ M.,1991-** Le criquet migrateur en Afrique et a Madagascar. Cirad-Prifas, Montpellier, 31p.
- **LERECLUS D** et **CHAUFAUX J.**, 1986- Etat actuel de la lutte biologique a l'aide de *Bacillus thuringiensis* : ce bioinsecticide permettra t-il demain d'atteindre le doryphore ? *Cah. Liaison O.P.I.E. Guyancourt*, 20(4).63 :15-20.

- **LI J., KONI P.A., ELLAR D.J.**, 1996- Structure of the mosquitocidal - endotoxin CytB from *Bacillus thuringiensis sp. kyushuensis* and implications for membrane pore formation. *J. Mol. Biol.*, 257: 129–152.
- **LINGLI S., MEIYING G., SHUNYING D., YAN WU., DAN YI. et RONGSEN L.**, 2008- Specific activity of a *Bacillus thuringiensis* strain against *Locusta migratoria manilensis*. *ELSEVIER. Journal of Invertebrate Pathology*, 98 : 169–176.
- **LOMER C.J. et PRIOR C.**, 1992- Lutte biologique contre les acridiens. *Comptes rendus Inst. Nat. Agri.Trop. Cotonou* : 79-88.
- **LUONG-SKORMAND M.H., RACHADI T. et LECOQ M.**, 1999- La lutte contre les criquets ravageurs : l'intérêt des mycopesticides. *Cirad-Amis-Programme Protection des cultures, Paris*, 19 : 49-52.
- **MASSON M.**, 1989- Locustes et sautériaux : Le criquet migrateur africain : biologie et lutte, Bayer, Hevertusen, 39p.
- **MATHIAS k.**, 2001- Les possibilités de la lutte microbiologique. *Vertigo. La revue électronique en sciences de l'environnement. Lodel*, 2 :1 – 18.
- **MCLAUGHLIN R. E.**, 1971- Use of Protozoa for microbial control of insects : 151-172 in **BURGES H. D. et HUSSEY N. W.**, *Microbial control of insects and mites. Academic Press, New York*, 861p.
- **MEYNADIER G., MARGIER A. A., GIRARDIE J. et VAGO C.**, 1992- Une entomopoxvirose chez l'orthoptère *Anacridium aegyptium*. *Entomophag*, 37: 453-464.
- **MILLER L. K., LINGG A. J., et BULLA L. A.**, 1983- Bacterial, viral and fungal insecticides. *Sci* , 219: 715-721.
- **MOHAND-KACI H.**, 1998- Etude de la toxicité de *Bacillus subtilis* (*Sporulale, Bacillaceae*) sur les cinq stades larvaires et les imagos de *Schistocerca gregaria* (*Orthoptera, Acrididae*). Effet sur la respiration et le rythme cardiaque. *Mém.Ing, Ins. Nat.Agro, El Harrach*, 89p.
- **MOHAND-KACI H.**, 2012-Evaluation de l'impact biologique de quelques souches locales de *Bacillus sp.* Et *Pseudomonas spp. Fluorescens* vis-à-vis du criquet migrateur *Locusta migratoria cinerascens* (Oedopodinaen : Acrididae). Thèse de Doctorat , Ecole. Nat. Agro. El Harrach, Alger, 172p.
- **MOHAND-KACI H. et DOUMANDJI-MITICHE B.**, 2012- Mise en évidence du pouvoir entomopathogène de *Bacillus sphaericus* vis-à-vis du criquet migrateur *Locusta migratoria* (Orthoptera : Acrididae). *Entomol Gener*, 33 (4) : 289-300.
- **MOSCARDI F.**, 1999- "Assesment of the application of baculovirus for control of Lepidopteres". *Annu. Rev. Entomol* , 44 :257-289.
- **MOUSSA A.**, 2003- Effet de l'huile de neem (*Azadirachta indica*) sur quelques paramètres biologiques et physiologiques de *Locusta migratoria migratoria* (Linné, 1758) et *Locusta migratoria migratorioides* (R et F, 1850) (Orthoptera, Acrididae). Thèse Magister , Inst. Nati. Agro., El Harrach, 123 p.
- **OULD AHMEDOU M. L., BOUAICHI A. et IDRISSE HASSANI L. M.**, 2001- Mise en évidence du pouvoir répulsif et toxique de *Glinus lotoides* (Aizoacées) sur les larves du criquet pèlerin, *Schistocerca gregaria* Forskål (*Orthoptera, Acrididae*). *Zool. baetica*, 12: 109-117.
- **OULD EL HADJ M.D.**, 1992- Bioécologie des sauterelles et des sautereaux dans trois zones d'études au Sahara. Thèse Magister , Inst .Nati. Agro, El Harrach, Alger.
- **OUTTAR F.**, 2009- L'utilisation de quelques biopesticides sur le criquet migrateur *Locusta migratoria* (Linné, 1758) (Oedopodinaen Acrididae). Thèse Magister , Ins. Nati. Agro, El Harrach, Alger.

- **PARRY J.M., TURNBULL P.C.B. et GIBSON J.R.**, 1983- A Colour Atlas of *Bacillus* Species. Wolfe Medical Publications. Ltd, London.
- **PAYNE C. C.**, 1982- Insect viruses as control agents. *Parasitology*, 84 : 35-77.
- **PHILOGENE B.J.R.**, 1991- L'utilisation des produits naturels dans la lutte contre les insectes : problème et perspective. La lutte anti acridienne. AU PELF-UREF : 269-278.
- **POPOV G.B., LAUNOIS-LUONG M.H. et VAN DER VEEL J.J.**, 1990- Les oothèques des criquets du Sahel. Cirad-Prifas. 'Collection Acridologie Opérationnelle 7', Montpellier, 153p.
- **RACHADI T.**, 1991- Promesses et limites de la lutte chimique dans la stratégie antiacridienne. In : Essaid A- la lutte anti-acridienne. AUPELF-UREF, John Libbey Eurotex :151-165.
- **RAHMANI N. et KAIS S.**, 2005- Evaluation de l'impact biologique de *Bacillus subtilis* et *Bacillus thuringiensis* vis-à-vis des larves de *S. gregaria* (*Orthoptera, Acrididae*). Mém D.E.S. UMBB, Boumerdes.
- **REMBOLD H.**, 1997- *Melia volkensii*: a natural insecticide against desert locust : 185-191 in KRALL S., PEVELING R. and BA DIALLO D- New strategies in locust control. Birkhäuser Verlag, Basel/ Switzerland, 522p.
- **ROBERT P.A.**, 1972- Les insectes 1-Aptères, Archiptères, Orthoptères, Coléoptères, Névroptères, Delachaux et Neistle. Coll. Les Beautés de la Nature Suisse, 170p.
- **ROSA PAIVA M.**, 1997- Potential of the use of semiochemicals against *Locusta migratoria migratorioides* (R & F). In: New trends in locust control (eds. S. Krall, H. Wilps).GTZ. Eschborn. TZ-Verlagsgesellschaft Rossdorf : 293-303.
- **SEBESTA .K., FARKAS. J. et HORSKA. K.V.**, 1981- "Thuringiensin, the beta-exotoxin of *Bacillus thuringiensis* ". In : H. D. Burges. Ed. Microbial control of pests and plant diseases. 1970–1980. Academic. New York : 249–281.
- **STARNES R. L., LIU et MARONE P.G.**, 1993- History, use and future of microbial insecticides. *Amer. Entomol*, 39 :83-91.
- **STEEDMAN A.**, 1988- Locust Handbook. Overseas Development Natural Resources Institute, London, 180 p.
- **TAIL G., BOURCHOROUN B. et DOUMANDJI-MITICHE B.**, 2006- effect of *diflubenzuron* on the fourth and fifth stage larvae of the desert locust *Schistocerca gregaria* under laboratory conditions. Ninth arab congress of plant protection. 19-23 November, Damascus, Syria.
- **TAIL G.**, 1998- Action de quelques substrats alimentaires sur quelques paramètres biologiques de *Schistocerca gregaria* (Forsk., 1775) (*Orthoptère, Acrididae*). Efficacité entomopathogène de *Pseudomonas fluorescens* (*Pseudomonadaceae*) sur quelques aspects physiologiques du criquet pèlerin. Thèse Magister, Inst. Nat. Agro, El Harrach, 190p.
- **TAILOR R., TIPPETT J., GIBB G., PELL S., PIKE D., JORDAN L. et ELY S.**, 1992- Identification and characterization of a novel *Bacillus thuringiensis* delta-endotoxin entomocidal to coleopteran and lepidopteran larvae. *Mol. Microbiol*, 6 : 1211–1217.
- **THIAM A., DIOUF H.R., KUISEUAL J., SARR A., THIAM M.**, 2004 - Pesticides et Alternatives- Lutte antiacridienne : Guérir c'est bien, mais prévenir c'est mieux. Pesticide Action Network (PAN) Africa, Dakar, 23p.
- **UVAROV B.P.**, 1977- Grasshoppers and locusts. A handbook of general acridology. Vol. II : Behaviour, Ecology, Biogeography, Population Dynamics. Centre for Overseas Pest Research, London, 614 p.
- **WEST R. J., THOMPSON D., SUNDARAM K.M., SUNDARAM A., RETNAKARAN A. et MICKLE R.**, 1997- Efficacy of aerial applications of *Bacillus Thuringiensis Berliner* and tubufenozide against the eastern hemlock looper (*Lepidoptera : Geometridae*). *Rev. Canad. Entomo*, Canada, 129 : 613-626.

- **WRAIGHT R. J.** et **ROBERTS D. W.**, 1987- Insect control effort with fungi. *Devel. Industr. Microbiol*, 28: 77-87.
- **ZAKARIA O.** et **SAGNIA S.B.**, 2003- Lutte intégrée contre les sautériaux et les locustes: importance du biopesticide *Green Muscle*. Centre Régional Agrhymet, 15p.
- **ZIMMERMAN S.B.**, **SCHWARTZ C.D.**, **MONAGHAN R.L.**, **PLEAK B.A.**, **WEISSBERGER B.**, **GILFILLAN E.C.**, **MOCHALES S.**, **HERNANDEZ S.**, **CURRIE S.A.**, **TEJERA E.** et **STAPLEY E.O.**, 1987- Difficidin and oxydifficidin : novel broad spectrum antibacterial antibiotics produced by *Bacillus subtilis*. *J. Antibiotics* ,40(12) : 1677-1681.
- **ZOLOTAREVSKY B.**, 1938- Recherches sur les foyers grégarigènes du criquet migrateur africain (*locusta migratoria migratoroides* Rich. Et Frm., Orth.). *Bull. soc. Hist. Nat. Afrique du nord*. T. XXIX ,(20) : 123-240.

RESUME

Résumé

Le criquet migrateur *Locusta migratoria* est un redoutable bio-agresseur du fait de son régime polyphage. Cet insecte cause des dégâts innombrables dans le cadre de l'agriculture vu l'étendue de ses invasions. Afin de résoudre ce problème agaçant, plusieurs travaux ont été menés, la plupart d'entre eux ont eu recours à la lutte chimique qui a beaucoup aidé à minimiser les résultats catastrophique de cet insecte mais la contribution de ceux-ci reste inefficace voire néfaste, chose qui a alourdi le bilan environnemental par l'intoxication de l'homme et du bétail, la raréfaction et la destruction de la faune utile et les insectes auxiliaires. A partir de cette problématique, nous avons pensé à remédier à ce phénomène par le biais de la lutte biologique. Les microorganismes entomopathogènes se considèrent comme une alternative dans l'assurance d'une protection phytosanitaire performante. Notre travail s'articule autour de l'impact des deux souches bactériennes (*Bacillus subtilis* et *Bacillus thuringiensis*) sur la physiologie de la nutrition et la physiologie de la reproduction de *L.m.* Il révèle en premier lieu l'efficacité du *B.s* sur l'évolution pondérale, le gain du poids et la durée du passage au stade adulte des larves L5 de *L.m.*, alors que le taux de mortalité de ces larves paraît plus affecté par le *B.t.* En deuxième lieu l'effet des deux souches bactériennes (*B.s* et *B.t.*) sur l'E.C.I et l'E.C.D a été révélé, ce qui a influencé négativement sur la croissance des larves L5 de *L.m.* Enfin les résultats montrent que le *B.s* exerce un effet remarquable sur le délai de l'émission de la première ponte, le rythme de ponte et le taux de fertilité par rapport à celui engendré par le *B.t.*

Mots clés : *Locusta migratoria*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus thuringiensis*, croissance, reproduction.

Abstract

The migratory locust (*Locusta migratoria*) is a dreadful bio-aggressor due to its polyphagous diet. This insect causes countless damages as to agriculture given the extent of its invasions. To solve this annoying problem, several studies have been conducted; most of them resorted to chemical control that helped a lot to minimize the catastrophic results of this insect. However, the contribution of those ones remains ineffective or even harmful, the thing that increased the environmental balance by intoxication of humans and livestock, the depletion and destruction of valuable wildlife and beneficial insects.

Starting from this problematic, we thought to address this phenomenon through biological struggle. The entomopathogenic microorganisms are considered as an alternative in the assurance of a successful phytosanitary protection. Our work focuses on the impact of two bacterial strains (*Bacillus subtilis* and *Bacillus thuringiensis*) on the *L.m* physiology of nutrition and reproductive physiology. It reveals first the effectiveness of *B.s* on weight change, weight gain, and length of the transition of L5 larvae of *L.m* to adulthood, while the mortality rate of these larvae seems more affected by *B.t*. Secondly the effect of both bacterial strains (*B.s* and *B.t*) on the E.C.I and E.C.D was revealed, what negatively influenced the growth of L5 larvae of *L.m*. Finally, the results show that the *B.s* exerts a remarkable effect on the time of issuance of the first clutch, the rate of clutch and fertility rates compared to that generated by *B.t*.

Keywords: *Locusta migratoria*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus thuringiensis*, growth, reproduction.

ملخص

إن الجراد المهاجر (*Locusta migratoria*) هو كائن حيوي معتد مروع بسبب نظامه الغذائي المتعدد. تسبب هاته الحشرة أضرارا لا تعد ولا تحصى على الزراعة نظرا لمدى اجتياحها. لحل هذا المشكل المزعج، تم إجراء العديد من الدراسات. حيث لجأ معظمها للمكافحة الكيميائية التي ساعدت كثيرا على التقليل من النتائج الكارثية لهذه الحشرة. ومع ذلك، فإن مساهمتها تبقى غير فعالة وحتى ضارة، ما أثقل النتائج السبئية للتوازن البيئي عن طريق تسمم البشر والماشية، واستنزاف الحياة البرية القيمة والحشرات المفيدة وتدميرها.

انطلاقا من هذه الإشكالية، ارتأينا معالجة هذه الظاهرة من خلال مكافحة البيولوجية. وتعتبر الكائنات الحية المجهرية المستعملة لمكافحة الحشرة كبديل في ضمان حماية لصحة نباتية ناجحة. يركز عملنا على أثر سلالتين بكتيريتين (*Bacillus subtilis* و *Bacillus thuringiensis*) على فيزيولوجيا التغذية و الفيزيولوجيا التناسلية للجراد المهاجر. فهي تكشف أولا فعالية (*B.s*) في تغير الوزن، وزيادة الوزن، وطول الفترة الانتقالية ليرقات الجراد المهاجر L5 إلى مرحلة البلوغ، في حين أن معدل وفيات هاته اليرقات يبدو أكثر تأثرا بـ: (*B.t*). ثانيا، تم الكشف عن تأثير السلالتين البكتيريتين (*B.t* و *B.s*) على *E.C.I* و *E.C.D*، ما أثر سلبا على نمو اليرقات L5 للجراد المهاجر.

أخيرا، فقد بينت النتائج أن (*B.s*) له تأثير ملحوظ على زمن ظهور أول بيض، وعلى معدل البيض ونسبة الخصوبة مقارنة بتلك الناتجة عن *B.t*.

الكلمات المفتاحية

الجراد المهاجر، *Bacillus subtilis*، *Bacillus thuringiensis*، النمو، التكاثر.