

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Hassiba Benbouali de Chlef  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département des Sciences Agronomiques et Biotechnologie



# THÈSE

Présentée pour l'obtention du diplôme de

## DOCTORAT EN SCIENCES

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Protection des végétaux

Par

**Abdelhammid GACEMI**

Thème :

---

### **ETUDE BIOECOLOGIQUE DE QUELQUES ESPECES DE NOCTUELLES SUR CULTURES MARAICHIERES (LEPIDOPTERA : NOCTUIDAE) ET RECHERCHE DE MOYENS DE LUTTE DANS L'OUEST ALGERIEN**

---

Soutenue le 23/12/2020 devant le jury composé de :

Malika MEZIANE	MCA	Université de Chlef	Président
Ahmed TAIBI	Professeur	C.U de Tipaza	Directeur de thèse
Benali SETTI	Professeur	Université de Chlef	Examinateur
Kada RIGHI	MCA	Université de Mascara	Examinateur
Ahmed MOHAMMEDI	MCA	Université de Chlef	Examinateur
Amine GHELAMALLAH	MCA	Université de Mostaganem	Examinateur
Mahfoud M'HAMMEDI BOUZINA	Professeur	Université de Chlef	Invité

## **Remerciements**

*Mes remerciements vont d'abord à ALLAH tout puissant de m'avoir donné la force et la patience de réaliser ce travail.*

*Je tiens tout d'abord à remercier mon Directeur de thèse **Pr Taibi Ahmed** pour la confiance qu'il m'a témoigné en acceptant de diriger ce travail, pour toute la confiance qu'il m'a accordée, en acceptant de me diriger dans ce travail.*

*J'exprime ma reconnaissance au Professeur **M'hammedi Bouzina Mahfoud**, mon ex-directeur de thèse et Professeur à l'Université de Hassiba Benbouali Chlef, pour avoir accepté de m'encadrer au premier temps. Ses conseils, ses orientations m'ont été très bénéfiques pour la réalisation de cette thèse, qu'il soit rassuré de ma profonde gratitude.*

*Je tiens à remercier tout particulièrement Dr. **Meziane Malika**, Maître de conférences à l'Université de Hassiba Benbouali Chlef, qui m'a fait l'honneur d'accepter de présider le jury.*

*Je remercie Pr. **Setti Benali**, Professeur à l'Université de Hassiba Benbouali Chlef, Dr. **Righi Kada**, maître de conférences à l'Université de Mascara, Dr. **Mohammedi Ahmed**, Maître de conférences à l'Université de Hassiba Benbouali Chlef et Dr. **Ghelamallah Amine**, Maître de conférences à l'Université de Mostaganem, d'avoir eu l'amabilité d'accepter de faire partie du jury et de juger ce travail.*

*Mes remerciements s'adressent également au personnel du corps chercheurs et personnels de soutien de la station expérimentale INRAA Hmadna pour l'aide précieuse et la sympathie qui m'ont été apportées pour la réalisation de ce travail.*

*Mes vifs remerciement d'adressent à Mlle Abed Nour El Houda, M. Bellague Djamel, M. Tarmoul Kheirddine, M. Boumaaza Boualem, M. Ouabel Habib, M. Benzohra Ibrahim Elkhilil et M. Khaldi Abdelkrim pour leur contribution précieuse à la réalisation de ce modeste travail qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.*

*Une grande part de mes remerciements s'adresse à mes parents, mes frères et mes sœurs pour leur soutien moral, et encouragements au cours de ses longues années.*

## **Résumé**

La noctuelle méditerranéenne *Spodoptera littoralis* (Boisduval) et la noctuelle de tomate *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera : *Noctuidae*) sont des ravageurs répandus de nombreuses plantes cultivées en Algérie. Récemment, ces espèces s'attaquent à diverses cultures dans les régions du nord-ouest de l'Algérie. Pour étudier l'effet de différentes plantes hôtes végétales sur le cycle de vie et les indices nutritionnel de *S. littoralis* et *H. armigera*, nous avons sélectionné quatre espèces de plantes légumières d'intérêt économique et qui sont couramment cultivées dans ces régions : l'artichaut (*Cynara cardunculs* var. *Scolymus*), le chou (*Brassica oleracea*), la pomme de terre (*Solanum tuberosum*) et la tomate (*Solanum lycopersicum*). Le développement larvaire, prénymphal et nymphal, le poids corporel, la survie, la longévité et la fécondité des adultes des deux espèces de noctuelles et l'effet des plantes hôtes sur les indices nutritionnels ont été évalués sur chaque plante hôte dans des conditions de laboratoire. Les larves des deux insectes ont achevé leur cycle de vie avec succès sur toutes les plantes hôtes, avec des différences significatives entre les plantes hôtes. Le temps de développement des stades immatures de *S. littoralis* allait de 46,1 jours sur tomate à 62,74 jours sur chou, et de 47,75 jours sur tomate à 56,88 jours sur chou pour *H. armigera*. Les résultats des paramètres biologiques et des indices nutritionnels ont indiqué que le chou était partiellement résistant à *S. littoralis* et *H. armigera* en raison de la durée de développement plus longue et du faible taux de survie des stades de développement larvaire ainsi que les valeurs faibles d'ECI et ECD. Le deuxième volet de ce travail s'est axé sur l'étude écotoxicologique des produits biopesticides spinosad et le produit à base *Bacillus thuringiensis* Kurstaki (*Btk*) menés au laboratoire sur les larves de *S. littoralis* et *H. armigera* démontrent clairement la toxicité et efficacité élevée du spinosad par rapport au biopesticide (*Btk*) Le Spinosad sera probablement plus efficace sur le terrain par rapport aux autres insecticides. Ces données faciliteraient une meilleure intégration des bioinsecticides dans un programme de lutte intégrée contre les ravageurs ciblés en Algérie.

**Mots clés :** Noctuelles, paramètres biologiques, indices nutritionnels, biopesticide, lutte intégrée.

## **Abstract**

The Egyptian cotton leafworm *Spodoptera littoralis* (Boisduval) and the The cotton bollworm *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) are widespread pests of many plants grown in Algeria. Recently, these species are attacking various crops in the northwestern regions of Algeria. To study the effect of different plant hosts on the life cycle and nutritional indices of *S. littoralis* and *H. armigera*, we have selected four vegetable species of economic interest that are commonly grown in these regions: artichoke (*Cynara cardunculus* var *Scolymus*), cabbage (*Brassica oleracea*), potato (*Solanum tuberosum*) and tomato (*Solanum lycopersicum*). Larval, prepupal and pupal development, body weight, survivorship, longevity, adult fecundity of both noctuid species and the effect of host plants on nutritional indices were evaluated on each plant under laboratory conditions. The larvae of both insects have completed their life cycle successfully on all host plants, with significant differences between host plants. The development time of immature stages of *S. littoralis* ranged from 46.1 days on tomato to 62.74 days on cabbage, and from 47.75 days on tomato to 56.88 days on cabbage for *H. armigera*. Results from the biological and nutritional indices indicated that cabbage was partially resistant to *S. littoralis* and *H. armigera* due to the longer development time and low survival rate of larval development stages as well as lowest values of ECI and ECD. The second part of this work focused on the ecotoxicological study of biopesticides Spinosad and à base *Bacillus thuringiensis* Kurstaki (BtK) conducted in the laboratory on the larvae of *S. littoralis* and *H. armigera* which clearly demonstrate the high toxicity and efficacy of spinosad compared to biopesticides *Bacillus thuringiensis* Kurstaki (Btk) against larvae of both species. These data would facilitate a better integration of bi biopesticides into an integrated pest management program against targeted pests in Algeria.

**Key words:** Noctuidae moth, biological parameters, nutritional indices, biopesticides, integrated pest management.

## ملخص

تعتبر دودة ورق القطن (*Spodoptera littoralis* (Boisduval) و دودة الطماطم الليلية *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) (Hübner) من الآفات واسعة الانتشار للعديد من النباتات التي تزرع في الجزائر. في الآونة الأخيرة، تهاجم هذه الأنواع مختلف المحاصيل في المناطق الشمالية الغربية من الجزائر. لدراسة تأثير مضيفات النباتات المختلفة على دورة الحياة والمؤشرات التغذوية لـ *S. littoralis* و *H. armigera*، اخترنا أربعة أنواع من الخضروات ذات الأهمية الاقتصادية العالية والتي تزرع عادة في هذه المناطق: الخرشوف (*Cynara cardunculus* var )، الكرنب (*Brassica oleracea*)، البطاطا (*Solanum tuberosum*) والبطاطم (*Solanum lycopersicum*). تم تقييم تطور اليرقات، تطور الحوريات، وزن الجسم، الحيائية، طول العمر، و خصوبة الفراشات البالغة من كلا النوعين وتأثير النباتات المضيضة على المؤشرات الغذائية في كل نبات تحت ظروف المختبر. أكملت يرقات كل من الحشرتين دورة حياتها بنجاح على جميع النباتات المعيلة، مع وجود اختلافات كبيرة بين النباتات. تراوحت مدة تطور المراحل اليرقية لدودة ورق القطن (*S. littoralis*) من 46.1 يوماً على الطماطم إلى 62.74 يوماً على الملفوف، ومن 47.75 يوماً على الطماطم إلى 56.88 يوماً على الملفوف لدودة الطماطم الليلية. أشارت النتائج المستقاة من العوامل البيولوجية والمؤشرات الغذائية إلى أن الملفوف كان مقاوماً جزئياً للحشرات *S. Littoralis* و *H. armigera* نظراً لوقت الأطول لمراحل تطور اليرقات ومعدل البقاء المنخفض بالإضافة إلى القيم المنخفضة لمعاملتي التغذية ECI و ECD. ركز الجزء الثاني من هذا العمل على دراسة السمية الإيكولوجية للمبيدات الحشرية الحيوية التي أجريت في المختبر على يرقات *S. littoralis* و *H. armigera*. اثبتت النتائج بوضوح سمية وفعالية عالية للسينوزاد spinosad مقارنة مع إلى المبيد الحيوي *Bacillus thuringiensis* Kurstaki. ستسهل هذه البيانات دمج المبيدات الحيوية بشكل أفضل في برنامج مكافحة المتكاملة للآفات الحشرية في الجزائر.

**الكلمات المفتاحية:** الديدان الليلية، المراحل البيولوجية، المؤشرات الغذائية، المبيدات الحشرية الحيوية، الإدارة المتكاملة للآفات.

## TABLE DES MATIERES

Remerciement	
Résumé	
Abstract	
ملخص	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction générale.....	1

### PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

#### CHAPITRE I

#### GENERALITES SUR LES NOCTUELLES

1.1 Généralités.....	3
1.2 Classification.....	3
1.3 Présentation de quelques espèces de noctuelles.....	4
1.3.1. Les Noctuelles terricoles (vers gris).....	4
1.3.1.1. La Noctuelle ipsilon ( <i>Agrotis ipsilon</i> ).....	4
1.3.1.2. La noctuelle des moissons <i>Agrotis segetum</i> .....	5
1.3.1.3. Dégâts causés par les noctuelles terricoles.....	6
1.3.1.4. Lutte contre les noctuelles terricoles.....	6
1.3.1.4.1. Lutte culturale.....	6
1.3.1.4.2. Lutte chimique.....	7
1.3.1.4.3. Lutte biologique.....	7
1.3.2. Noctuelle de la tomate <i>Helicoverpa armigera</i> .....	7
1.3.2.1. Cycle de développement.....	8
1.3.2.2. Dégâts causés par la noctuelle de la tomate.....	8
1.3.2.3. Lutte contre <i>H. armigera</i> .....	9
1.3.2.3.1. Lutte chimique.....	9
1.3.2.3.2. Lutte biologique.....	9
1.3.3 La noctuelle gamma <i>Autographa gamma</i> .....	10
1.3.3.1. Cycle de développement.....	11
1.3.3.1.1. Œufs.....	11
1.3.3.1.2. Larves.....	11
1.3.3.1.3. Adultes.....	12
1.3.3.1 Dégâts causés par <i>Autographa gamma</i> .....	12
1.3.3.3 Les méthodes de lutte contre <i>Autographa gamma</i> .....	13
1.3.3.3.1 Surveillance.....	13
1.3.3.3.2 Contrôle biologique.....	13
1.3.4.3 La noctuelle méditerranéenne ou ver du coton <i>Spodoptera littoralis</i> .....	13
1.3.4.1 Description du ravageur.....	13
1.3.4.2. Cycle de développement.....	14
1.3.4.3. Dégâts causés par <i>Spodoptera littoralis</i> .....	14
1.3.4.4. Les méthodes de lutte contre <i>Spodoptera littoralis</i> .....	15
1.3.4.4.1. Lutte culturale.....	15
1.3.4.4.2. Piégeage en masse.....	15
1.3.4.4.3. Lutte transgénique.....	15
1.3.4.4.4. Lutte chimique.....	15
1.3.4.4.5. Lutte biologique.....	15

1.3.5. La noctuelle de betterave <i>Spodoptera exigua</i> .....	16
1.3.5.1. Description du ravageur .....	16
1.3.5.2. Cycle de développement .....	16
1.3.5.3. Les méthodes de lutte contre <i>S. exigua</i> .....	17
1.3.5.3.1. Lutte biologique .....	18
1.3.6. La noctuelle du chou <i>Mamestra brassicae</i> .....	18
1.3.6.1. Description du ravageur .....	18
1.3.6.2. Cycle de développement .....	19
1.3.6.3 Dégâts causés par la noctuelle du chou <i>Mamestra brassicae</i> .....	19
1.3.6.4 Les méthodes de lutte contre <i>Mamestra brassicae</i> .....	19
1.3.6.4.1 Lutte culturale et mesure prophylactique .....	19
1.3.6.4.2. Lutte biologique .....	20

**CHAPITRE II**

**GENERALITES SUR LES BIOPESTICIDES**

2.1 Introduction .....	22
2.2. La lutte intégrée .....	22
2.3 Les biopesticides .....	23
2.4. Les différentes catégories de biopesticides .....	24
2.4.1. Biopesticides microbiens .....	24
2.4.1.1 Les bactéries .....	24
2.4.3. Les virus .....	25
2.4.4. Les champignons .....	25
2. 4.5. Biopesticides végétaux .....	25
2.4.6. Biopesticides animaux (Semiochimique) .....	26
2.5 Modes d'action des biopesticides .....	26
2.6. Conclusion et perspectives d'avenir .....	27

**PARTIE EXPERIMENTALE**

**CHAPITRE III**

**IDENTIFICATION DES ESPECES DE NOCTUELLES**

3.1 Introduction .....	29
3.2. Matériel et méthodes .....	29
3.2.1. Collecte des larves .....	29
3.2.2. Élevage des noctuelles .....	30
3.2.3. Principaux critères de reconnaissance des adultes de la famille de Noctuidae .....	31
3.2.3.1. Caractères généraux .....	32
3.2.3.2. La tête .....	33
3.2.3.4. Le thorax .....	33
3.2.3.5. L'abdomen .....	34
3.2.3.6. Les pattes .....	34
3.3. Résultats .....	34
3.4. Présentation des ravageurs de la présente étude .....	35
3.4.1.1. L'œuf .....	35
3.4.1.2. La larve .....	36
3.4.1.2. Nymphe .....	36
3.4.1.3. Adulte .....	37
3.4.2. Description du ravageur Noctuelle de la tomate <i>Helicoverpa armigera</i> .....	38
3.4.2.1. Œufs .....	38
3.4.2.2. La larve .....	39
3.4.2.3. La nymphe .....	40



3.4.2.4. Les adultes.....	40
3.5. Discussion et conclusion .....	42

**CHAPITRE IV**

**BIOECOLOGIE DES NOCTUELLES**

4.1 Introduction .....	43
4.2 Présentation de la zone d'étude .....	44
4.3 Matériel et méthodes .....	45
4.3.1 Plantes hôtes .....	45
4.3.2 Insectes .....	45
4.3.3 Développement des larves et reproduction des adultes.....	46
4.4 Analyses statistiques .....	47
4.5 Résultats .....	49
4.5.1 Temps de développement, longévité des adultes, poids des nymphes et durée de vie ...	49
4.5.2 Période de ponte, fécondité et taux de survie.....	55
4.5.3 Paramètres d'accroissement de la population .....	64
4.6 Discussion .....	66
4.7 Conclusion.....	72

**CHAPITRE V**

**LES PERFORMANCES NUTRITIONNELLES DES NOCTUELLES**

5.1. Introduction .....	74
5.2. Matériel et méthodes .....	74
5.2.1 Expérimentation .....	74
5.3 Analyses statistiques .....	75
5.4 Résultats .....	76
5.5 Discussion .....	85
5.6 Conclusion.....	92

**CHAPITRE VI**

**EFFICACITE DES BIOPESTICIDES CONTRE LES NOCTUELLES**

6.1 Introduction .....	93
6.2 Matériel et méthodes .....	94
6.2.1 Elevage des insectes .....	94
6.2.2. Les bioinsecticides et leurs caractéristiques.....	94
6.2.2.1. Spinosad .....	94
6.2.2.2. Bacillus thuringiensis var. kustaki .....	95
6.2.3. Essai des biopesticides .....	95
6.3. Analyses statistiques .....	96
6.4. Résultats .....	97
6.4.1. Effet des doses recommandées sur la mortalité de <i>S. littoralis</i> et <i>H. armigera</i> .....	101
6.5. Discussions.....	103
6.6. Conclusion.....	104
Conclusion Générale .....	105
Références bibliographiques.....	107
Annexes	



## Liste des tableaux

<b>Tableau 1.</b> La moyenne ( $\pm$ ES) pré-oviposition, ainsi que la fécondité totale et la fécondité de <i>S. littoralis</i> émergeant de larves nourries sur diverses plantes hôtes	<b>56</b>
<b>Tableau 2.</b> La moyenne ( $\pm$ ES) pré-oviposition, ainsi que la fécondité et la fécondité de <i>H. armigera</i> émergeant de larves nourries sur diverses plantes hôtes	<b>56</b>
<b>Tableau 3.</b> Paramètres de croissance de la population de <i>S. littoralis</i> sur quatre plantes hôtes	<b>65</b>
<b>Tableau 4.</b> Paramètres de croissance de la population de <i>H. armigera</i> sur quatre plantes hôtes	<b>65</b>
<b>Tableau 5.</b> Indices nutritionnels des larves de troisième stade de <i>Spodoptera littoralis</i> sur différentes plantes-hôtes	<b>76</b>
<b>Tableau 6.</b> Indices nutritionnels des larves de troisième stade de <i>Helicoverpa armigera</i> sur différentes plantes-hôtes	<b>77</b>
<b>Tableau 7.</b> Indices nutritionnels des larves de quatrième stade de <i>Spodoptera littoralis</i> sur différentes plantes-hôtes	<b>78</b>
<b>Tableau 8.</b> Indices nutritionnels des larves de quatrième stade de <i>Helicoverpa armigera</i> sur différentes plantes-hôtes	<b>79</b>
<b>Tableau 9.</b> Indices nutritionnels des larves de cinquième stade de <i>Spodoptera littoralis</i> sur différentes plantes hôtes	<b>79</b>
<b>Tableau 10.</b> Indices nutritionnels des larves de cinquième stade de <i>Helicoverpa armigera</i> sur différentes plantes hôtes	<b>80</b>
<b>Tableau 11.</b> Indices nutritionnels de tous les stades larvaires de <i>Spodoptera littoralis</i> sur différentes plantes hôtes	<b>81</b>
<b>Tableau 12.</b> Indices nutritionnels de tous les stades larvaires de <i>Helicoverpa armigera</i> sur différentes plantes hôtes	<b>82</b>
<b>Tableau 13.</b> Valeurs DL <sub>50</sub> et DL <sub>90</sub> de Spinosad et <i>Btk</i> chez les larves de quatrième stade de <i>H. armigera</i>	<b>99</b>
<b>Tableau 14.</b> Valeurs DL <sub>50</sub> et DL <sub>90</sub> de Spinosad et <i>Btk</i> chez les larves de quatrième stade de <i>S. littoralis</i>	<b>99</b>
<b>Tableau 15.</b> Effet de différentes doses de du biopesticide Spinosad et <i>Btk</i> sur la mortalité des larves de <i>S. littoralis</i>	<b>100</b>
<b>Tableau 16.</b> Effet de différentes doses de du biopesticide Spinosad et <i>Btk</i> sur la mortalité des larves de <i>H. armigera</i>	<b>100</b>

## Liste des figures

<b>Figure 01</b> : La Noctuelle <i>Agrotis ipsilon</i> (A) Adulte (B) Larve d' <i>Agrotis ipsilon</i>	<b>05</b>
<b>Figure 02</b> : La Noctuelle des moissons <i>Agrotis segetum</i>	<b>06</b>
<b>Figure 03</b> : La noctuelle de la tomate <i>Helicoverpa armigera</i>	<b>08</b>
<b>Figure 04</b> : La noctuelle gamma <i>Autographa gamma</i>	<b>10</b>
<b>Figure 05</b> : La noctuelle méditerranéenne <i>Spodoptera littoralis</i>	<b>14</b>
<b>Figure 06</b> : La noctuelle de betterave <i>Spodoptera exigua</i>	<b>16</b>
<b>Figure 07</b> : La noctuelle du chou <i>Mamestra brassicae</i>	<b>18</b>
<b>Figure 08</b> : Dégâts de <i>H. armigera</i> sur tomate (A) et <i>S. littoralis</i> sur laitue (B)	<b>20</b>
<b>Figure 09</b> : Dégâts de <i>M. brassicae</i> sur chou (A) et <i>A. gamma</i> sur tomate (B)	<b>20</b>
<b>Figure 10</b> : Dégâts d' <i>Agrotis spp</i> sur laitue (A) <i>S. exigua</i> sur coton (B)	<b>21</b>
<b>Figure 11</b> : Plant d'artichaut infesté par les larves de noctuelles	<b>30</b>
<b>Figure 12</b> : Elevage des noctuelles au laboratoire	<b>30</b>
<b>Figure 13</b> : Larve de noctuelle s'alimentant de feuille de pomme de terre	<b>31</b>
<b>Figure 14</b> : Les motifs permettant de déterminer un Noctuidae	<b>32</b>
<b>Figure 15</b> : Adulte de <i>Spodoptera littoralis</i> .	<b>34</b>
<b>Figure 16</b> : Adulte de <i>Helicoverpa armigera</i>	<b>35</b>
<b>Figure 17</b> : les œufs de <i>S. littoralis</i>	<b>35</b>
<b>Figure 18</b> : La larve de <i>S. littoralis</i>	<b>36</b>
<b>Figure 19</b> : La nymphe de <i>S. littoralis</i>	<b>37</b>
<b>Figure 20</b> : L'adulte de <i>S. littoralis</i>	<b>37</b>
<b>Figure 21</b> : Schéma du cycle biologique de la noctuelle <i>Spodoptera littoralis</i>	<b>38</b>
<b>Figure 22</b> : l'œuf de <i>H. armigera</i>	<b>38</b>
<b>Figure 23</b> : Larves de <i>H. armigera</i>	<b>39</b>
<b>Figure 24</b> : Nymphe de <i>H. armigera</i>	<b>40</b>
<b>Figure 25</b> : Adultes de <i>H. armigera</i>	<b>41</b>
<b>Figure 26</b> : Schéma du cycle biologique de la noctuelle de <i>H. armigera</i>	<b>41</b>
<b>Figure 27</b> : Présentation de la zone d'étude et du site expérimental à l'INRAA de Hmadna	<b>44</b>
<b>Figure 28</b> : (A) Œufs de <i>S.littoralis</i> et (B) œufs en éclosion de <i>H.armigera</i>	<b>45</b>
<b>Figure 29</b> : Larve de <i>Spodoptera littoralis</i> (A) et <i>Helicoverpa armigera</i> (B)	<b>46</b>
<b>Figure 30</b> : Adulte de <i>Spodoptera littoralis</i> (A) et <i>helicoverpa armigera</i> (B)	<b>46</b>
<b>Figure 31</b> : Durée des stades embryonnaires et larvaires de <i>S. littoralis</i> élevé sur quatre plantes hôtes.	<b>50</b>
<b>Figure 32</b> : Durée des stades embryonnaires et larvaires de <i>H. armigera</i> élevé sur quatre plantes hôtes.	<b>50</b>
<b>Figure 33</b> : Durée des stades larvaire et nymphaux de <i>S. littoralis</i> élevé sur quatre plantes hôtes.	<b>51</b>
<b>Figure 34</b> : Durée des stades larvaire et nymphaux de <i>H. armigera</i> élevé sur quatre plantes hôtes.	<b>52</b>
<b>Figure 35</b> : Longévité des adultes de <i>S. littoralis</i> élevé sur quatre plantes hôtes.	<b>53</b>
<b>Figure 36</b> : Longévité des adultes de <i>H. armigera</i> élevé sur quatre plantes hôtes.	<b>53</b>
<b>Figure 37</b> : La durée de vie d'une génération de <i>S. littoralis</i> élevé sur quatre plantes hôtes.	<b>54</b>
<b>Figure 38</b> : La durée de vie d'une génération de <i>H. armigera</i> élevé sur quatre plantes hôtes.	<b>54</b>
<b>Figure 39</b> : Poids des nymphes de <i>S. littoralis</i> et <i>H. armigera</i> élevé sur quatre plantes hôtes.	<b>55</b>
<b>Figure 40</b> : Evolution de la fécondité journalière moyenne de la femelle de <i>Spodoptera littoralis</i> fécondée	<b>57</b>
<b>Figure 41</b> : Evolution de la fécondité journalière moyenne de la femelle de <i>Helicoverpa armigera</i> fécondée	<b>57</b>

<b>Figure 42</b> : Taux de survie cumulé (%) de <i>Spodoptera Littoralis</i> et <i>Helicoverpa Armigera</i> par rapport aux quatre plantes hôtes.	<b>58</b>
<b>Figure 43</b> : Le taux de survie spécifique par âge et stade (Age-stage specific survival rate) ( $S_{xj}$ ) de <i>Spodoptera littoralis</i>	<b>59</b>
<b>Figure 44</b> : Le taux de survie spécifique par âge et stade (Age-stage specific survival rate) ( $S_{xj}$ ) de <i>Helicoverpa armigera</i>	<b>60</b>
<b>Figure 45</b> : La survie par âge ( $l_x$ ), fécondité par âge et stade ( $fx$ ) et fécondité âge spécifique ( $m_x$ ) de <i>S. littoralis</i>	<b>61</b>
<b>Figure 46</b> : La survie par âge ( $l_x$ ), fécondité par âge et stade ( $fx$ ) et fécondité âge spécifique ( $m_x$ ) de <i>H. armigera</i>	<b>62</b>
<b>Figure 47</b> : La valeur de reproduction ( $V_{xj}$ ) de <i>S. littoralis</i>	<b>63</b>
<b>Figure 48</b> : La valeur de reproduction ( $V_{xj}$ ) de <i>H. armigera</i>	<b>66</b>
<b>Figure 49</b> : Poids des Prénymphes, nymphes et adultes de <i>Spodoptera littoralis</i> sur différentes plantes hôtes	<b>83</b>
<b>Figure 50</b> : Poids des Prénymphes, nymphes et adultes de <i>Helicoverpa armigera</i> sur différentes plantes hôtes	<b>83</b>
<b>Figure 51</b> : Dendrogramme de quatre plantes hôtes basé sur les indices nutritionnels de <i>S. littoralis</i>	<b>84</b>
<b>Figure 52</b> : Dendrogramme de quatre plantes hôtes basé sur les indices nutritionnels de <i>H. armigera</i>	<b>84</b>
<b>Figure 53</b> : Structure chimique du Spinosad	<b>95</b>
<b>Figure 54</b> : Larve de <i>Helicoverpa armigera</i> déposée sur un disque de feuille d'artichaut après traitement	<b>96</b>
<b>Figure 55</b> : Courbes dose-réponse basées sur la mortalité des larves de <i>S. littoralis</i> après 72 heures pour : (a) le Spinosad et (b) <i>Bacillus thuringiensis</i> Kurstaki (Btk)	<b>97</b>
<b>Figure 56</b> : Courbes dose-réponse basées sur la mortalité des larves de <i>H. armigera</i> après 72 heures pour : (a) le Spinosad et (b) <i>Bacillus thuringiensis</i> Kurstaki (Btk)	<b>98</b>
<b>Figure 57</b> : Effet des doses recommandées sur le taux de mortalité des larves de <i>S. littoralis</i>	<b>101</b>
<b>Figure 58</b> : Effet des doses recommandées sur le taux de mortalité des larves de <i>H. armigera</i>	<b>102</b>

# **INTRODUCTION**

## **GENERALE**

## INTRODUCTION GENERALE

Les noctuelles sont des espèces cosmopolites caractérisées par une parfaite adaptation aux différents biotopes. Elles sont signalées dans toutes l'Europe, l'Asie, l'Amérique et l'Afrique (Cayrol, 1972). Les noctuelles (Lepidoptera : Noctuidae) causent des dégâts importants sur plusieurs cultures maraichères, céréalières et fourragères et ceci est dû à leur extrême polyphagie. Parmi les noctuelles les plus nuisibles aux cultures, on trouve la noctuelle méditerranéenne ou le ver du cotonnier *Spodoptera littoralis* (Boisduval, 1833) et la noctuelle de la tomate *Helicoverpa armigera* (Hubner, 1808), qui sont des défoliateurs très polyphages de nombreuses plantes cultivées (Brown et Dewhurst, 1975 ; Holloway, 1989). Les deux espèces attaquent une large gamme d'hôtes d'au moins 87 espèces appartenant à 40 familles de plantes comprenant de nombreuses cultures maraichères, fruitières et ornementales (Salama et al., 1970). *S. littoralis* et *H. armigera* attaquent la plupart des cultures légumières, y compris la tomate, le poivron, l'aubergine, la laitue, l'artichaut, la fraise et l'asperge, mais endommagent également les plantes aromatiques et ornementales (Lanzoni et al., 2012).

*Spodoptera littoralis* et *Helicoverpa armigera* sont présents en Algérie et dans de nombreux autres pays africains, dans la région méditerranéenne et au Moyen-Orient, notamment à Chypre, à Malte, au Maroc, en Italie, en Grèce et en Espagne (Salama et al., 1970 ; Ahmad, 1988 ; Blackford et al., 1997 ; Champion et al., 1997 ; Azab et al., 2001 ; Hatem et al., 2009 ; Barkou et al., 2017). Les noctuelles causent divers dommages en se nourrissant de feuilles, parfois sous forme de ver gris sur les plantules et en détruisant de temps en temps les graines (Darvishzadeh et al., 2014).

Différentes plantes hôtes pourraient jouer un rôle important dans l'accroissement de la population des insectes ravageurs polyphages (Singh et Parihar, 1988 ; Lu et Xu, 1998). Sur le plan nutritionnel, l'efficacité d'utilisation reflète la qualité et la quantité de nourriture consommée (Naseri et al., 2010 ; Baghery et al., 2013), ce qui peut influencer de plus en plus sur les paramètres de développement, de reproduction et de survie des insectes (Scriber et Slansky, 1981 ; Tsai et Wang, 2001 ; Kim et Lee, 2002). En fait, des plantes de qualité médiocre peuvent réduire la survie des insectes, leur taille ou leur poids, leur longévité et leur viabilité de reproduction, ou augmenter indirectement leur exposition aux ennemis naturels en raison d'une période de développement prolongée (Ali et Gaylor, 1992 ; Awmack et Leather, 2002 ; Chen et al., 2008). Cependant, la présence de larves sur n'importe quelle culture ne signifie pas

nécessairement que la plante est un hôte pour l'insecte (Kitching et Zalucki, 1983). Afin de déterminer si une plante est un hôte convenable pour un insecte nuisible particulier, il doit pouvoir terminer son cycle de vie sur cette plante et se renouveler, ou avoir un taux intrinsèque d'augmentation de la population égale ou supérieure à zéro (Zalucki et al., 1986).

Les importants dégâts provoqués par ces ravageurs ont conduit à la mise au point de nombreuses méthodes de lutte. Les insecticides classiques sont largement utilisés pour contrôler ces ravageurs et pour surmonter les problèmes associés aux insecticides, de nouveaux groupes d'insecticides qui proviennent d'agents naturels ou des produits qui perturbent les processus physiologiques de l'organisme nuisible visé ont été développés et enregistrés comme des alternatives pour une utilisation dans les approches de lutte intégrée (Dhadialla et al., 1998 ; Thompson et al., 2000 ; Smagghe et al., 2003). Les programmes modernes de lutte intégrée mettent l'accent sur l'application de ces produits dits biopesticides, dans le but de réduire la mortalité élevée habituellement infligée aux ennemis naturels par des substances toxiques présentes dans l'environnement.

La lutte intégrée par l'utilisation des biopesticides est une alternative très prometteuse pour assurer une protection phytosanitaire performante. C'est dans ce contexte que s'inscrit notre travail qui a pour objectif de rechercher des méthodes de lutte contre les noctuelles *S. littoralis* et *H. armigera* en comparant la toxicité de deux biopesticides contre les larves des noctuelles, après avoir étudié leur développement larvaire. La longévité des adultes, la fécondité et déterminer l'utilisation alimentaire sur certaines cultures légumières hôtes cultivées en Algérie et la détermination de la pertinence de ces ravageurs sur les quatre plantes hôtes d'étude : artichaut, chou, pomme de terre et tomate. Les résultats fournis par cette étude nous aideront à comprendre le comportement des deux noctuelles sur différentes plantes hôtes, ce qui est essentiel pour améliorer les programmes de lutte intégrée sur les cultures légumières.

Les objectifs de cette présente thèse sont présentés comme suit :

- ▷ Identifier les noctuelles nuisibles aux cultures maraichères
- ▷ Etudier la bioécologie de certaines espèces identifiées
- ▷ Etudier les paramètres nutritionnels de chaque espèce sur plusieurs plantes hôtes.
- ▷ Tester l'efficacité des bioinsecticides contre les noctuelles dans le cadre d'un programme de lutte intégrée.

# **Chapitre I**

## **Généralités sur les noctuelles**



### 1.1 Généralités

Les noctuelles sont des insectes ravageurs cosmopolites appartenant à l'ordre des Lépidoptères et la famille des Noctuidae, elles sont signalées dans toutes l'Europe, l'Asie, l'Amérique et l'Afrique (Cayrol, 1972). Ces espèces sont extrêmement polyphages et causent des dégâts très importants sur les cultures maraîchères, fourragères, céréalières et industrielles. Sur les 160.000 espèces de papillons connues dans le monde, environ 35 000 sont des noctuidés, ce qui en fait la famille la plus importante de l'ordre des Lépidoptères. En Europe, on dénombre environ 1.450 espèces, 831 sont répertoriées en France (Delvare et Aberlenc, 1989). Les noctuelles les plus nuisibles et fréquemment rencontrées sont la noctuelle des moissons *Agrotis segetum*, la noctuelle ipsilon *Agrotis ipsilon*, le ver du cotonnier *Spodoptera littoralis*, la noctuelle gamma *Autographa gamma*, la noctuelle de la betterave *Spodoptera exigua* et la noctuelle de la tomate *Helicoverpa armigera* (Brown et Dewhurst, 1975).

### 1.2 Classification

La classification systématique et admise des noctuelles selon Leraut (1992) est comme suit :

**Règne :** Animalia

**Phylum :** Arthropoda

**Subphylum :** Hexapoda

**Classe :** Insecta

**Ordre :** Lepidoptera

**Sous-ordre :** Glossata

**Superfamille :** Noctuoidea

**Famille :** Noctuidae

**Sous-Famille** Acontiinae

**Sous-Famille** Acronictinae

**Sous-Famille** Aediinae

**Sous-Famille** Amphipyriinae

**Sous-Famille** Bryophilinae

**Sous-Famille** Condiinae

**Sous-Famille** Cuculliinae

**Sous-Famille** Dilobinae

**Sous-Famille** Eriopinae

**Sous-Famille** Eustrotiinae

**Sous-Famille** Hadeninae

**Sous-Famille** Heliothinae

**Sous-Famille** Metoponiinae

**Sous-Famille** Noctuinae

**Sous-Famille** Oncocnemidinae

**Sous-Famille** Pantheinae

**Sous-Famille** Plusiinae

**Sous-Famille** Psaphidinae

**Sous-Famille** Xyleninae

### **1.3 Présentation de quelques espèces de noctuelles**

Cette famille comporte un grand nombre d'espèces nuisibles aux cultures légumières on distingue :

#### **1.3.1. Les Noctuelles terricoles (vers gris)**

Les 2 espèces principales de noctuelles terricoles rencontrées sont *Agrotis ipsilon* et *Agrotis segetum*, les dégâts sont observés sur les jeunes plantations notamment.

##### **1.3.1.1. La Noctuelle ipsilon (*Agrotis ipsilon*)**

Chez *Agrotis ipsilon*, l'adulte mesure 45 mm d'envergure, les ailes antérieures sont marron avec une zone plus claire sur le quart apical. Chacune porte une tache claire uniforme se prolongeant par un triangle effilé noir. Les ailes postérieures sont beiges très pâles (figure 1). La larve mesure 45 mm, elle est de couleur grise avec sur chaque segment 4 points noirs disposés en trapèze. La tête est brun jaunâtre (Hill, 1983).

C'est une espèce migrante, les papillons sont nocturnes et peuvent effectuer dans l'année des déplacements importants. Au printemps, l'espèce migre vers le nord et se raréfie en Afrique et dans les régions méditerranéennes chaudes ; elle se regroupera dans les territoires qu'elle a fuis momentanément en effectuant un mouvement inverse en automne. Ces migrations concernent plusieurs générations (Hill, 1983). En France, cette noctuelle disparaît quasi totalement en hiver. Il existe 1 à 2 générations dans le nord de l'Europe. De la fin mars au début mai, les adultes apparaissent sur le littoral méditerranéen. Les femelles sexuellement mûres pondent et la population issue de ces pontes peut être très nuisible. Les adultes de cette génération poursuivent la migration vers le nord. De fin juillet à septembre, une migration nord-sud des adultes à lieu (Rings *et al.*, 1975).

Les femelles pondent 1.500 œufs par paquets de 10 à 15, de préférence dans les zones les plus humides et récemment travaillées pour les semis ou les plantations printanières. L'évolution embryonnaire dure 4 à 5 jours. La chenille s'alimente la nuit, elle ronge les feuilles, les pétioles et le collet des plantes, pendant le jour elle se dissimule. La croissance larvaire dure 45 à 60 jours au printemps. La larve se nymphose dans le sol (Pedgley et Yathom, 1993).



**Figure 01.** La Noctuelle *Agrotis ipsilon* (INRA, 2018)

(A) Adulte d'*agrotis ipsilon* (B) Larve d'*Agrotis ipsilon*

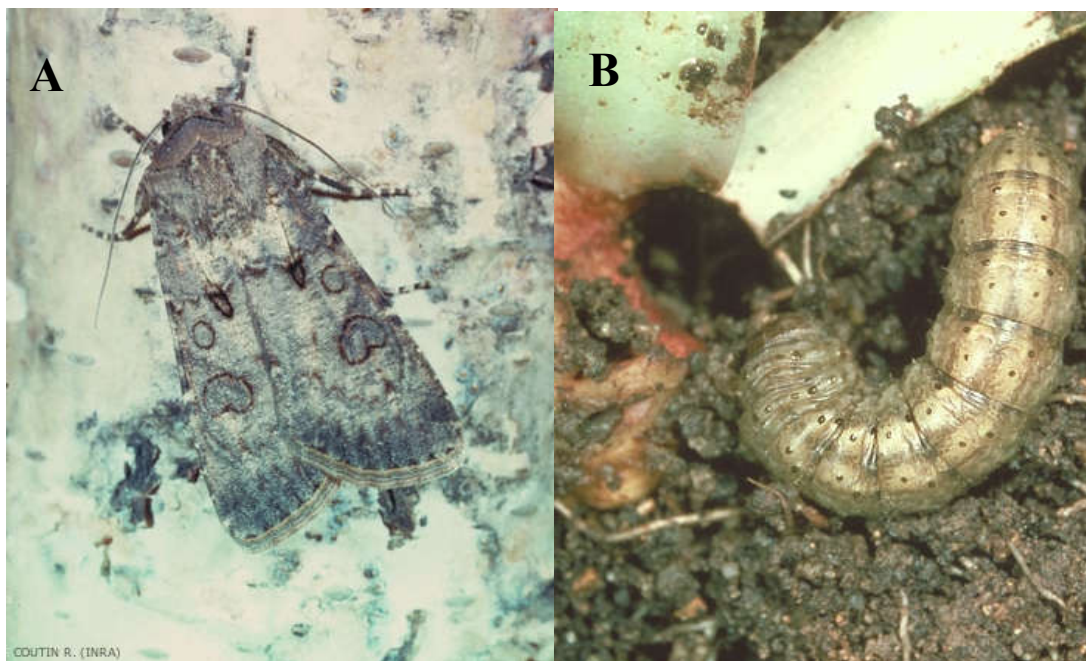
### 1.3.1.2. La noctuelle des moissons *Agrotis segetum*

L'adulte mesure 40 mm d'envergure. Les ailes antérieures sont brun foncé avec au centre une tache réniforme et une tache circulaire plus claires. Les ailes postérieures sont blanches chez le mâle et grises chez la femelle. Le pourtour des ailes porte un mince liseré noir (figure 2). La larve mesure 45 à 50 mm, la tête est rougeâtre, le corps grisâtre avec deux lignes parallèles dans la région médiane. Sur chaque segment il existe 2 petites taches noires à l'avant et 2 à l'arrière portant chacune une petite soie (Zethner, 1977) (figure 2)

Il y a 1 à 2 générations par an, quelquefois c'est possible d'avoir une 3<sup>ème</sup> génération partielle. Cette noctuelle hiverne à l'état de chenille à des stades différents selon les régions, la reprise de développement a lieu en mars-avril. Les adultes apparaissent de la mi-avril au début juin et la 1<sup>ère</sup> génération larvaire se développe de juin à juillet. Les chenilles se nymphosent en juin-juillet, les adultes apparaissent de la fin juillet au début septembre. Les chenilles se développent d'août à la fin octobre et hivernent à des stades divers. Certaines donnent une 3<sup>ème</sup> génération larvaire partielle en octobre-novembre. Cette espèce est considérée comme sédentaire mais les adultes semblent capables à certaines époques, d'effectuer des vols d'une amplitude limitée (Dunkelblum et Gothilf, 1985).

Les femelles déposent leurs œufs isolément ou en petits groupes à la face inférieure des feuilles de plantes spontanées, sur les tiges, ainsi qu'à la surface du sol (figure 2). La fécondité, est généralement de 800 à 1.200 œufs. La durée moyenne d'évolution embryonnaire est de 15 jours à 14,5 °C. La jeune chenille ronge d'abord les plantes spontanées puis s'attaque aux espèces cultivées voisines. Elle s'alimente la nuit, dévorant le feuillage et sectionnant les

pétioles (figure 2). Pendant la journée, elle se dissimule en s'enroulant sur elle-même sous une motte ou à une faible profondeur dans le sol (Zethner, 1977).



**Figure 02.** La Noctuelle des moissons *Agrotis segetum* (INRA, 2018)

(A) Adulte d'*agrotis segetum* (B) Larve d'*Agrotis segetum*

### 1.3.1.3. Dégâts causés par les noctuelles terricoles

Les noctuelles terricoles sont des ravageurs sérieux de légumes racines et de céréales. Les larves se nourrissent généralement de plantules, coupant leurs tiges au niveau du sol, ce qui les renverse. De plus, les larves peuvent se nourrir de racines, causant ainsi parfois de gros dégâts dans les champs nouvellement plantés (par exemple, le coton) au début de la saison. De gros trous se forment sur les racines à la surface du sol et les dommages causés aux tubercules de la pomme de terre ne sont découverts qu'à la récolte. Les pertes de betteraves et de carottes peuvent atteindre 20 à 30 % du rendement (Hill, 1983).

### 1.3.1.4. Lutte contre les noctuelles terricoles

#### 1.3.1.4.1. Lutte culturale

L'apparition occasionnelle de populations de vers gris noir pose un problème logistique de prévention, en particulier du fait que les larves résident dans le sol, rendant la détection difficile jusqu'à ce que les dommages aient révélé leur existence (Esbjerg et Sigsgaard, 2014). Les mesures de contrôle sont difficiles en raison de la localisation inaccessible des larves à certaines formes d'applications chimiques. Les parties de plantes et les tubercules infestés doivent être

détruits par incinération ou enfouissement en profondeur, l'élimination des mauvaises herbes et des plantes spontanées des champs précédemment endommagés et de leur environnement, et le labour en profondeur, constituent une mesure préventive. Les adultes peuvent être surveillés par piégeage à phéromone. Les premiers dégâts sont généralement attendus environ 2 semaines après le vol de pointe (Dunkelblum et Gothilf, 1985).

#### **1.3.1.4.2. Lutte chimique**

Des pulvérisations sur le terrain avec un insecticide organochloré endosulfan (dont l'utilisation est en train de disparaître) permettent parfois de lutter contre l'organisme nuisible. Les traitements doivent être appliqués lorsque les jeunes larves sont encore exposées, sur les plantes au-dessus du sol (Hill, 1983). Les pulvérisations peuvent être dirigées vers les larves du premier stade alors qu'elles se nourrissent encore sous le feuillage, ou bien des insecticides granulaires peuvent être appliqués sur le sol. Les appâts empoisonnés humidifiés peuvent être mélangés aux organophosphates trichlofon et parathion ou au carbamate carbaryl et diffusés sur le terrain, de préférence le soir (El-Salamouny *et al.*, 2003).

#### **1.3.1.4.3. Lutte biologique**

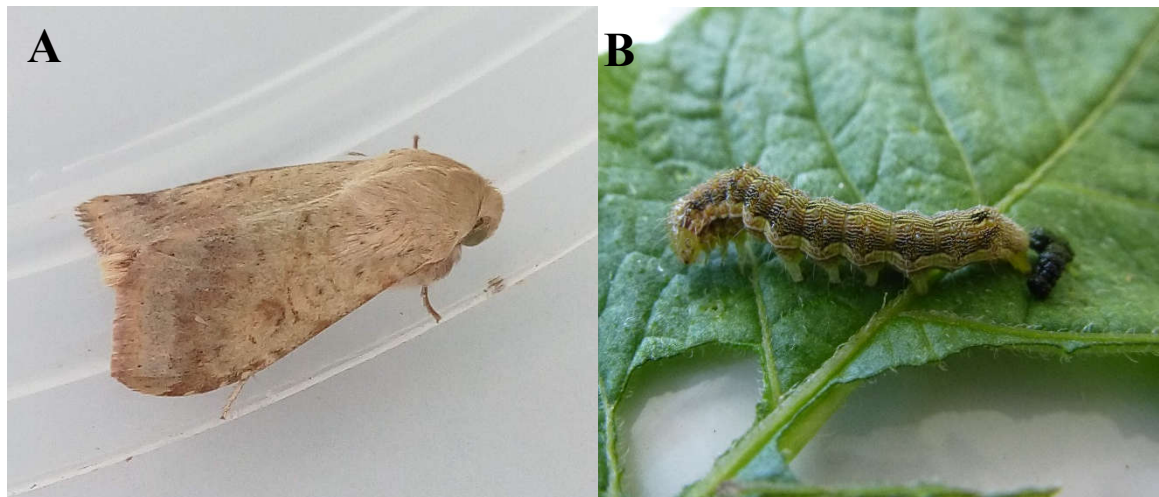
Les parasitoïdes des œufs du genre *Trichogramma* (Trichogrammatidae) fournissent un certain contrôle. Les nématodes entomopathogènes ont tué autant de larves de ravageurs qu'un pesticide. Des études menées en Afrique du Sud suggèrent que le maïs transformé pour contenir les toxines de *Bacillus thuringiensis* Berliner (maïs *Bt*) n'a pas d'effet significatif sur l'organisme nuisible (Erasmus *et al.*, 2010). Les baculovirus sont très virulents pour l'organisme nuisible, tuant à plus de 90 % (El-Salamouny *et al.*, 2003). Un champignon entomopathogène très meurtrier a été découvert en Suède (Steenberg et Ogaard, 2000).

### **1.3.2. Noctuelle de la tomate *Helicoverpa armigera***

L'adulte présente des ailes antérieures de couleur jaunâtre tendant à l'orange chez la femelle et au gris verdâtre chez le mâle, avec une légère bande transversale plus foncée dans le tiers distal. La tache réniforme est peu marquée et enfumée (figure 3). Les ailes postérieures sont gris clair avec une large bande marginale foncée et une petite tache brune tout près de la base. Il existe une forme foncée et une forme claire de ce papillon (Delattre, 1973).

L'œuf a une taille voisine de 0,5 mm, il est blanc jaunâtre, brunâtre lors de l'éclosion. La larve, à son complet développement, mesure 3 à 4 cm de long. La capsule céphalique est brune, de même que la plaque thoracique et la plaque anale. Le corps est orné de minces bandes

dorsales foncées, flanquées de bandes plus claires. Les deux bandes latérales claires et sinueuses, sur lesquelles les stigmates sombres se détachent sont très caractéristiques. La couleur de fond est soit verdâtre ou jaunâtre, soit marron noirâtre (figure 3). La chrysalide mesure 2 cm de long ; elle est de couleur brune. Le crémaster est constitué de deux longues épines parallèles (King, 1994).



**Figure 03.** La noctuelle de la tomate *Helicoverpa armigera* (Photos originales, 2017)

(A) Adulte de *Helicoverpa armigera* (B) Larve de *Helicoverpa armigera*

### 1.3.2.1. Cycle de développement

Le cycle d'œuf à œuf dure un peu plus d'un mois. En Italie, on compte 2 à 4 générations par an. La chenille montre une tendance à l'agressivité, elle est carnivore et sujette au cannibalisme. Dans les régions tempérées, cet insecte hiverne à l'état de chrysalide enfouie dans le sol, à plusieurs centimètres de profondeur. Les adultes apparaissent en avril-mai et on peut les observer jusqu'au mois d'octobre à cause de leurs longues migrations. Les femelles pondent plusieurs centaines d'œufs, sur tous les organes du végétal, fleurs et fruits compris. Les œufs peuvent éclore en moins de 3 jours à la température optimale de 27 à 28 °C (Hardwick, 1965).

### 1.3.2.2. Dégâts causés par la noctuelle de la tomate

Les dommages causés par *H. armigera* sont estimés chaque année dans le monde à plus de 2 milliards de dollars, l'espèce est classée comme organisme de quarantaine A2 par l'OEPP (OEPP, 1981). Au Moyen-Orient, cette espèce représente un ravageur majeur pour plusieurs cultures telles que le coton, la tomate et d'autres cultures solanacées, les légumineuses comme les pois, les haricots et le maïs. En s'attaquant au coton, les larves se nourrissent d'abord de feuilles, puis de fleurs et de capsules. Comme les capsules sont infestées et trop petites pour



supporter les larves, elles se déplacent de capsule à capsule; les capsules affectées ne se développent pas et la qualité de la fibre est gravement altérée (Ragab *et al.*, 2014). Les capsules légèrement touchées sont également endommagées car elles sont envahies par des micro-organismes responsables de la pourriture. Chez la tomate, les larves pénètrent dans les fruits immatures, mûrissants et mûrs, préférant ces derniers, et provoquent la pourriture. Chez le maïs, les larves pénètrent dans les tiges et peuvent causer de graves dommages à la plante. En infestant les épis en développement, les larves pénètrent principalement à travers la «soie» et se nourrissent des graines. Dans tous les cas, la valeur économique des cultures, à usage commercial ou industriel est très réduite (Kehat, 1980).

### **1.3.2.3. Lutte contre *H. armigera***

#### **1.3.2.3.1. Lutte chimique**

Les organochlorés, les pyréthroïdes, les carbamates et les organophosphates étaient autrefois utilisés, mais le ravageur y a développé une résistance considérable. Une approche consiste à permuter ces produits chimiques toutes les semaines pendant la saison (Torres-Vila *et al.*, 2002). Les préparations de *B. thuringiensis* sont efficaces au début de la saison. Le Spinosad est toujours efficace contre *H. armigera* (Gunning *et al.*, 2005).

#### **1.3.2.3.2. Lutte biologique**

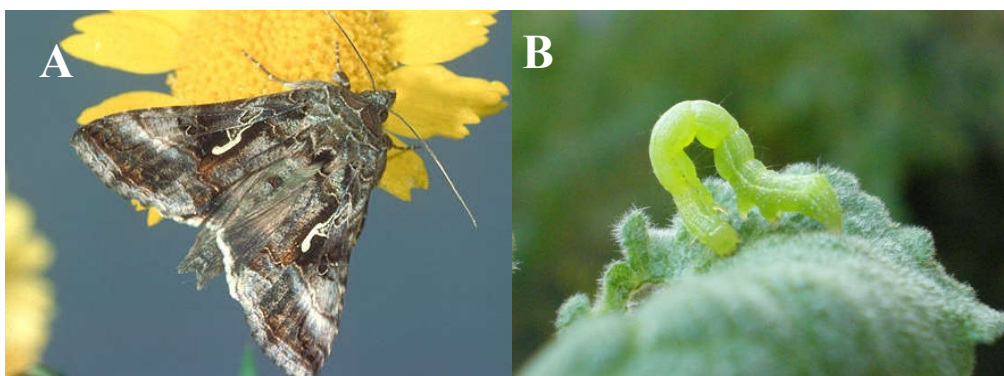
Plusieurs parasitoïdes Hyménoptères, y compris *Hyposoter didymator* et *Bracon hebetor* attaquent le ravageur. Les autres antagonistes comprennent les prédateurs hémiptères, tels que *Chrysoperla carnea* (Chrysopidae) et *Orius* spp. (Anthocoridae), mais leur efficacité est souvent neutralisée par les applications de pesticides. Les Coccinellidae sont des prédateurs importants en Egypte (Ragab *et al.*, 2014). Les parasitoïdes aux œufs de *Trichogramma* spp. (Trichogrammatidae) et *Habrobracon hebetor* s'attaquent à l'organisme nuisible en Syrie (Stam et Elmosa, 1990). En Australie, les formulations du virus de la polyhédrose nucléaire Heliothis et de *B. thuringiensis* contrôlent *H. armigera*, lorsque leur action complète des niveaux élevés de parasitisme dans les œufs par *Trichogramma* (Gunning *et al.*, 2005). Un densovirus a récemment été isolé chez *H. armigera*, mais son effet est inconnu (Fédière *et al.*, 2004).



### 1.3.3 La noctuelle gamma *Autographa gamma*

L'adulte est un papillon de taille moyenne (figures 4), son envergure est de 30 à 45 mm. Le corps est velue et marron clair. L'abdomen est foncé et marqué de touffes claires sur les premiers segments. Au repos, on distingue facilement la crête duveteuse sur le thorax. Les antennes sont longues et fines ; celles des mâles sont très faiblement ciliées. Les ailes antérieures présentent de nombreux dessins teintés de marron ou de gris. Cette espèce est principalement caractérisée par la tache blanche crème rappelant la forme de la lettre grecque gamma (ou d'un Y déformé) présente au milieu des ailes antérieures. Les ailes postérieures sont marron clair avec une large bande foncée marginale. Les oeufs sont blanc grisâtre ou blanc verdâtre et de très petite taille (0,2 à 0,3 mm de diamètre). Ils sont aplatis à surface irrégulièrement plissée (Harakly, 1975 ; EPPO, 2014). Chez la larve mature, la chenille au dernier stade mesure environ 4 cm. Elle est munie de 2 paires de fausses pattes abdominales et d'une paire de fausses pattes anales. Elle se déplace à la manière d'une chenille arpeuteuse (figures 4 et 5). Le tiers antérieur du corps est aminci et le dernier segment abdominal est brusquement tronqué à l'arrière. Contrairement à *Chrysodeixis chalcites* avec laquelle elle peut être confondue, la chenille de la noctuelle gamma présente dorsalement une série régulière de poils abdominaux.

La tête de la chenille est ornée d'une ligne latérale noirâtre comme chez *Chrysodeixis chalcites*. Le corps est de couleur variable mais généralement vert amande clair, parfois à reflets bleuâtres. La face dorsale est parcourue par 6 petites lignes blanchâtres. Le flanc de la larve est marqué par une bande jaunâtre continue qui enserme les stigmates abdominaux. Chaque stigmate est lui-même blanc, cerclé de noir. La tête est parfois entièrement noire et le corps vert foncé si les chenilles vivent en groupe (Harakly, 1975 ; EPPO, 2014).



**Figure 04 :** La noctuelle gamma *Autographa gamma* (INRA, 2018)

(A) Adulte d'*Autographa gamma* (B) Larve d'*Autographa gamma*

### **1.3.3.1. Cycle de développement**

Le cycle annuel et saisonnier donne généralement naissance à 2 ou 3 générations chevauchantes d'adultes selon les régions en Europe. Dans les conditions optimales, une 4<sup>ème</sup> peut même être initiée. En France, on considère qu'il y a en moyenne 2 générations annuelles. En région parisienne, la première génération d'adultes issue des pontes des migrants apparaît au plus tôt vers la fin juin ; dans ce cas, le vol de la 2<sup>ème</sup> génération a lieu généralement à la fin juillet. En serre, la vitesse de développement des populations est telle que le nombre de générations chevauchantes est probablement maximal ; il en est certainement de même en extérieur dans nos régions méditerranéennes où les conditions d'hivernation y sont de même très favorables et la reprise d'activité des adultes autochtones au printemps encore plus précoce (Harakly, 1975).

#### **1.3.3.1.1. Œufs**

Les oeufs sont pondus isolément, rarement en petits groupes (2-3 oeufs), sur la face inférieure des feuilles ou sur les tiges des plantes adventices ou cultivées. Ils sont très résistant à la sécheresse et supportent de grands écarts d'hygrométrie compris entre 6 et 100 % d'hygrométrie relative. Les seuils critiques de développement se situent autour de 6 et 37 °C, l'optimum de développement se situant autour de 20-27 °C. L'incubation des oeufs s'effectue en moins de 5 jours à une température supérieure à 19 °C ; elle peut durer environ 2 semaines et plus si les températures oscillent entre 12 et 14 °C (Harakly, 1975 ; EPPO, 2014).

#### **1.3.3.1.2. Larves**

Le développement larvaire passe par 6 stades différents. L'optimum du développement larvaire se situe entre 24 et 30 °C. En règle générale, les températures élevées réduisent la durée du cycle larvaire et inversement lorsque les températures sont fraîches. En plein champ, les larves effectuent leur cycle en 20 à 25 jours en été (EPPO, 2014). En serre, ce dernier peut être réduit de moitié et se rapprocher des conditions expérimentales de laboratoire et ce d'autant plus si la nourriture est de qualité et abondante. Les chenilles âgées hivernante sont extrêmement résistantes au froid et peuvent être exposées à plusieurs reprises à des températures très négatives (-10 à -14 °C) sans pour autant subir une forte mortalité. En revanche, les stades jeunes de la dernière génération ne survivent pas à la rigueur de l'hiver en plein champ. Les jeunes stades (L1 à L4) se nourrissent essentiellement du limbe des feuilles la nuit et s'immobilisent sur la face inférieure de celles-ci le jour. Ce n'est qu'au cours des deux derniers stades (L5 et L6) que les chenilles particulièrement voraces sont également très actives en

journee, même les nervures peuvent être dévorées et les pétioles sectionnés. Les larves peuvent se développer isolément ou en groupe. En cas de pénurie alimentaire, elles n'hésitent pas à migrer en quête d'une nouvelle source de nourriture (Pedgley et Yathom, 1993).

Pour les chrysalides (nymphes), la nymphose se fait aussi bien dans des abris divers de la structure de la serre que dans les anfractuosités du sol ou plus fréquemment dans les plis des feuilles de la plante hôte ; les feuilles peuvent aussi être collées entre elles par des filaments soyeux produits par la chenille. En général, les chrysalides sont résistantes au froid. La dynamique de leur développement, également dépendante de la température, est semblable à celle des larves. En revanche à température égale, le développement de la chrysalide s'effectue beaucoup plus rapidement (Pedgley et Yathom, 1993).

### **3.3.1.3. Adultes**

L'adulte a une activité de vol exclusivement nocturne en dehors des périodes de migration. Il vit entre 3 et 19 jours au maximum un mois, la durée de vie étant beaucoup plus courte chez le mâle (EPPO, 2014). L'accouplement a lieu 24 à 48 heures après l'émergence ; la femelle commence à pondre entre 1 et 5 jours après l'accouplement. La fécondité moyenne est de l'ordre de 1.500 oeufs mais la femelle n'en pond très souvent que 30 à 50 %. Le degré de fécondité est étroitement dépendant de l'alimentation et de l'action de la température au cours du développement larvaire de la femelle (Harakly, 1975).

#### **1.3.3.1 Dégâts causés par *Autographa gamma***

Les dommages sont causés par les larves, qui se nourrissent de feuilles la nuit et peuvent les squelettiser, laissant ainsi aux plantes un aspect brunâtre. Parfois, le feuillage est complètement consommé, ne laissant qu'une partie de la nervure principale. Les principales cultures touchées comprennent les cultures légumières et florales, ainsi que les arbres fruitiers dans les champs et dans les serres. Les années d'épidémie, de nombreux ravageurs envahissent les champs et causent beaucoup de dégâts ; de tels foyers sont toutefois peu fréquents dans la région de la Méditerranée orientale et ne persistent que pendant une génération (EPPO, 2014).

### 1.3.3.3 Les méthodes de lutte contre *Autographa gamma*

#### 1.3.3.3.1 Surveillance

Des pièges lumineux ou des pièges à phéromone sexuelle sont placés à la hauteur de la culture, aux abords des champs et levés à mesure que la culture se développe. Les cultures sensibles doivent être inspectées pour détecter la présence d'œufs, de larves ou de chrysalides (Dunkelblum et Gothilf, 1983).

#### 1.3.3.3.2 Contrôle biologique

*Autographa gamma* est attaqué par de nombreux parasitoïdes dans différentes parties du monde, mais leur effet général n'est pas clair. *Trichogramma evanescens* Westwood (Tricogrammatidae) attaque les œufs d'*A. gamma* (Venette *et al.*, 2003).

Un autre parasitoïde trouvé en Egypte est *Exorista larvarum* (Linnaeus) (Tachinidae); d'autres incluent *Apanteles ruficrus* (Haliday) et *Bracon hebetor* Say, tous les deux sont des Braconidae (Harakly, 1975). Des baculovirus qui tuent les larves de *A. gamma* sont disponibles; ils n'ont aucun effet sur les parasitoïdes (Stoianova, 2007).

### 1.3.4.3 La noctuelle méditerranéenne ou ver du coton *Spodoptera littoralis*

#### 1.3.4.1 Description du ravageur

L'adulte est un papillon dont l'envergure est de 3,5 à 4 cm. Ses ailes antérieures sont brunâtres avec des reflets violacés et du jaune paille le long de la nervure médiane (figure 5) ; l'ocelle est marquée de 2 ou 3 rayures obliques blanchâtres. A l'extrémité de l'aile, vers l'arrière, on peut observer une tache noirâtre, plus nette chez le mâle. Les ailes postérieures sont blanchâtres, avec le bord antérieur brun (EPPO, 1990).

L'œuf mesure environ 0,6 mm de long, il est plus ou moins sphérique. Les œufs sont pondus groupés et sont couverts de poils brun-jaunâtre détachés de l'abdomen de la femelle (Pinhey, 1975). La chenille nouveau-née est vert clair, avec la tête brunâtre (figure 5). A son complet développement (4<sup>ème</sup> stade), elle atteint 3,5 à 4,5 cm de long. Sa couleur est variable, de gris à rougeâtre ou à jaunâtre, avec une ligne dorsale médiane bordée de chaque côté par 2 filets jaunâtre roux ou grisâtres et avec sur chaque segment, de petits points jaunes. Les côtés, gris plus ou moins foncé, portent des taches triangulaires qui, sur le 1<sup>er</sup> et 8<sup>ème</sup> segment abdominal se transforment en 2 fois 2 grosses taches triangulaires noires veloutées. Le dessous de la chenille est gris rougeâtre ou jaunâtre (Brown and Dewhurst, 1975). La chrysalide longue de

de 1,5 à 2 cm, est de couleur rouge brique, avec le crémaster pourvu d'une seule paire d'épines (Pinhey, 1975).



**Figure 05.** La noctuelle méditerranéenne *Spodoptera littoralis* (Photos originales, 2017)  
(A) Adulte de *Spodoptera littoralis* (B) Larve de *Spodoptera littoralis*

#### 1.3.4.2. Cycle de développement

Dans son aire d'origine (Egypte), l'espèce peut développer annuellement une dizaine de générations ; en serre, il peut n'y en avoir que 7, autant que le permettent les conditions du milieu, qui peut provoquer la migration de l'insecte. Cette noctuelle hiverne à l'état de chrysalide dans le sol (Khalifa *et al.*, 1982). Les adultes apparaissent tôt au printemps (dès février dans les serres froides). Les papillons sont crépusculaires et nocturnes. Les œufs sont pondus groupés et recouverts de poils provenant de l'abdomen de la femelle. Les pontes sont déposées en grand nombre sur les parties basses des plantes (Pinhey, 1975).

Par une température de 25 à 28°C, l'évolution embryonnaire dure de 3 à 4 jours. Les larves sont d'abord grégaires, les chenilles deviennent solitaires à partir du 4<sup>ème</sup> stade. Comme les papillons, elles ont une activité essentiellement nocturne, s'abritant dans le sol pendant la journée. La chrysalide apparaît au bout de deux semaines environ, les larves se nymphosent dans le sol, à une profondeur de 2 à 5 cm. La mue imaginale survient en moins d'une semaine (Nasr et Nassif, 1978).

#### 1.3.4.3. Dégâts causés par *Spodoptera littoralis*

Cet insecte de feuille est un ravageur destructeur, infestant de nombreuses cultures comestibles et ornementales. C'est un ravageur majeur du coton, du maïs, de la tomate, du tabac et de la pomme de terre en Méditerranée. Potentiellement, il s'agit également d'un ravageur des cultures en serre et est donc considéré comme un organisme de quarantaine dans l'Union européenne (EPPO, 1981). Les jeunes larves se nourrissent du feuillage du coton, un grand

nombre de larves plus âgées peuvent défolier les plantes et détruire complètement les cultures, puis se déplacer vers les champs et les cultures adjacentes. La pénétration des larves dans les capsules de coton en cours de maturation provoque des dommages considérables, ainsi que l'introduction d'agents bactériens et fongiques responsables de la pourriture secondaire (Hegazi *et al.*, 1973 ; Abo-El-Ghar *et al.*, 1986 ; Alfazairy *et al.*, 2013).

#### **1.3.4.4. Les méthodes de lutte contre *Spodoptera littoralis***

##### **1.3.4.4.1. Lutte culturale**

Dans la production de coton biologique en Égypte, le ravageur est collecté à la main et les masses d'œufs sont détruites.

##### **1.3.4.4.2. Piégeage en masse**

Des efforts sont déployés pour réduire les populations en piégeant en masse les mâles dans des pièges à phéromone appâtés par une phéromone sexuelle.

##### **1.3.4.4.3. Lutte transgénique**

Un inhibiteur enzymatique exprimé dans des lignées de tabac transgénique alimentant les larves de *S. littoralis* n'a eu aucun effet sur leur développement mais réduit leur fertilité (De Leo et Gallerani, 2002).

##### **1.3.4.4.4. Lutte chimique**

De nombreuses populations de *S. littoralis* sont résistantes aux pesticides et sont difficiles à contrôler en raison de la résistance croisée émergente. Le Spinosad fournit un bon contrôle en Turquie (Aydin et Gürkan, 2006). Les pyréthroïdes sont souvent utilisés dans les serres. Les souches égyptiennes de *Bacillus thuringiensis* (Bt) étaient prometteuses, de même que les formulations commerciales de Bt lorsqu'elles étaient complétées par des adjuvants (Alfazairy *et al.*, 2013 ; Sneh et Gross, 2009). Avec le neem, ils sont des composants potentiels de la lutte intégrée contre les larves nocturnes et autres (Dimetry *et al.*, 1998).

##### **1.3.4.4.5. Lutte biologique**

Les parasitoïdes et les prédateurs des œufs et des larves peuvent réduire le nombre d'organismes nuisibles, mais peuvent être gênés par l'utilisation intensive de produits chimiques (Abo-El-Ghar *et al.*, 1986). *Microplitis rufiventris* Kok (Braconidae) parasitoïde interne de la larve se rencontre généralement avec le ver à feuilles dans les champs, mais son effet de contrôle

est inégal. Les larves peuvent être infectées par un polyèdre infectieux d'un baculovirus spécifique, le virus de la polyédrose nucléaire de *Spodoptera littoralis* (Spli NPV), ou en acquérir en ingérant des polyèdres infectieux, ce qui provoque la mortalité au bout de 1 à 2 semaines. Lorsque la densité de population d'organismes nuisibles est élevée, la maladie peut atteindre des proportions épidémiques. Les titres marginaux de baculovirus peuvent provoquer des infections latentes, qui peuvent être exacerbées par des facteurs de stress (basses températures, densité de population élevée ou ressources alimentaires limitées) (Atwa, 2014). Des tentatives ont été faites pour préparer des formulations de virus commerciales plus virulentes afin de fournir des taux d'infection plus élevés et cohérents. Plusieurs nématodes entomopathogènes (EPN) ont été testés contre l'organisme nuisible en Inde (Sneh et Gross, 2009).

### 1.3.5. La noctuelle de betterave *Spodoptera exigua*

#### 1.3.5.1. Description du ravageur

Le papillon a une longueur de 12 à 14 mm, des ailes antérieures jaune gris, avec deux marques de couleur rouille et des marges blanches à poils noirs (figure 6). Ailes postérieures blanches à gris pâle, avec des marges plus sombres. Les jeunes larves sont vert pâle, puis brun verdâtre, plus foncées chez les populations surpeuplées, avec une bande latérale sombre, mais sans poils ni épines. La longueur larvaire finale est d'environ 30 mm (Afify *et al.*, 1970).



**Figure 06.** La noctuelle de la betterave *Spodoptera exigua* (INRA, 2018)

(A) Adulte de *Spodoptera exigua* (B) Larve de *Spodoptera exigua*

#### 1.3.5.2. Cycle de développement

Une femelle pond environ 1.000 œufs par lots de 50 à plusieurs centaines dans plusieurs groupes. La grappe d'œufs est couverte et protégée avec des poils grisâtres. La majorité des



grappes est située sur la surface inférieure des feuilles, les œufs achevant leur développement en 2 jours par temps chaud. Au début, les larves sont grégaires et restent ensemble même le jour. Les larves plus âgées sont solitaires et se dispersent sur toute la plante. Ils se nourrissent la nuit et se cachent le jour dans le sol ou dans des parties ombragées et humides de la plante. La larve mature pénètre dans le sol pour se transformer en cellules lisses. Le seuil de développement est à 10 ° C et environ 450 jours sont nécessaires pour compléter une génération (Tingle et Mitchell, 1977). Les papillons vivent généralement 10 jours et au Moyen-Orient, ils élèvent 7 à 9 générations annuelles (Afify *et al.*, 1970).

Les larves se nourrissent d'abord sur les feuilles les plus basses, puis se dispersent sur toute la plante et se nourrissent de tissus entiers, à l'exception des nervures principales. Ils ont tendance à creuser des trous dans des zones épaisses de plantes, se déplaçant de plante en plante. Parfois, les larves migrent en grand nombre et peuvent détruire des récoltes entières en quelques jours. Ils endommagent les betteraves, le trèfle, le coton, le soja et d'autres cultures, en particulier lorsqu'ils sont irrigués (Zalom *et al.*, 1986). Dans la région méditerranéenne de la Turquie, le ravageur attaque le maïs semé en juillet. Ils mangent des raisins ainsi que des fruits de tomates et d'aubergines, attaquent et endommagent les plantes ornementales, industrielles, de plein champ et les plantes médicinales (Efil et Kara, 2004).

### **1.3.5.3. Les méthodes de lutte contre *S. exigua***

L'abondance relativement élevée de la légionnaire des betteraves stimule l'application fréquente d'insecticides sur le feuillage. La résistance aux insecticides est un problème majeur dans la gestion de cet insecte (Eveleens *et al.*, 1973). En outre, l'utilisation intensive d'insecticides pour lutter contre la chenille légionnaire dans les cultures de légumes tels que le céleri peut stimuler l'apparition d'autres organismes nuisibles, principalement la mouche mineuse *Liriomyza trifolii* (Burgess) (Diptera : Agromyzidae) (Eveleens *et al.*, 1973).

Les larves de la légionnaire de betterave sont sensibles aux produits à base de neem (Prabhaker *et al.*, 1986). Les œufs peuvent être tués avec de l'huile de pétrole et les œufs et les jeunes larves peuvent être contrôlés avec des applications foliaires d'huile de coton à 5 %, mais cette concentration est dangereuse pour certaines plantes (Butler et Henneberry, 1990).

Les phéromones peuvent également être utilisées pour perturber l'accouplement et inhiber ou éliminer la reproduction. Nous avons estimé que la saturation de l'atmosphère autour des cultures sensibles à la chenille légionnaire de la betterave réduisait la reproduction de 97 % (Wakamura et Takai, 1992).

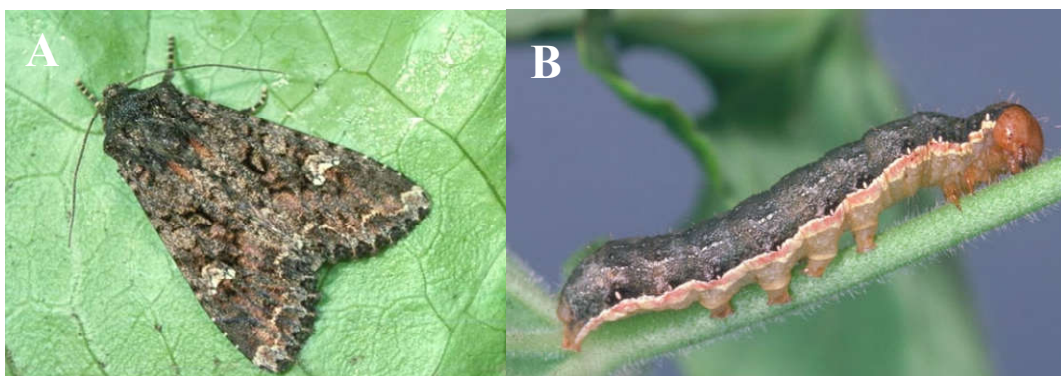
### 1.3.5.3.1. Lutte biologique

Plusieurs agents pathogènes d'insectes peuvent s'avérer utiles pour la suppression de la légionnaire de betterave. Un virus de polyédrose nucléaire isolé de la chenille légionnaire de betterave est assez efficace comme bioinsecticide dans des conditions de serre, où l'inactivation par la lumière ultraviolette à la lumière du soleil n'est pas un grand problème. Le champignon *Beauveria bassiana* a les mêmes attributs et limites (Sabbour et Sahab, 2005). Les nématodes entomopathogènes (Rhabditida: Steinernematidae et Heterorhabditidae) infectent avec succès les larves et les adultes de légionnaire de betterave, bien qu'il soit difficile d'obtenir une suppression des insectes se nourrissant du feuillage dans les conditions du champ car l'humidité favorise les nématodes. Ainsi, les nématodes sont plus efficaces pour tuer les larves lorsqu'elles tombent dans le sol pour se transformer en pupes, le stade prénympheal est plus susceptible que le stade nymphal (Radhakrishnan et Shanmugam, 2017).

### 1.3.6. La noctuelle du chou *Mamestra brassicae*

#### 1.3.6.1. Description du ravageur

L'adulte mesure 40 à 45 mm d'envergure. Les ailes antérieures sont brunes verdâtres avec des ondulations transversales brunes noirâtres alternant avec des zones plus claires. Ces ailes portent une tache réniforme blanchâtre sur son pourtour. Les ailes postérieures sont gris clair (figure 07). Les œufs sont hémisphériques avec une petite protubérance centrale, ils sont groupés en plaques de 20 à 30 œufs déposés à la face inférieure des feuilles. La larve mesure 40 à 45 mm, le corps est glabre, vert à brun grisâtre avec une ligne médio-dorsale blanchâtre. Sur chaque segment, 4 gros points noirs sont disposés en carré (Heath et Emmet, 1979 ; CABI, 2015).



**Figure 07.** La noctuelle du chou *Mamestra brassicae* (INRA, 2018)

(A) Adulte de *Spodoptera exigua* (B) Larve de *Spodoptera exigua*

### **1.3.6.2. Cycle de développement**

Il y a 2 générations par an en règle générale. Les papillons apparaissent en mai-juin. Le second vol se produit de fin juillet au début septembre et les chenilles se développent entre les mois d'août et octobre. L'œuf est dur et l'évolution embryonnaire dure généralement 10 à 15 jours. Les jeunes chenilles restent groupées pendant le 1<sup>er</sup> stade. Elles muent à 5 reprises. Se tenant à la face inférieure des feuilles, elles rongent le dessous du limbe. Leur croissance dure environ 2 mois ; puis la chenille s'enterre dans la couche superficielle du sol et se nymphose (1<sup>ère</sup> génération) ou entre en diapause (2<sup>ème</sup> génération) (CABI, 2015).

### **1.3.6.3 Dégâts causés par la noctuelle du chou *Mamestra brassicae***

Les jeunes larves se nourrissent sur les feuilles extérieures jusqu'au cinquième stade, lorsqu'elles commencent à se creuser un tunnel dans la tête en direction du cœur du chou. Les grandes infestations peuvent détruire la tête, cependant, la perte de produit est généralement due à des infections fongiques et bactériennes secondaires et à des dommages esthétiques causés par la quantité d'excréments produits par les larves (Heath et Emmet, 1979). Dans le chou-fleur et le brocoli, les larves se nourrissent également de l'inflorescence où elles mâchent des trous plus ou moins profonds (CABI, 2015).

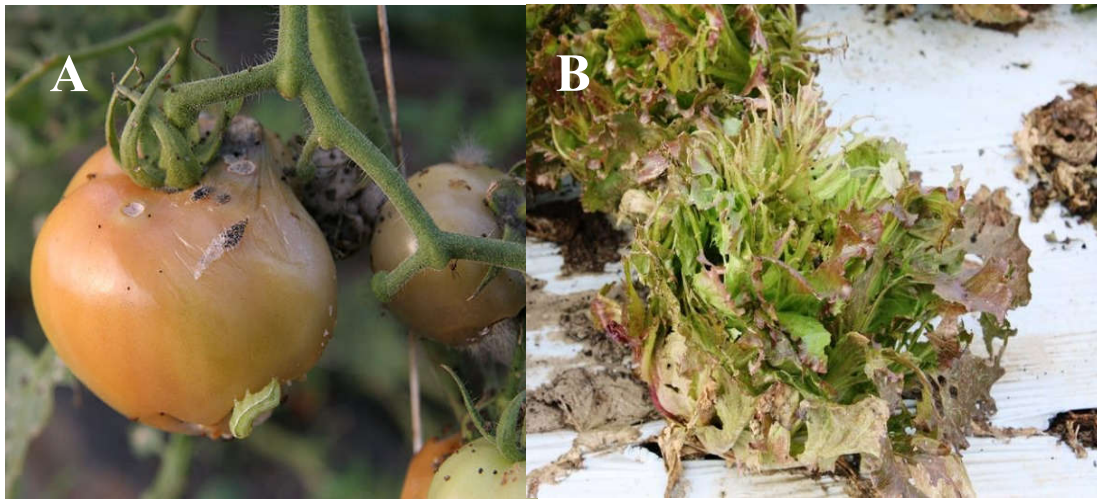
### **1.3.6.4 Les méthodes de lutte contre *Mamestra brassicae***

#### **1.3.6.4.1 Lutte culturale et mesure prophylactique**

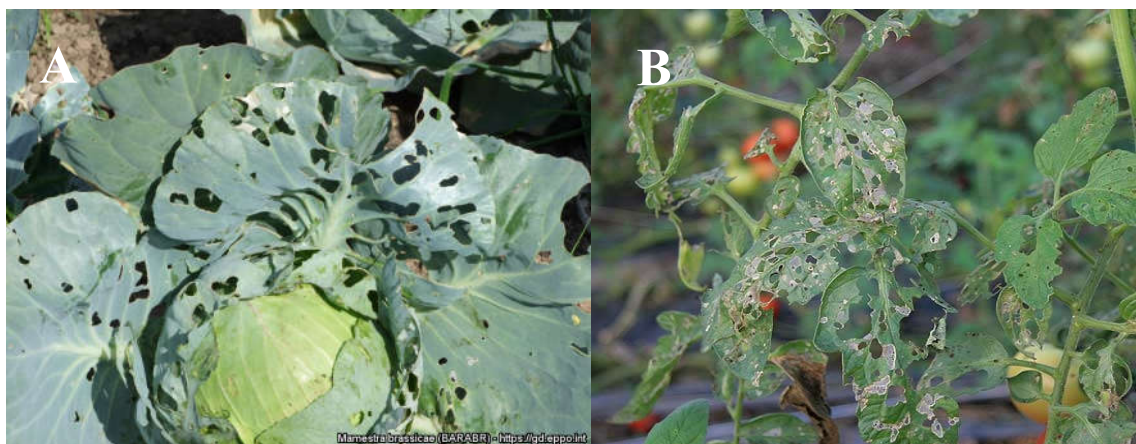
Les dégâts au début sur le chou peuvent être réduits par la plantation précoce des plants, car les têtes commercialisables ont le temps de se former avant l'apparition massive des larves (Filippov, 1982). On a constaté que le labour d'automne augmentait la mortalité hivernale des pupes de *M. brassicae* au Japon (Tsutsui *et al.*, 1988). Ceci est probablement dû à des facteurs tels que la prédation accrue, les dommages mécaniques et l'exposition à de basses températures. Filippov (1982) a découvert que le hersage, le labour après la récolte et le début du labour d'automne et en été détruisaient environ 70 à 90 % des nymphes. On a constaté que la culture intercalaire diminuait les populations de *M. brassicae* chez le chou et les choux de Bruxelles (Theunissen et Ouden, 1980 ; Theunissen *et al.*, 1992 ; Wiech, 1996 ; Finch et Kienegger, 1997 ; Brandsæter *et al.*, 1998).

#### 1.3.6.4.2. Lutte biologique

Différentes espèces de Trichogramme (Hymenoptera : Trichogrammatidae), parasitoïde des œufs (par exemple, *T. evanescens*, *T. chilonis* et *T. dendrolimi*) ont été libérées pour lutter contre *M. brassicae*. Une température estivale relativement élevée et une population hôte dense sont nécessaires pour atteindre un taux de parasitisme élevé par ces parasitoïdes (Finch et Thompson, 1992). Les larves de *M. brassicae* peuvent être contrôlées par un baculovirus (Poitout et Bues, 1982 ; Geissler *et al.*, 1991) et par *Bacillus thuringiensis* (Collier *et al.*, 1996). Les préparations bactériennes ou virales doivent être appliquées lorsque les larves sont petites. Les produits commerciaux de *B. thuringiensis* et de baculovirus sont disponibles dans certains pays.



**Figure 08.** Dégâts de *H. armigera* sur tomate (A) et *S. littoralis* sur laitue (B) (INRA, 2018 ; EPPO, 2018)



**Figure 09.** Dégâts de *M. brassicae* sur chou (A) et *A. gamma* sur tomate (B) (EPPO, 2018, INRA, 2018)



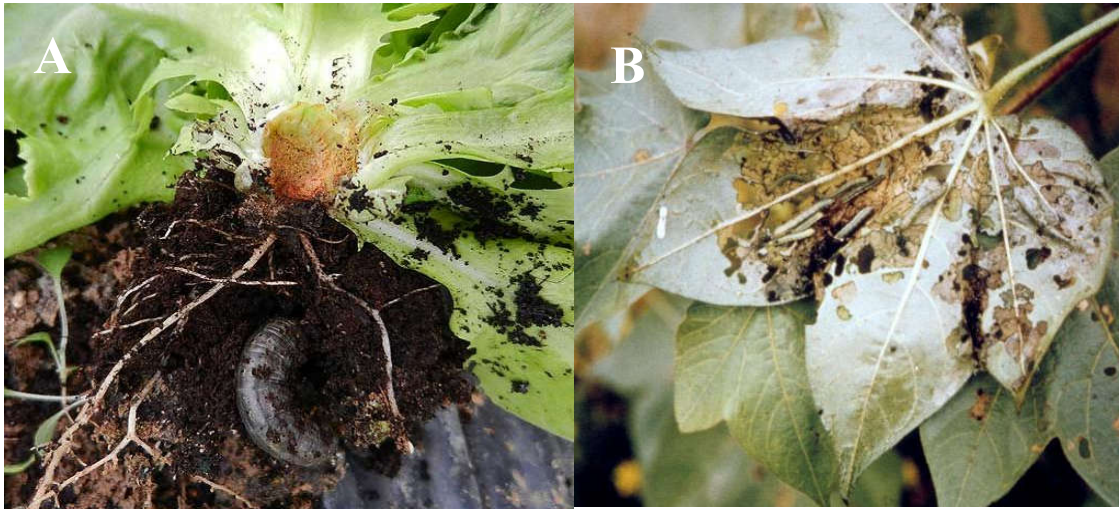


Figure 10. Dégâts d'*Agrotis spp.* sur laitue (A) *S. exigua* sur coton (B) (INRA, 2018)

**Chapitre II**  
**Généralités**  
**sur les biopesticides**

## **2.1 Introduction**

L'agriculture a été confrontée aux activités destructrices de nombreux parasites comme les champignons, les mauvaises herbes et les insectes ravageurs depuis des temps immémoriaux, entraînant une diminution radicale des rendements. Les ravageurs sont constamment introduits dans de nouvelles zones, de manière naturelle ou accidentelle, ou dans certains cas, les organismes introduits intentionnellement deviennent des parasites. Le commerce mondial a entraîné une augmentation du nombre d'espèces nuisibles envahissantes non indigènes introduites dans de nouvelles zones. Contrôler ces espèces envahissantes représente un défi sans précédent dans le monde entier. Pour cette raison, le défi mondial consiste à obtenir des rendements élevés et de qualité et à rendre les produits agricoles compatibles avec l'environnement. Les moyens chimiques de protection des végétaux occupent la première place en ce qui concerne leur volume total d'application dans la lutte intégrée contre les ravageurs et les maladies des plantes. Mais les pesticides sont toxiques pour l'homme et la faune utile (Mazid et al, 2011).

Malgré de nombreuses années de lutte efficace par les insecticides agrochimiques classiques, un certain nombre de facteurs menacent l'efficacité et l'utilisation continue de ces produits. Ceux-ci incluent le développement de la résistance aux insecticides et l'annulation ou le retrait de l'enregistrement de certains insecticides pour des raisons de santé humaine et d'environnement. Par conséquent, une alternative écologique qui respecte la nature et la santé humaine est nécessaire. L'amélioration des stratégies de lutte contre les ravageurs représente une méthode pour générer une qualité supérieure et une plus grande quantité de produits agricoles. Par conséquent, il est nécessaire de développer des biopesticides qui sont efficaces, biodégradables et ne laissent aucun effet nocif sur l'environnement. (Deravel et al, 2014)

## **2.2. La lutte intégrée**

Il y a un besoin urgent des techniques alternatives pour aider à rendre la protection des cultures plus durable. De nombreux experts proposent la lutte intégrée contre les ravageurs comme la meilleure voie à suivre. La lutte intégrée est une approche systémique qui associe différentes pratiques de protection des cultures à une surveillance attentive des ravageurs et de leurs ennemis naturels (Flint et Van Den Bosch, 1981 ; Bajwa et Kogan, 2002). L'idée sous-jacente de la lutte intégrée est que la combinaison de différentes pratiques permet de surmonter les lacunes des pratiques individuelles. L'objectif n'est pas d'éradiquer les populations d'organismes nuisibles, mais plutôt de les gérer en dessous des niveaux causant des dommages économiques.

Les principales techniques de la lutte intégrée incluent (Barzman et al, 2015) :

- Les pesticides chimiques synthétiques qui présentent un haut niveau de sélectivité sont classés par les régulateurs parmi les composés à faible risque, tels que les régulateurs synthétiques de croissance des insectes.
- Cultivars présentant une résistance totale ou partielle aux ravageurs.
- Les pratiques culturales, telles que la rotation des cultures, les cultures associées ou les sous-cultures.
- Méthodes physiques, telles que les désherbages mécaniques.
- Produits naturels, tels que les produits sémiocchimiques ou les extraits de plantes biocides.
- Contrôle biologique avec des ennemis naturels, par exemple les insectes prédateurs et les acariens, les parasitoïdes et les agents pathogènes microbiens utilisés contre les invertébrés nuisibles, antagonistes microbiens des agents phytopathogènes et agents pathogènes microbiens des mauvaises herbes.

### 2.3 Les biopesticides

Les biopesticides constituent un groupe particulier d'outils de protection des cultures utilisées dans la lutte intégrée, les biopesticides sont des pesticides biochimiques qui sont des substances naturelles qui contrôlent les organismes nuisibles par des mécanismes non toxiques. Les biopesticides sont des organismes vivants (ennemis naturels) ou leurs produits (phytochimiques, produits microbiens) ou des sous-produits (produits sémiocchimiques) pouvant être utilisés pour la gestion des ennemis des cultures. Les biopesticides ou pesticides biologiques à base de microorganismes pathogènes spécifiques à un organisme nuisible ciblé offrent une solution écologiquement rationnelle et efficace aux problèmes phytosanitaires. Ils posent moins de menace à l'environnement et à la santé humaine. Les biopesticides les plus couramment utilisés sont les organismes vivants, qui sont pathogènes pour l'organisme nuisible considéré. Ceux-ci incluent les biofongicides (*Trichoderma*), les bioherbicides (*Phytophthora*) et les bioinsecticides (*Bacillus thuringiensis*). Les avantages potentiels pour l'agriculture et les programmes de santé publique liés à l'utilisation de biopesticides sont considérables (Mazid et al., 2011). L'intérêt pour les biopesticides repose sur les avantages associés avec de tels produits qui sont :

- Intrinsèquement moins dommageable et moins de charge environnementale,
- Conçu pour lutter contre un seul organisme nuisible spécifique ou, dans certains cas, plusieurs organismes cibles,



- Souvent efficaces en très petites quantités et se décomposant rapidement, entraînant ainsi une réduction des expositions et évitant en grande partie les problèmes de pollution ; lorsqu'ils sont utilisés dans le cadre de programmes de lutte intégrée, les biopesticides peuvent grandement contribuer à l'atteinte des objectifs de réduction des pesticides.

Les biopesticides jouent un rôle important dans la protection des cultures, bien qu'ils soient le plus souvent combinés avec d'autres outils, notamment des pesticides chimiques, dans le cadre de la lutte intégrée intensive contre les ravageurs.

## 2.4. Les différentes catégories de biopesticides

Les produits considérés comme des biopesticides par les agences de réglementation européennes et mondiales sont d'origines diverses. Ils peuvent être classés en trois grandes catégories, selon leur nature : les biopesticides microbiens, les biopesticides végétaux et les biopesticides animaux (Chandler et al., 2011 ; Leng et al., 2011).

### 2.4.1. Biopesticides microbiens

Les pesticides microbiens contiennent un microorganisme (bactérie, champignon, virus, protozoaire ou algue) comme ingrédient actif. Les pesticides microbiens peuvent contrôler de nombreux types de parasites différents, bien que chaque ingrédient actif soit relativement spécifique pour le ou les parasites cibles. L'efficacité d'un nombre important d'entre eux repose sur ces substances actives dérivées des microorganismes. Ce sont, en principe, ces substances actives qui agissent contre le bioagresseur plutôt que le microorganisme lui-même (Chandler et al., 2011 ; Leng et al., 2011).

#### 2.4.1.1 Les bactéries

Les biopesticides à base de *Bacillus thuringiensis* sont les plus commercialisés, ils ont une action insecticide. *Bacillus thuringiensis* est une bactérie à Gram+ qui produit, durant sa phase stationnaire de croissance, des protéines cristallines appelées delta-endotoxines ou protoxines Cry. Ces protéines sont libérées dans l'environnement après la lyse des parois bactériennes lors de la phase de sporulation et sont actives, une fois ingérées par les ravageurs, contre les lépidoptères, les diptères et les larves de coléoptères (Rosas-Garcia, 2009).

### 2.4.3. Les virus

Les Baculoviridae sont des virus à doubles brins d'ADN circulaire, ayant un génome compris entre 100 et 180 kb, protégés par une paroi protéique (Chen et al., 2002). Ils infectent les arthropodes (insectes ou les larves). Ils représentent un faible risque sanitaire car aucun virus similaire n'a à l'heure actuelle, été répertorié dans l'infection des vertébrés ou des plantes. Cette propriété les rendant particulièrement intéressantes pour une utilisation en qualité de bioinsecticide, d'autant plus qu'ils peuvent tuer leur hôte en quelques jours. Ces virus sont classés en fonction de la morphologie particulière de leur corps d'inclusion. Ainsi, on retrouve les Granulovirus, comme *Cydia pomonella* granulosis, inclus dans des granules de forme ovale ou ovoïde et les nucleopolyhedrovirus, comme *Helicoverpa zea* (HzSNPV) et *Spodoptera exigua* nucleopolyhedrosis qui sont inclus dans des polyèdres de forme arrondie, cubique ou hexagonale (Chen et al., 2002 ; Deravel et al., 2014).

### 2.4.4. Les champignons

Plusieurs souches du champignon filamenteux du genre *Trichoderma spp.* sont utilisées pour la protection biologique des plantes. Elles ont généralement une activité antifongique contre plusieurs pathogènes du sol ou contre des pathogènes foliaires (Dodd et al., 2003). *Trichoderma atroviride* est notamment utilisée pour la protection biologique de la vigne (Longa et al., 2009). L'activité de biocontrôle de cette souche est attribuée à plusieurs mécanismes d'action qui agissent en synergie. Parmi ces mécanismes d'action, il y a la compétition pour les nutriments, l'antibiose, ou la production d'enzymes spécifiques de dégradation des parois cellulaires comme les chitinases ou protéases (Brunner et al., 2005 ; Deravel et al., 2014).

### 2. 4.5. Biopesticides végétaux

Les plantes produisent des substances actives ayant des propriétés insecticides, aseptiques ou encore régulatrices de la croissance des plantes et des insectes. Le plus souvent, ces substances actives sont des métabolites secondaires qui à l'origine, protègent les végétaux des phytophages. Le biopesticide d'origine végétale le plus utilisé est l'huile de neem, un insecticide extrait des graines d'*Azadirachta indica* (Schmutterer, 1990). Plusieurs molécules dont l'azadirachtine, la nimbidine, la nimbidinine, la solanine, le déacétylazadirchtinol et le méliantriol ont été identifiées comme biologiquement actives dans l'huile extraite des graines

de neem. L'azarachtine, un mélange de sept isomères de tétranortritarpinoïde, est le principal ingrédient actif de cette huile et à la propriété de perturber la morphogenèse et le développement embryonnaire des insectes (Srivastava et al., 2007 ; Correia et al., 2013 ; Deravel et al., 2014).

#### **2.4.6. Biopesticides animaux (Semiochimique)**

Les biopesticides d'origine animale qui sont des signaux chimiques produits par un organisme et qui changent le comportement d'individus de la même espèce ou d'espèce différente sont également répertoriés sous l'appellation « semio-chimiques ». Les semio-chimiques ne sont pas à proprement parler des « pesticides ». En effet, ils ne vont pas provoquer la mort des bio-agresseurs, mais plutôt créer une confusion chez ces derniers. Cette confusion les empêchera de se propager dans la zone traitée. Les phéromones d'insectes sont de bons exemples de molécules semio-chimiques utilisées comme alternatives à l'utilisation des insecticides. Il s'agit de petites molécules naturellement produites par les insectes et qui sont détectées au niveau des antennes de leurs congénères. Ces molécules peuvent être éphémères ou persistantes, mais dans tous les cas véhiculent un message. Elles peuvent marquer un territoire, prévenir de la disponibilité de nourriture ou être un signal pour l'accouplement. Les phéromones d'insectes sont largement utilisées aussi bien pour limiter les insectes ravageurs via des techniques de piégeage ou de confusion sexuelle que pour surveiller leur nombre (Reddy et al., 2009 ; Deravel et al., 2014).

### **2.5 Modes d'action des biopesticides**

Chaque type de biopesticide présente des modes d'action variés. Les pesticides microbiens agissent sur les agents pathogènes par antagonisme, hyperparasitisme, antibiose et prédation. Les pesticides botaniques inhibent la croissance des agents pathogènes, modifient leurs structures et leur morphologie cellulaires et présentent une neurotoxicité sur les insectes. Les plantes botaniques repoussent également les insectes et suppriment la ponte. Les prédateurs tuent principalement leurs proies en parasitant ou en injectant des substances toxiques qui finissent par les tuer. Les produits semiochimiques sont utilisés pour attirer les organismes nuisibles ciblés et peuvent ensuite être gérés par d'autres moyens, tels que la stérilisation ou la mort (Lengai et Muthomi, 2018).

Des extraits de plantes appartenant à la famille des Asteraceae ont été rapportés pour inhiber la croissance des hyphes et induisent des modifications structurelles sur les mycéliums de champignons pathogènes des plantes (Vidyasagar et Tabassum, 2013). Des composés tels que

l'allicine trouvés dans les bulbes d'ail (*Allium sativum*) entraînent la suffocation de l'organisme nuisible en raison de ses effets sur les récepteurs des neurotransmetteurs (Baidoo et Mochiah, 2016). Différentes classes de micro-organismes ont différents modes d'action. L'hyperparasitisme est l'un des modes d'action les plus rapportés sur de nombreux agents de biocontrôle (Akrami et al., 2011). L'antagoniste tue l'agent pathogène tandis que certains s'attaquent au sclérote ou à l'hyphe de l'agent pathogène fongique. Un seul agent pathogène pourrait être attaqué par plusieurs agents de biocontrôle (Błaszczuk et al., 2014). Les espèces du genre *Trichoderma* présentent un mode d'action de prédation en produisant des enzymes qui tuent directement les parois cellulaires des agents pathogènes et qui y colonisent l'environnement. Certains microorganismes produisent des composés qui tuent d'autres microorganismes, un mécanisme appelé antibiose. Ceci est plus fréquent avec les bactéries appartenant aux espèces de *Pseudomonas*, *Agrobacterium*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Pantoea* et il a également été signalé dans le champignon *Trichoderma* spp (Mendoza et al., 2015) *Beauveria bassiana* inhibe le développement de la chitine chez les insectes par les conidies qui s'attachent au corps des insectes. Après la germination, l'hyphe pénètre à travers la cuticule et se développe dans tout le corps de l'insecte, finissant par le tuer (Prasad et Syed, 2010). Les substances semi-chimiques telles que les phéromones sexuelles féminines sont utilisées pour attirer les insectes nuisibles mâles qui sont ensuite stérilisés, ce qui diminue leur efficacité. Lorsqu'elles s'accouplent avec les insectes mâles stériles, les femelles pondent des œufs non fécondés, réduisant ainsi les populations d'insectes nuisibles (Refki et al., 2016)

## **2.6. Conclusion et perspectives d'avenir**

Malgré les nombreux défis posés par l'adoption de biopesticides, ceux-ci restent des alternatives appropriées aux pesticides conventionnels. L'utilisation de produits chimiques de synthèse a suscité de nombreuses préoccupations en raison de leurs effets négatifs sur l'environnement, la santé humaine, les ennemis naturels et l'équilibre de l'écosystème. Certains des ingrédients actifs des pesticides synthétiques se sont révélés cancérigènes, constituant ainsi une menace pour la vie humaine. Les biopesticides offrent une meilleure alternative aux pesticides synthétiques en raison de leur faible toxicité, de leur biodégradabilité et de leur faible persistance dans l'environnement. Les matériaux de base pour les biopesticides sont facilement disponibles et peu coûteux. Des données sur les niveaux de toxicité, la chimie, les composés actifs et leur compatibilité avec d'autres méthodes de lutte contre les parasites et les maladies sont nécessaires pour faciliter la formulation et la commercialisation.

Des recherches supplémentaires sont recommandées pour combler les lacunes dans la formulation des biopesticides. Des produits stables dans des conditions de terrain garantiront l'efficacité totale des biopesticides dans la lutte contre les ravageurs des cultures. Les chercheurs devraient donc collaborer avec des ingénieurs des gouvernements et de l'industrie, ainsi qu'avec des agriculteurs. Fournir des formulations stables et durables de biopesticides.

**PARTIE**  
**EXPERIMENTALE**

# **Chapitre III**

## **Identification des ravageurs**

### **3.1 Introduction**

Pour reconnaître l'importance des dégâts des noctuelles dans les cultures maraichères en Algérie, et déterminer la part de chaque espèce impliquée dans les attaques contre ces cultures, l'identification de ces ravageurs est indispensable. Chaque année, de nombreuses attaques par les insectes ravageurs sont déclarées et préoccupent les agriculteurs et les chercheurs. Les dégâts sont très importants, les dépenses sur les traitements sont en augmentation et les rendements sont en chute. Les noctuelles qui sont des lépidoptères de la famille des noctuidés contribuent de façon importante aux attaques inévitables des insectes sur les cultures maraichères, on distingue plusieurs espèces de noctuelle qui s'attaque à tous les organes des plantes (fleurs, feuilles, fruits, tiges...etc). L'identification de ces ravageurs nécessite un suivi et une observation méticuleuse afin de permettre de connaître avec certitude le ou les espèces impliquées dans ces dégâts et d'étudier leur bio-écologie.

### **3.2. Matériel et méthodes**

#### **3.2.1. Collecte des larves**

Les noctuelles ont été collectées sur les cultures et ramenées au laboratoire pour conduire un élevage de masse et suivre leur développement jusqu'à l'obtention des adultes. Une prospection a été conduite dans les parcelles de culture maraichère, notamment sur artichaut, chou, chou-fleur, pomme de terre, poivron et tomate dans l'ouest Algérien. Les prospections ont été effectuées au printemps et en automne des années 2015 à 2016. Les vers ont été recherchés et collectés dans le sol à proximité des plants et aussi à l'intérieur des capitules d'artichaut et l'inflorescence du chou, sur les feuilles de pomme de terre et de tomate. La collecte des larves a été effectuée dans différentes parcelles d'artichaut et chou dans la région de Relizane et Mostaganem dans l'ouest Algérien. Toutes les larves collectées dans les différentes parcelles ont été transférées au laboratoire à une température ambiante (entre 20 et 23°C).





**Figure 11.** Plant d'artichaut infesté par les larves de noctuelles (Photo originale, 2015)

### 3.2.2. Élevage des noctuelles

Pour permettre un suivi régulier des vers de noctuelle, chaque larve a été placée individuellement dans des boîtes en plastique (diamètre 8 cm, profondeur 7 cm) munies d'un trou recouvert d'un filet à mailles fines pour l'aération, contenant des feuilles fraîches d'artichaut, pomme de terre et chou pour la nourriture des larves. La durée du développement a été notée pour tous les individus. Les larves en fin de développement ont été contrôlées très régulièrement afin de noter leur comportement prénymphal, la date d'obtention des nymphes a été régulièrement effectué jusqu'à l'émergence des adultes.



**Figure 12.** Elevage des noctuelles au laboratoire (Photo originale, 2015)



**Figure 13.** Larve de noctuelle s'alimentant de feuille de pomme de terre (Photo originale, 2015)

### 3.2.3. Principaux critères de reconnaissance des adultes de la famille de Noctuidae

L'identification des différentes espèces est selon des critères morphologiques très nets. La dissection des genitalia est nécessaire pour déterminer précisément un certain nombre de Noctuidae. Mais de nombreuses espèces peuvent également être déterminées en examinant les habitus (l'aspect général et donc les motifs des papillons).

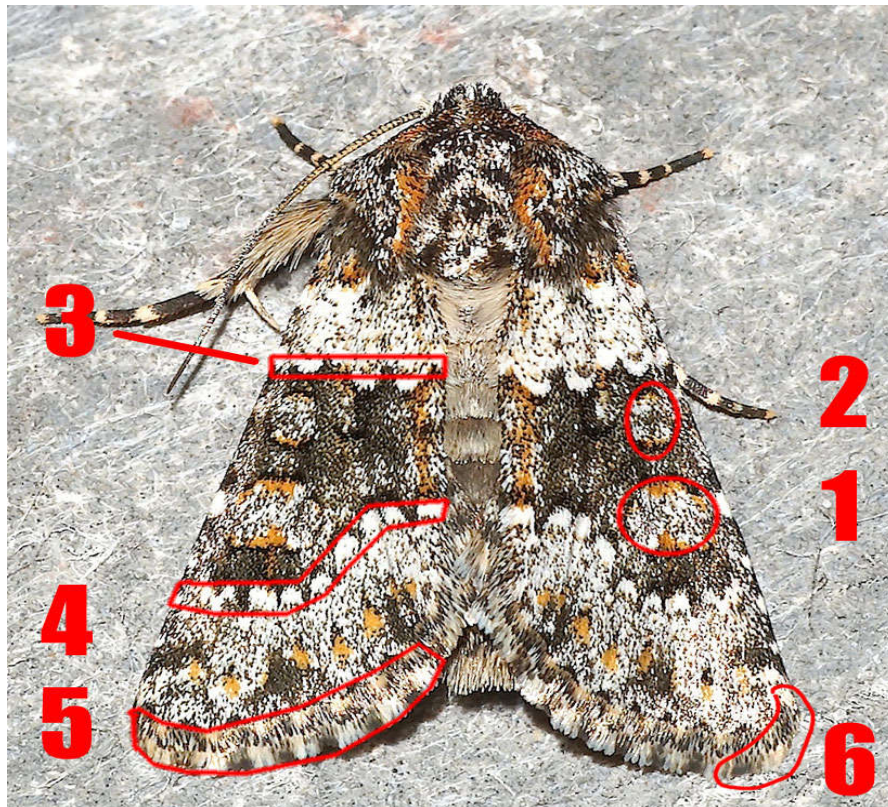
Voici ci-dessous (Kirti et Dar, 2013) un lexique illustré des motifs régulièrement affichés chez les adultes par les espèces. Il faudra prêter un œil d'autant plus attentif à ces motifs que de nombreuses espèces présentent des variations individuelles fortes.

Enfin, et comme les noctuelles se posent ainsi, le visuel suivant se focalise sur les motifs de l'aile antérieure. Mais l'examen de l'aile postérieure peut être tout aussi utile.

1. La réniforme : c'est une tâche largement répandue dans cette famille. Il faut prêter attention à sa forme (ronde, haricot...etc) mais aussi à certaines particularités par exemple si elle a une tache noire vers l'intérieur.
2. La tâche orbitale : souvent de taille plus réduite que la réniforme.
3. La ligne anté-médiane : chez certaines espèces, elle marque une séparation de couleur très nette et très caractéristique.
4. La ligne post-médiane : on la remarque moins souvent pour séparer des zones de couleurs comme l'anté-médiane (mais ça peut être le cas). C'est plutôt le motif de la ligne qu'on examine (bande colorée, chevrons, pointillée, ...)

5. La frange : elle peut arborer des motifs particuliers. Attention, c'est souvent une des zones qui s'usent le plus rapidement et elle n'est pas toujours facile à constater.

6. L'apex : c'est le bout de l'aile. Des tâches singulières, un angle aigu ou arrondi mais aussi une aile légèrement relevée ou encore le lien entre la ligne post-médiane et l'apex sont autant de motifs à examiner (Kirti et Dar, 2013).



**Figure 14.** Les motifs permettant de déterminer un Noctuidae (Kirti et Dar, 2013).

### 3.2.3.1. Caractères généraux

Deux paires d'ailes membraneuses recouvertes d'écailles au moins en partie ;  
Pièces buccales en forme de trompe enroulée en spirale au repos ;  
Antennes souvent filiformes, parfois ciliées ou pectinées ;  
Trompe et palpes labiaux bien développés ;  
Forme et nervation des ailes postérieures et antérieures respectivement différentes ;  
Tympan visible sur la partie postérieure du thorax une membrane translucide située dans une cavité ; cette cavité est elle-même protégée par des opercules abdominaux. (Kirti et Dar, 2013).

**3.2.3.2. La tête**

Les antennes sont filiformes, souvent ciliées parfois pectinées. La plupart du temps, elles sont filiformes chez les femelles ;

Les ocelles sont presque toujours présents et situés près de la base des antennes ;

Les yeux composés peuvent être couverts de poils (sous-famille des Hadeninae) ou entourés de cils (sous-famille des Plusiinae) ;

La trompe, ou proboscis, est généralement bien développée. Au repos, elle est enroulée sous la tête ; Les palpes de taille moyenne sont bien visibles, parfois très longs. (Caryol, 1972)

**3.2.3.3. Les ailes**

Au repos, les ailes sont disposées en toit ou à plat. Les ailes postérieures et antérieures diffèrent par leur forme et leur nervation ; les ailes antérieures sont triangulaires, relativement étroites, de coloration généralement grise ou brune. Il existe une grande variabilité d'aspect des ailes antérieures à la fois entre individus de sexe différent (dimorphisme sexuel) mais également entre individus du même sexe ; les ailes postérieures sont habituellement d'un gris jaunâtre mais chez certaines espèces elles sont bicolores (jaunes et noires ou bien noires et rouges) (Caryol, 1972).

En revanche, l'uniformité de la nervation alaire des noctuelles permet de les distinguer aisément de tous les autres groupes de papillons ; au niveau de l'aile antérieure, la base de nervure médiane (M2) est plus proche de M3 que de M1 ; l'aile postérieure est caractérisée par la sous-costale qui s'écarte du bord antérieur de la cellule bien avant son milieu et n'est jamais renflée à sa base.

En phase de vol, les ailes antérieures et postérieures sont couplées par un système de parfaite synchronisation qui varie selon le sexe des individus. Chez le mâle, ce couplage est assuré par le frénulum, forte soie fixée à la base de l'aile postérieure qui vient s'encaster dans un petit manchon situé à la base de l'aile antérieure et dénommé rétinacle ; chez la femelle, le rétinacle est transformé en une brosse de soies dans laquelle viennent s'insérer les 2 ou 3 soies rigides qui composent le frénulum.

**3.2.3.4. Le thorax**

Il porte trois paires de pattes fonctionnelles et les 2 paires d'ailes. Le thorax est pourvu de tympan latéraux métathoraciques qui émettent et perçoivent des ultrasons (Caryol, 1972; Delvare et Aberlenc, 1989).



### 3.2.3.5. L'abdomen

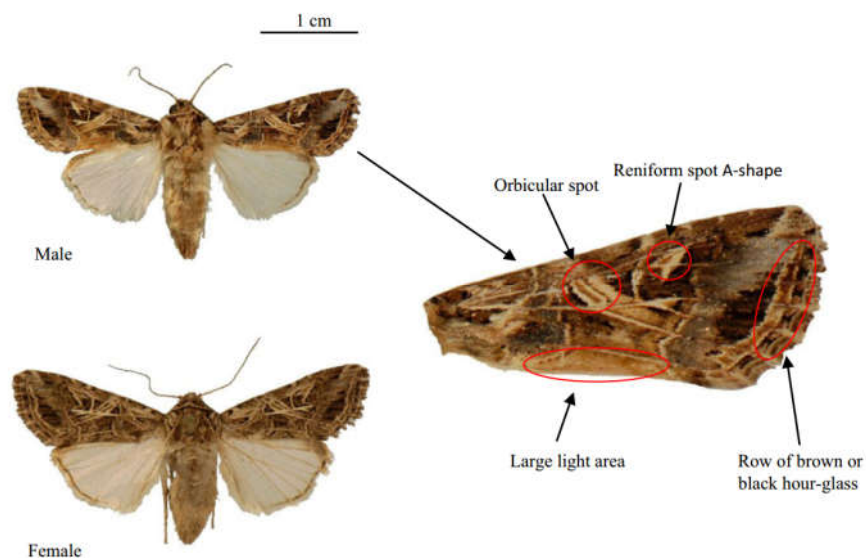
Il comprend 10 segments dont les deux derniers profondément modifiés délimitent la structure génitale. Chaque segment porte de chaque côté un stigmate (Caryol, 1972; Delvare et Aberlenc, 1989).

### 3.2.3.6. Les pattes

Les 3 paires de pattes thoraciques (ou vraies pattes) sont composées de 5 parties : la coxa, le trochanter, le fémur, le tibia et le tarse. On observe fréquemment un crochet incurvé ou épiphyse tibiale sur le tibia de chaque patte prothoracique. D'autres caractères de reconnaissance, telle que la présence d'éperons sur les tibias des pattes, sont également utiles à l'identification des espèces et à leur classification (Caryol, 1972; Delvare et Aberlenc, 1989).

## 3.3. Résultats

L'examen des motifs de l'aile antérieure et aussi de l'aile postérieure (figures 15 et 16) a permis de distinguer deux espèces principales de noctuelle dont les larves détruisent les feuilles, les fleurs et les fruits de plusieurs végétaux tels que l'artichaut, le chou, la tomate...etc. Il s'agit du ver du coton *Spodoptera littoralis* et la noctuelle de la tomate *Helicoverpa armigera*.



**Figure 15.** Adulte de *Spodoptera littoralis* (Photos J.-F. Germain, 2015)



**Figure 16.** Adulte de *Helicoverpa armigera*. (Photos J.-F. Germain, 2015)

### 3.4. Présentation des ravageurs de la présente étude

#### 3.4.1. Description du ravageur *Spodoptera littoralis*

##### 3.4.1.1. L'œuf

Les œufs sont de petite taille avec 0,6 mm de diamètre et sont légèrement aplatis. Ils sont généralement groupés en rangées plus ou moins régulières en une à trois couches, sont recouverts avec des écailles de cheveux dérivées de la pointe de l'abdomen de la femelle. Ils ont généralement une couleur jaune blanchâtre, virant au noir juste avant l'éclosion, en raison de la grosse tête de la larve qui transparaît à travers la coquille transparente (Pinhey, 1975).



**Figure 17.** Les œufs de *S. littoralis* (Photo originale, 2017)

### 3.4.1.2. La larve

À l'éclosion, les larves mesurent 2 à 3 mm de long et ont un corps blanc et une tête noire. Elles sont très difficiles à détecter visuellement. Les larves atteignent 40 à 45 mm et sont glabres, cylindriques, rétrécies vers l'arrière et de couleur variable (gris noirâtre à vert foncé, devenant brun rougeâtre ou blanchâtre jaune). Les côtés du corps ont des bandes longitudinales sombres et claires ; la face dorsale est composée de deux points noirs semi-lunaires latéraux sur chaque segment, à l'exception du prothorax et des taches sur le premier et huitième segment abdominal plus grandes que les autres, interrompant les lignes latérales du premier segment. Les larves sont nocturnes et peuvent être trouvées à la base des plantes ou sous les pots pendant la journée (Figure 18).



**Figure 18** : La larve de *S. littoralis* (Photo originale, 2017)

### 3.4.1.2. Nymphes

Lorsqu'elles sont nouvellement formées, les nymphes sont vertes avec une couleur rougeâtre sur l'abdomen et virent au brun rougeâtre foncé après quelques heures (Fig. 19). La forme générale est cylindrique, de 14 à 20 x 5 mm s'amincissant vers les segments postérieurs de l'abdomen. Le dernier segment se termine par deux forts crochets droits (Pinhey, 1975).



**Figure 19** : La nymphe de *S. littoralis* (Photo originale, 2017)

#### 3.4.1.3. Adulte

Le papillon a un corps gris-brun (Fig. 20), de 15 à 20 mm de long ; l'envergure est de 30 à 38 mm ; les ailes antérieures sont grises à brun rougeâtre avec des lignes plus claires le long des nervures (chez les mâles, des zones bleuâtres apparaissent à la base et à la pointe de l'aile). Les ailes postérieures sont blanc grisâtre, iridescent avec des marges grises et n'ont généralement pas de veines plus foncées (OEPP, 1997).



**Figure 20** : L'adulte de *S. littoralis* (Photo originale, 2017)



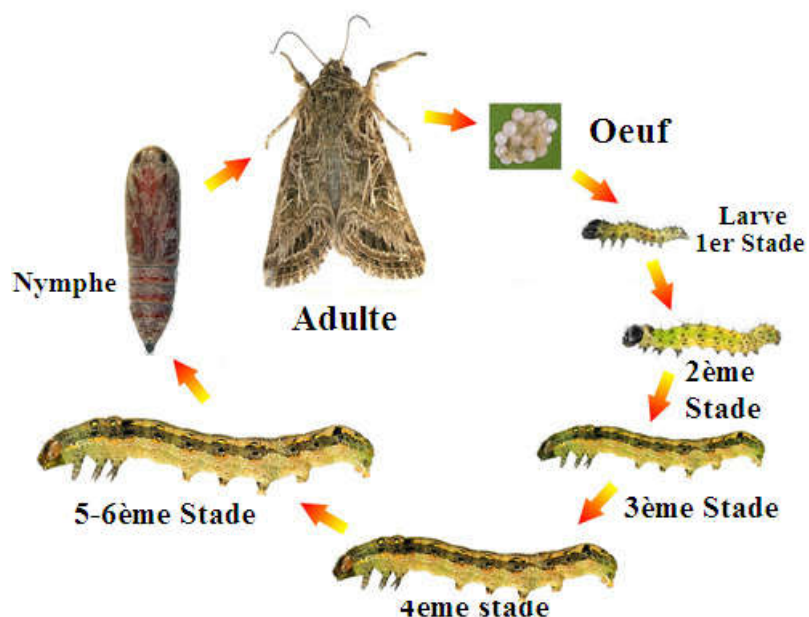


Figure 21 : Schéma du cycle biologique de la noctuelle *Spodoptera littoralis*

### 3.4.2. Description du ravageur Noctuelle de la tomate *Helicoverpa armigera*

#### 3.4.2.1. Œufs

Blanc jaunâtre lors de la première ponte (Fig. 22), puis brun foncé juste avant l'éclosion. Les œufs nouvellement pondus étaient de couleur blanc crème de 0,4 à 0,6 mm de diamètre. Le dessus est lisse, sinon la surface contient environ 24 nervures longitudinales. Juste avant l'éclosion, la tête du premier instar est devenue claire à travers le chorion (Bhatt et Patel, 2001; CABI, 2018).



Figure 22 : l'œuf de *H. armigera* (Photo originale, 2017)

### 3.4.2.2. La larve

Les larves des premiers stades sont blanc jaunâtre à brun rougeâtre et apparaissent marquées de points car les soies situées au-dessus de la ligne de stigmates sont portées sur des pinacula surélevés et car les bords des stigmates sont foncés (et les stigmates souvent noirs). Chez les derniers stades, les lignes de stigmates sont jaunes blancs, les stigmates étant généralement blancs avec des bords noirs. Au-dessus de la ligne de stigmates, on peut observer des stries blanches irrégulières et en dessous de la ligne de stigmates, le tégument est moucheté de points blancs. La bande dorsale centrale est large et de couleur brun foncé à noir. Les soies implantées au-dessus de la ligne de stigmates sont portées sur des pinacula surélevés noirs ou brun foncé, tandis que les soies situées en dessous sont moins visibles et de la même couleur que le tégument. Le corps est couvert de spinules cuticulaires. Le huitième segment abdominal est parfois allongé et forme une petite bosse. Le premier segment abdominal est également parfois légèrement bossu. Les plaques thoracique et anale sont souvent de la même couleur que les téguments, la plaque thoracique étant parfois plus sombre avec une moucheture distincte. Les pattes thoraciques sont brunes et les pattes abdominales sont de la même couleur que le corps. Les poils dorsaux situés juste derrière la tête, et parfois tous les poils dorsaux sont transparents. La couleur varie énormément, de différents tons de vert à jaune paille, noir, rose ou brun rougeâtre. Les larves à maturité mesurent 30 à 40 mm de longueur (King, 1994 ; EPPO, 2003).



**Figure 23** : Larve de *H. armigera* (Photo originale, 2017)

### 3.4.2.3. La nymphe

Les chrysalides mesurent entre 14 et 20 mm de longueur ; elles sont lisses et de couleur acajou. Le crémaster est très court et arrondi avec deux longues épines effilées presque parallèles. Ils possèdent une petite proéminence basale et les tubercules sont toujours présents et distincts.



**Figure 24.** Nymphe de *H. armigera* (Photo originale, 2017)

### 3.4.2.4. Les adultes

Les adultes ont une envergure de 35 à 40 mm et un corps trapu de 14 à 19 mm de longueur. Les ailes antérieures des deux sexes présentent une ligne de 7 ou 8 taches noires sur leur marge. La couleur est variable, mais chez les mâles, les ailes antérieures sont généralement brun jaunâtre, avec éventuellement des motifs vert grisâtre ou vert olive chez les spécimens frais et parfois marqués de rose, puis jaune pâle ou brun clair chez les spécimens plus âgés (Hardwick, 1965). Les femelles sont plus foncées, généralement de couleur brun orangé terne, rouge brun ou de rouge brique et se fanent avec le temps en fauve ou fauve clair (Hardwick, 1965). Les ailes antérieures ont un marquage en forme de rein noir ou brun foncé près du centre (Brambila, 2009). Les ailes postérieures sont blanc crème ou jaune terne chez les deux sexes, avec une large bande brun foncé ou gris foncé sur la marge externe (Brambila, 2009a).

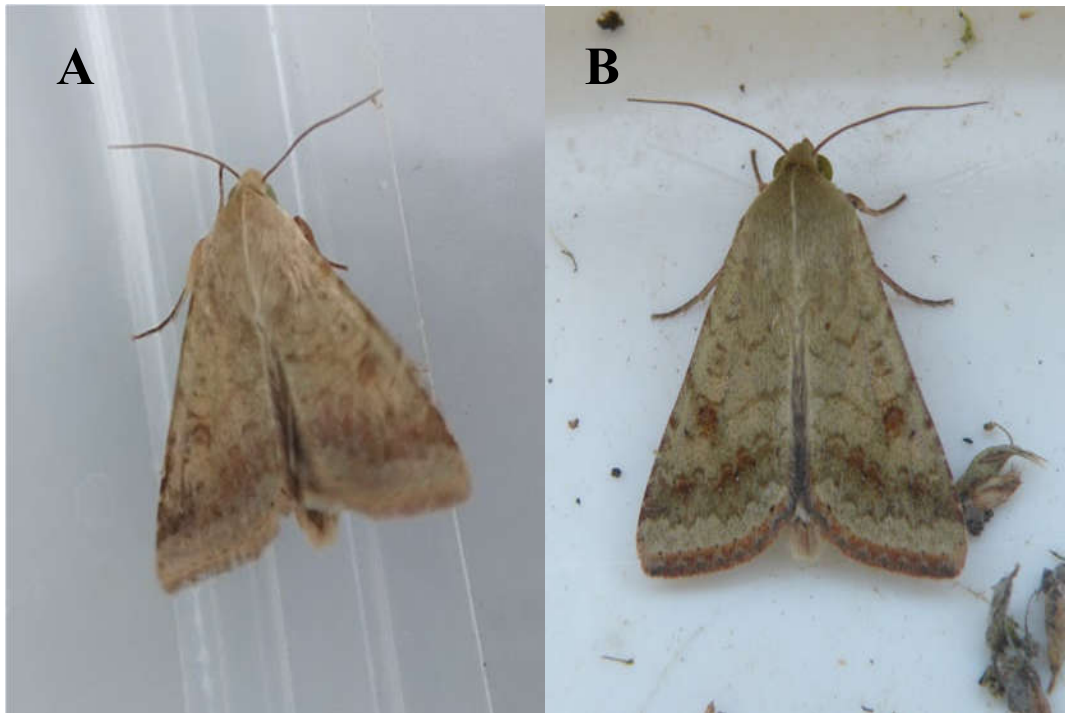


Figure 25 : Adultes de *H. armigera* (Photo originale, 2017)  
(A) Femelle de *H. armigera* (B) Male de *H. armigera*

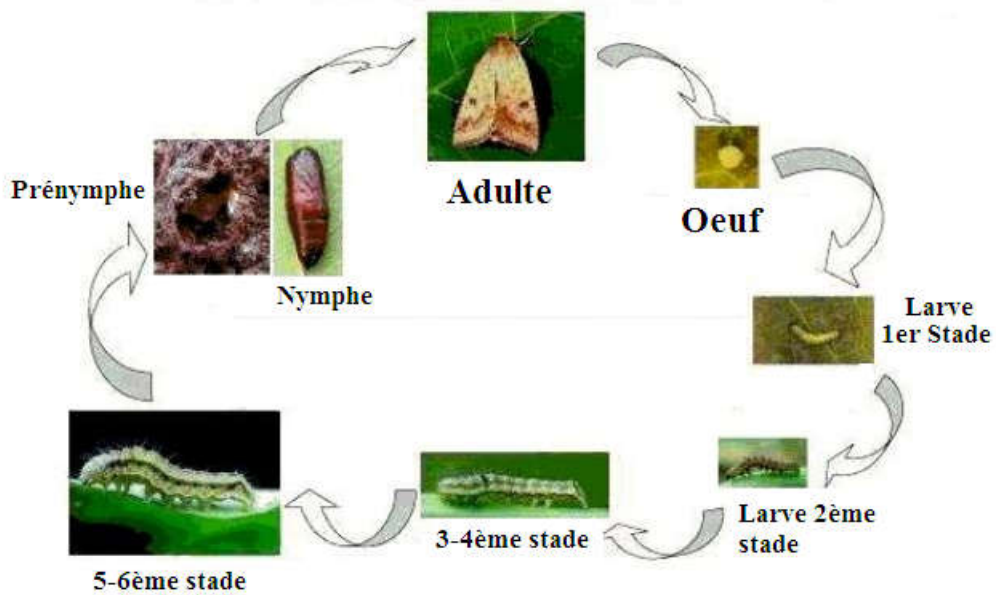


Figure 26 : Schéma du cycle biologique de la noctuelle de *H. armigera*

### **3.5. Discussion et conclusion**

Dans la plupart des parcelles des cultures légumières à l'ouest Algérien, les noctuelles recensées appartiennent à des espèces de la famille des noctuidés, dont les larves s'alimentent principalement des feuilles, fleurs et tiges des végétaux cultivés.

Barkou et al. (2017) ont inventorié toutes les espèces des noctuidés trouvées en Algérie. Parmi les espèces citées, on trouve *Spodoptera littoralis* et *Helicoverpa armigera*. En fait nous avons rencontré plusieurs espèces de noctuelles au niveau des parcelles recensées, d'autres espèces ont pu être identifiées telles que *Agrotis ipsilon*, *Spodoptera exigua* et *Autographa gamma* sur le terrain, mais seulement *S. littoralis* et *H. armigera* qui apparaissent comme les principaux ravageurs et les plus dominants des cultures maraichères dans l'ouest Algérien. C'est pour cette raison que notre étude s'est basée sur ses deux ravageurs seulement.

# **Chapitre IV**

## **Bioécologie des noctuelles**

## 4.1 Introduction

La noctuelle méditerranéenne ou le ver du coton *Spodoptera littoralis* (Boisduval) et la noctuelle de la tomate *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera : Noctuidae) sont des défoliateurs très polyphages de nombreuses plantes cultivées (Brown et Dewhurst, 1975 ; Holloway, 1989 ; Fitt, 1989 ; Smith, 1992). Une large gamme d'hôtes d'au moins 87 espèces de plantes et 40 familles de plantes, comprenant de nombreuses cultures maraîchères, fruitières et ornementales (Salama *et al.*, 1971). *Spodoptera littoralis* et *Helicoverpa armigera* s'attaquent à la plupart des cultures végétales, y compris les tomates, les poivrons, les aubergines, la laitue, les artichauts, les fraises et les asperges, mais endommagent également les plantes ornementales et les plantes herbacées (Zalucki *et al.*, 1986 ; Lanzoni *et al.*, 2012). L'organisation européenne et méditerranéenne pour la protection des plantes les énumèrent comme nuisibles et soumis à une mise en quarantaine (EPPO, 2015). *S. littoralis* et *H. armigera* sont présents en Algérie et dans de nombreux autres pays africains et méditerranéens et du Moyen-Orient, notamment en Chypre, Malte, Maroc, Italie et Grèce (Salama *et al.*, 1971 ; Ahmad, 1988 ; Blackford *et al.*, 1997 ; Champion *et al.*, 1997 ; Azab *et al.*, 2001 ; Hatem *et al.*, 2009 ; EPPO, 2014).

Différentes plantes hôtes pourraient jouer un rôle important dans l'accroissement de la population et les épidémies d'insectes ravageurs polyphages (Singh et Parihar, 1988 ; Lu et Xu, 1998) et affectent aussi bien le développement que la survie, la reproduction et les paramètres de survie des insectes (Tsai et Wang, 2001 ; Kim et Lee, 2002). Cependant, la présence de larves sur n'importe quelle culture ne signifie pas nécessairement que la plante est un hôte pour l'insecte (Kitching et Zalucki, 1983). Afin de déterminer si une plante est un hôte convenable pour un insecte nuisible particulier, il doit pouvoir terminer son cycle de vie sur cette plante et se renouveler, ou avoir un taux intrinsèque d'accroissement de la population égal ou supérieur à zéro (Zalucki *et al.*, 1986).

L'étude des paramètres biologiques et de l'effet de la qualité des aliments sur la biologie des insectes est importante pour déterminer la ou les plantes hôtes d'intérêt (Greenberg *et al.*, 2001). Les plantes de basse qualité nutritionnelle peuvent réduire la survie des insectes, leurs tailles ou leurs poids, leurs longévités et leurs viabilités de reproduction ou augmenter indirectement leurs expositions aux ennemis naturels en raison du temps de développement prolongé (Ali et Gaylor, 1992 ; Greenberg *et al.*, 2001 ; Awmack et Leather, 2002 ; Chen *et al.*, 2008).

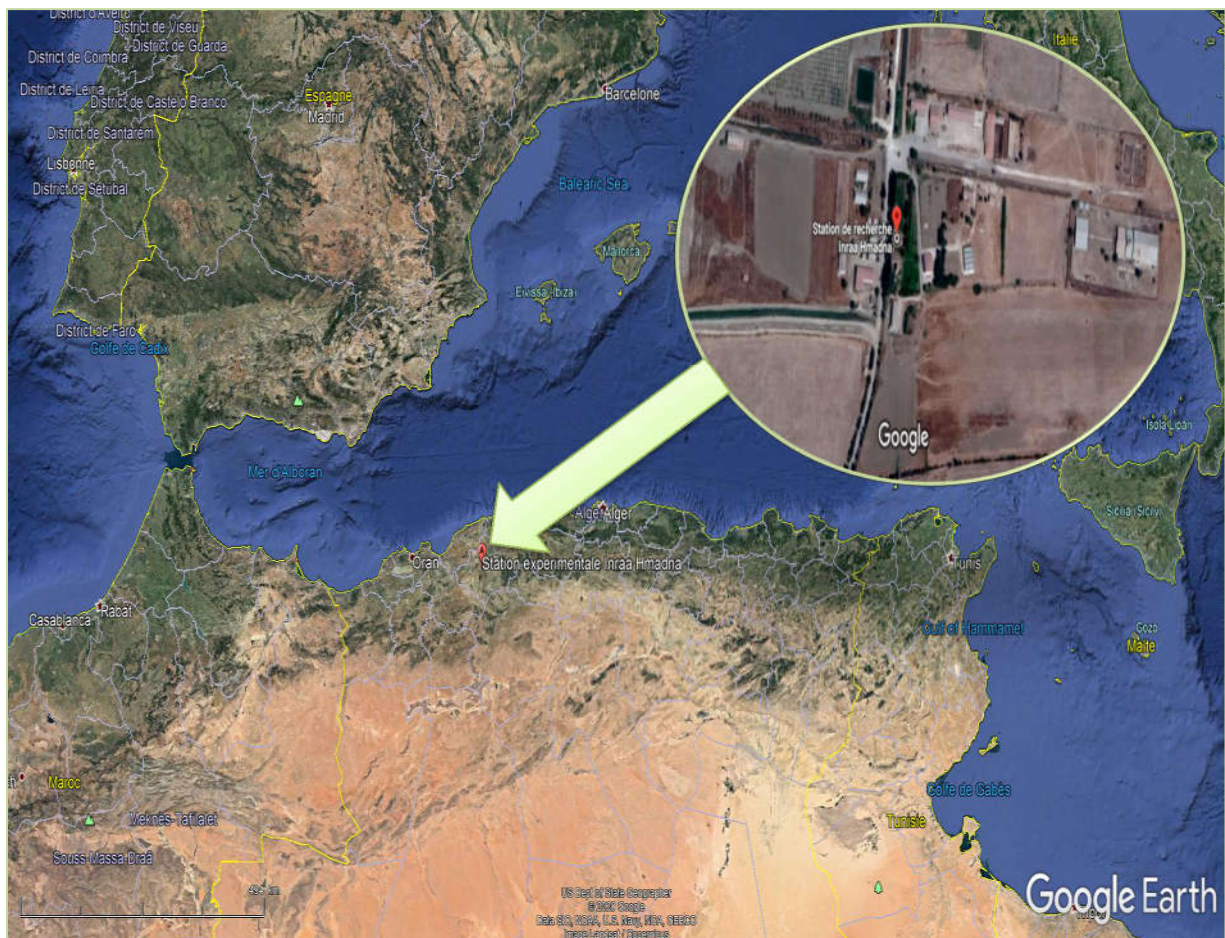
Les objectifs de la présente partie de l'étude sont centrés sur le développement larvaire de *S. littoralis* et *H. armigera*, la longévité des adultes, la fécondité sur certaines cultures



légumières hôtes cultivées en Algérie, la détermination de la pertinence de ces parasites sur quatre plantes hôtes (Chou, artichaut, pomme de terre et tomate) et les paramètres d'accroissement de la population de ces insectes. Les résultats fournis par cette étude nous aideront à comprendre le comportement de ces ravageurs sur ses différentes plantes hôtes, ce qui est essentiel pour améliorer les programmes de lutte intégrée sur les cultures maraichères.

## 4.2 Présentation de la zone d'étude

L'expérimentation s'est déroulée dans l'institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie (INRAA), exactement dans la station expérimentale de Hmadna. Elle est située dans la commune de Hmadna, Wilaya de Relizane. Cette station est caractérisée par un climat semi-aride ( $35^{\circ} 54' N.$  ;  $0^{\circ} 47' E.$  à une altitude de 48 m). Dans une salle d'élevage avec des températures constantes de  $25 \pm 1^{\circ} C$ , et une humidité relative de  $65 \pm 5 \%$ , avec une photopériode de 16 : 8 L : D (Figure 27).



**Figure 27** – Présentation de la zone d'étude et du site expérimental à l'INRAA de Hmadna, (Relizane -Algérie-) (Google earth, 2019)



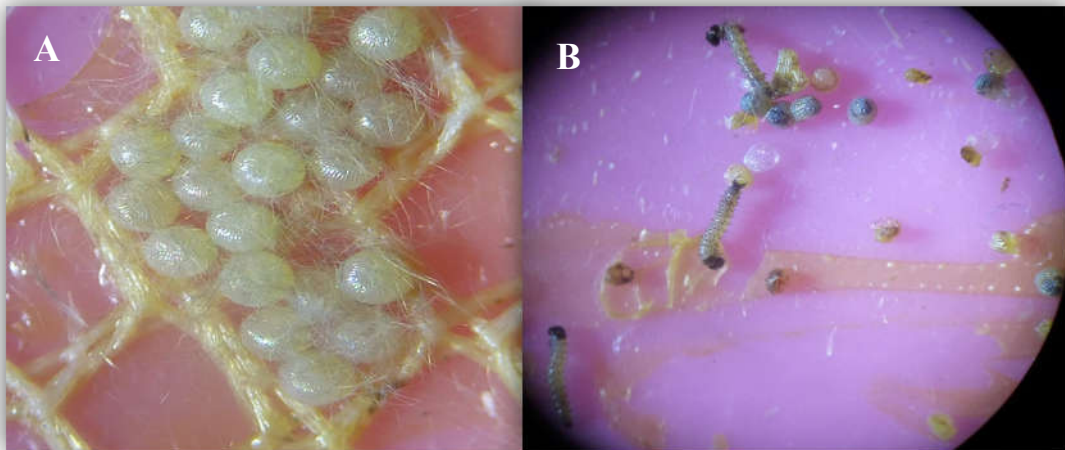
### 4.3 Matériel et méthodes

#### 4.3.1 Plantes hôtes

Quatre plantes hôtes ont été utilisées dans cette étude, le chou (*Brassica oleracea*), l'artichaut (*Cynara scolymus*), la pomme de terre (*Solanum tuberosum*) et la tomate (*Lycopersicon esculentum*). La sélection de ces plantes était basée sur leur importance en tant que cultures légumières d'intérêt en Algérie. Tous les matériaux végétaux utilisés dans cette expérience ont été collectés à partir de plantes poussant dans des conditions de terrain sans utilisation de pesticides.

#### 4.3.2 Insectes

Les larves de *Spodoptera littoralis* et de *Helicoverpa armigera* ont été collectés dans des champs d'artichauts en octobre 2016, puis acheminés au laboratoire puis élevés à une température de  $25 \pm 1$  °C et à une humidité relative de  $65 \pm 5$  % (Figure 28). Les larves ont été divisées en quatre groupes et élevées pendant une génération entière (des œufs à l'émergence des adultes) sur chaque plante hôte sur laquelle la génération suivante a été évaluée, afin de leur permettre de s'adapter aux nouvelles plantes hôtes. Des larves néonates (très jeunes) de la génération suivante ont été utilisées pour les tests (Figure 28).



**Figure 28.** (A) Œufs de *Spodoptera littoralis* et (B) œufs en éclosion de *Helicoverpa armigera* (Photos Originales, 2017)



**Figure 29.** Larve de *Spodoptera littoralis* (A) et *Helicoverpa armigera* (B) (Photos originales, 2017)



**Figure 30.** Adulte de *Spodoptera littoralis* (A) et *Helicoverpa armigera* (B) (Photos originales, 2017)

#### 4.3.3 Développement des larves et reproduction des adultes

Les adultes nouvellement émergés des deux espèces, au niveau du laboratoire, ont été appariés et conservés dans des récipients de ponte individuels (diamètre 14 cm et hauteur 18 cm), fermés au sommet avec un filet à mailles fin. Les adultes étaient munis quotidiennement d'une boule de coton imbibé de solution de miel à 10 %. Les œufs pondus ont été collectés dans un conteneur et ont été utilisés ultérieurement ; cinquante œufs ont été utilisés sur chaque type de plante hôte. Après l'éclosion, les larves de néonates ont été transférées individuellement dans des boîtes en plastique (diamètre 8 cm, profondeur 7 cm) munies d'un trou recouvert d'un filet à mailles fines pour l'aération, contenant les feuilles fraîches de différentes plantes testées. Une

fine brosse en poil de chameau a été utilisée pour transférer les jeunes larves dans les récipients. Des produits alimentaires frais ont été fournis en fonction des besoins des insectes et des observations ont été enregistrées quotidiennement pour la mortalité / survie des larves du même stade ou pour la mue au prochain stade, par la nymphose et l'émergence des adultes. La capsule céphalique ou les exuvies de mue ont été utilisées pour distinguer les stades larvaires. Les périodes larvaires, pré-nymphales, nymphales et leur mortalité ont été enregistrées sur différentes plantes-hôtes, le poids des stades nymphaux, le pourcentage de nymphose et le pourcentage des papillons émergés des nymphes ont été déterminés.

Après l'émergence des adultes, une paire de papillons femelle et mâle (avec 15 à 24 répétitions) a été transférée dans chaque récipient en plastique transparent (diamètre 11 cm, hauteur 12 cm), qui a été fermé au sommet avec un filet à mailles fines pour l'aération. Une petite mèche de coton imbibée de solution de miel à 10 % a été placée dans les conteneurs de ponte pour l'alimentation des papillons.

La période de ponte, la fécondité quotidienne (œufs / jour de reproduction), la fécondité totale (œufs pendant la période de reproduction) et la longévité des adultes ont été enregistrées jusqu'au décès de la dernière femelle de la cohorte. La période d'incubation des œufs pondus a également été déterminée.

#### **4.4 Analyses statistiques**

Les données concernant les effets de différentes plantes hôtes sur le temps de développement, la période de ponte, la fécondité et la longévité des adultes ont été analysées avec une analyse de variance à un facteur (ANOVA), afin de déterminer les similitudes ou les différences significatives à l'aide du logiciel statistique XLSTAT (XLSTAT 2014.5 by Addinsoft). Les différences statistiques entre les moyennes ont été évaluées à l'aide du test LSD ( $\alpha = 0,05$ ). Les différences entre le taux intrinsèque d'accroissement naturel ( $r_m$ ) et les autres paramètres de population ont été testées selon la procédure de Bootstrap (Chi, 1988).

Les données brutes des tables de survie de tous les individus ont été analysées selon la théorie de la table de mortalité selon l'âge des deux sexes (age-stage two-sex life table theory) (Chi et Liu, 1985; Chi, 1988) en utilisant le programme TWOSEX-MSChart (Chi, 2018). Les paramètres suivants ont été estimés : le taux de survie par tranche d'âge et par stade ( $S_{xj}$ ; où  $x$  est l'âge et  $j$  est le stade), le taux de survie d'âge spécifique ( $l_x$ ), la fécondité d'âge est le stade spécifique âge ( $f_{xj}$ ); la fécondité âge spécifique ( $m_x$ ), et les paramètres de croissance de la population. Le taux net de reproduction de la population ( $R_0$ ), le taux intrinsèque

d'accroissement naturel ( $r_m$ ), le taux limite d'accroissement ( $\lambda$ ), la durée moyenne d'une génération (T) et le temps de doublement de la génération (TD) sont calculés en conséquence.

Le  $S_{xj}$  représente la probabilité qu'un œuf néonate survive jusqu'à l'âge  $x$  et au stade  $j$ . le taux de survie d'âge spécifique ( $l_x$ ) représente la probabilité qu'un œuf néonate survive jusqu'à l'âge  $x$  et a été calculé à l'aide de l'équation suivante :

$$l_x = \sum_{j=1}^m s_{xj}$$

$l_x$  : le taux de survie d'âge spécifique

$m$  : nombre de stade larvaire

La fécondité âge spécifique ( $m_x$ ) a été calculée à l'aide de l'équation suivante :

$$m_x = \frac{\sum_{j=1}^m s_{xj} f_{xj}}{\sum_{j=1}^m s_{xj}}$$

Le taux net de reproduction de la population ( $R_0$ ) est défini comme le nombre total de femelles qu'une femelle adulte peut produire au cours de sa vie a été calculé comme suit :

$$R_0 = \sum_{x=0}^{\infty} l_x m_x$$

Le taux intrinsèque d'accroissement naturel ( $r_m$ ) est un taux instantané de multiplication qui résume la capacité d'accroissement d'un organisme dans des conditions données a été estimé à l'aide de la méthode de bisection itérative basée sur l'équation d'Euler-Lotka, avec une indexation de l'âge allant de zéro (Goodman 1982) :

$$\sum_{x=0}^{\infty} e^{-r(x+1)} l_x m_x = 1$$

Le taux limite d'accroissement ( $\lambda$ ), a été calculé comme suit :

$$\lambda = e^r$$

(T) est la durée moyenne d'une génération a été calculé comme suit :

$$T = \frac{\ln R_0}{r}$$

Fisher (1930) a défini la valeur reproductrice comme la contribution d'individus d'âge x et de stade y à la population future. Selon Tuan *et al.* (2014), la valeur de la reproduction dans la table de mortalité des deux sexes au stade de l'âge, calculée à l'aide de l'équation suivante :

$$v_{xy} = \frac{e^{-r(x+1)}}{s_{xy}} \sum_{i=x}^n e^{-r(i+1)} \sum_{j=y}^m s'_{ij} f_{ij}$$

Les moyennes, les variances et les erreurs types des paramètres de population ont été estimées à l'aide d'une technique de bootstrap (Efron et Tibshirani, 1993 ; Yu *et al.*, 2013).

Le test bootstrap basé sur l'intervalle de confiance a été utilisé pour comparer les différences de temps de développement, de la longévité chez l'adulte, de la période de préoviposition chez l'adulte, de la période de préoviposition totale et de la période de ponte et la fécondité entre les traitements (Efron et Tibshirani, 1993 ; Akca *et al.* 2015 ; Reddy et Chi, 2015). Les paramètres de population ( $r_m$ ,  $\lambda$ ,  $R_0$  T et DT) ont également été comparés en utilisant le test bootstrap (Reddy et Chi, 2015).

## 4. 5 Résultats

### 4.5.1 Temps de développement, longévité des adultes, poids des nymphes et durée de vie

Les résultats de la période de développement et de la longévité des adultes de *Spodoptera littoralis* et de *Helicoverpa armigera* sur l'artichaut, le chou, la pomme de terre et la tomate sont présentés dans les figures 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, et 38. La période d'incubation des œufs n'a pas été affectée par les diverses plantes hôtes utilisées pour les deux espèces, contrairement aux stades larvaires qui était significativement affectée par *S. littoralis* (F = 114,67, df = 3 119; P <0,0001) et par *H. armigera* (F = 60,63; df = 3 119; P <0,0001) (Figure 31 et 32).

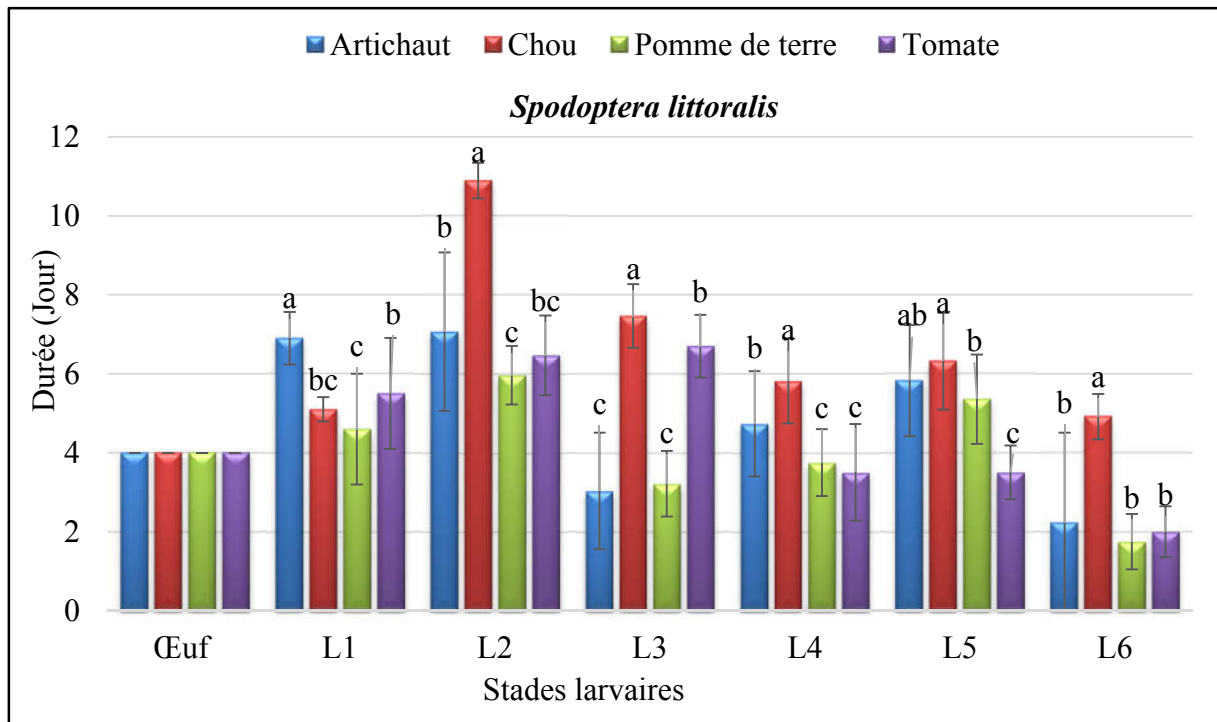


Figure 31. Durée des stades embryonnaires et larvaires de *S. littoralis* élevé sur quatre plantes hôtes

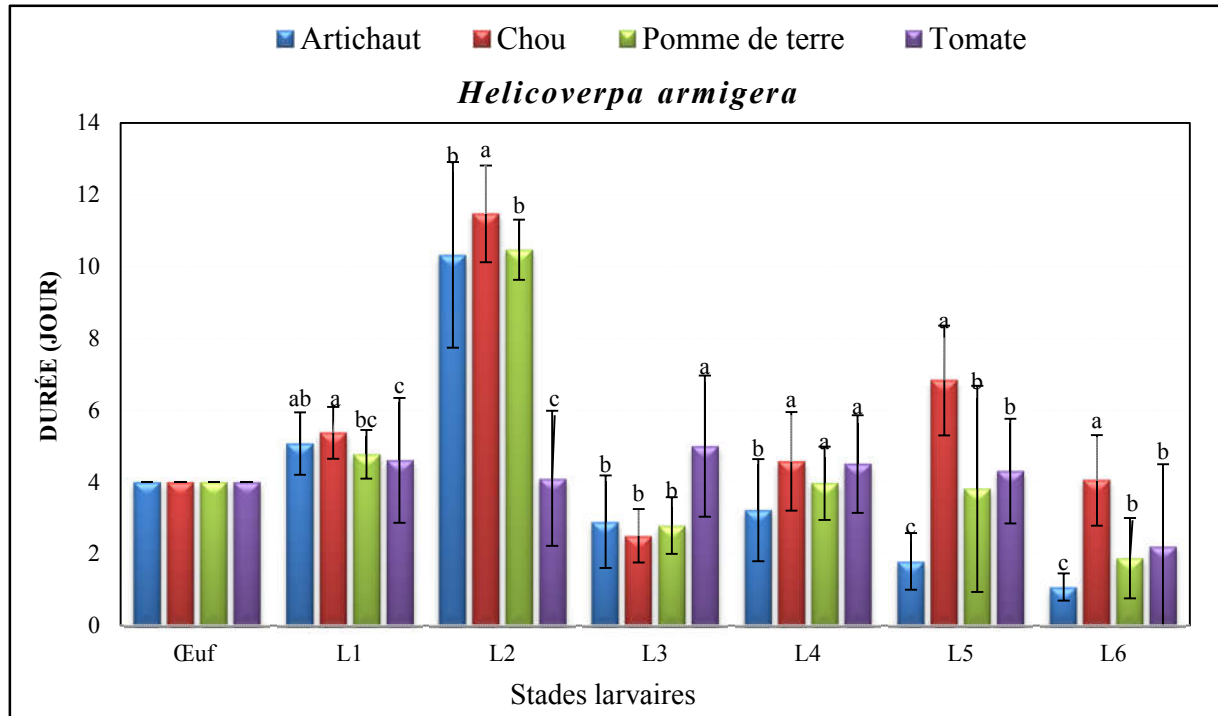
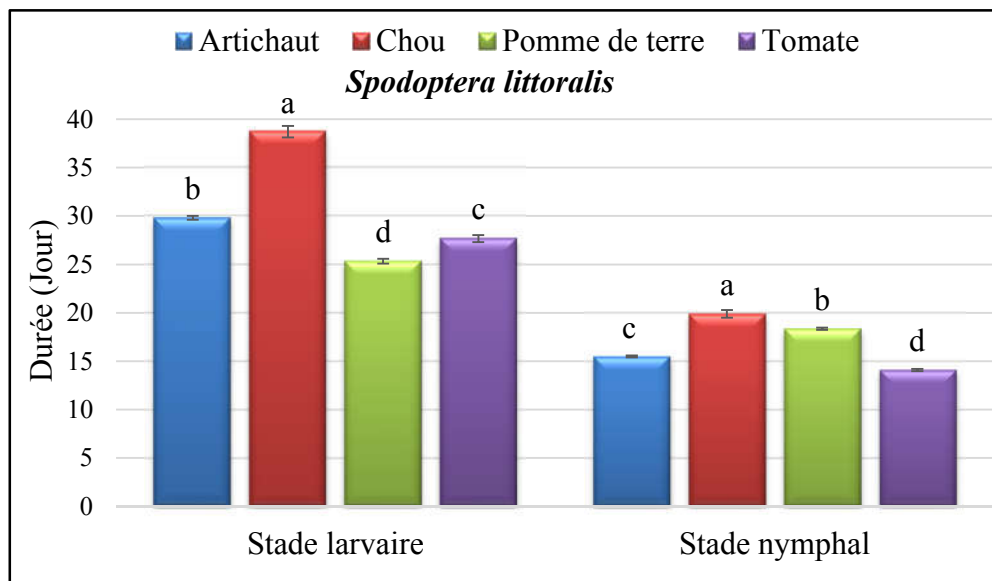


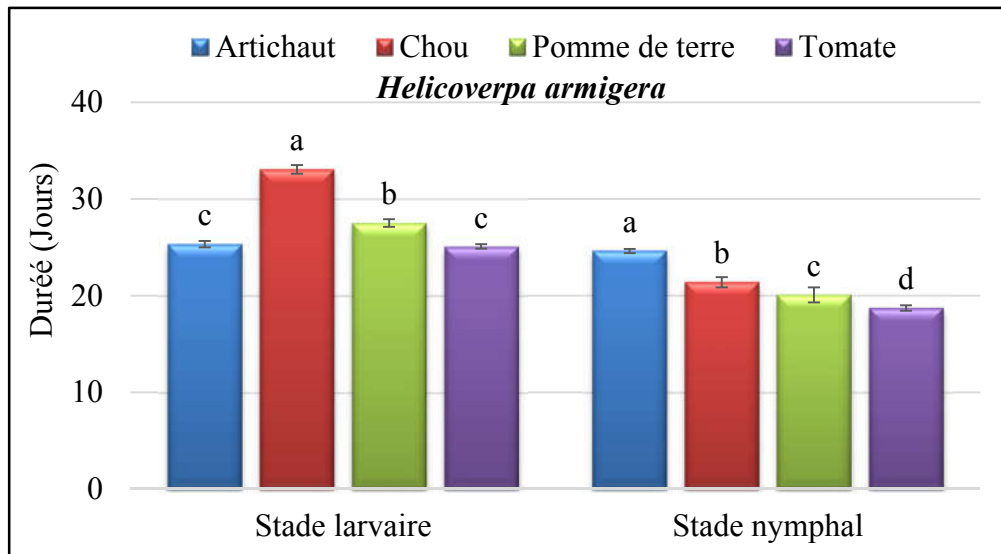
Figure 32. Durée des stades embryonnaires et larvaires de *H. armigera* élevé sur quatre plantes hôtes

La période de développement larvaire de *S. littoralis* et de *H. armigera* était la plus longue sur le chou ( $38,71 \pm 0,60$  et  $33,07 \pm 0,53$  jours, respectivement) et la plus courte sur la pomme de terre ( $25,33 \pm 0,26$  jours) pour la première espèce et la tomate ( $25,10 \pm 0,29$  jours) concernant la deuxième espèce. Les données illustrées dans la figure 31 et 32 ont révélé que le stade prénymphal (L6) était significativement affecté parmi les différentes plantes hôtes testées. La durée du stade prénymphal la plus longue chez *S. littoralis* a été de  $4,46 \pm 0,41$  jours pour les larves nourries sur feuilles de chou, tandis que la plus courte période a été enregistrée chez la tomate  $1,81 \pm 0,11$  jours. La période prénymphale chez l'artichaut a été la plus courte pour les larves de *H. armigera* ( $1,22 \pm 0,06$ ) ; la période la plus longue a été observée chez le chou ( $3,62 \pm 0,26$ ).

L'évaluation de la période nymphale chez *S. littoralis* ( $F = 81,88$ ,  $df = 3, 119$  ;  $P < 0,0001$ ) et *H. armigera* ( $F = 35,91$ ,  $df = 3, 119$  ;  $P < 0,0001$ ) était la plus longue chez le chou ( $19,89 \pm 0,46$  jours) et l'artichaut ( $24,62 \pm 0,58$  jours), et la plus courte chez les tomates pour les deux insectes respectivement ( $14,09 \pm 0,24$  jours et  $18,72 \pm 0,45$  jours) (Figure 33, 34).



**Figure 33.** Durée des stades larvaires et nymphaux de *S. littoralis* élevé sur quatre plantes hôtes.



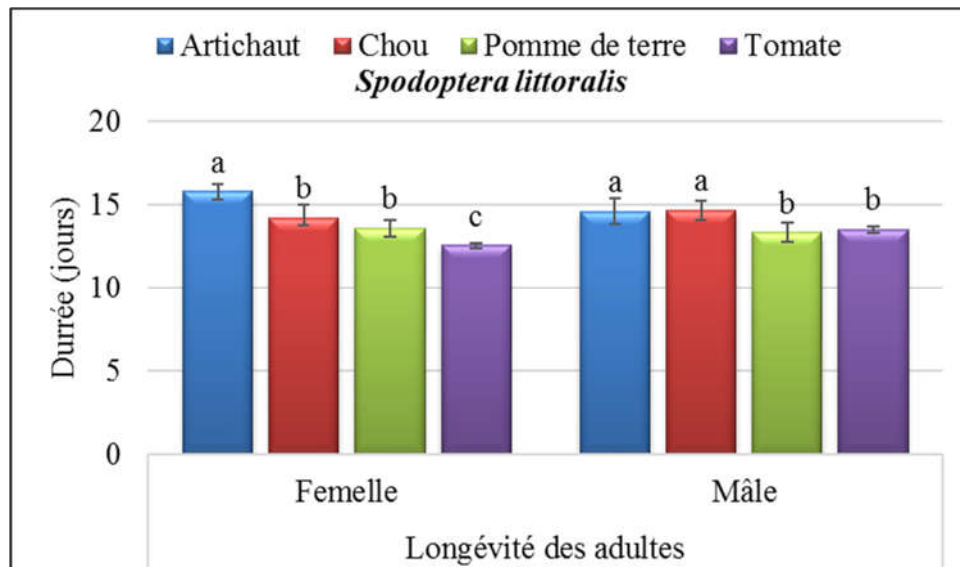
**Figure 34.** Durée des stades larvaires et nymphaux de *H. armigera* élevé sur quatre plantes hôtes.

Les différentes plantes hôtes ont montré un effet significatif sur la longévité des adultes, la longévité des femelles et des mâles de *S. littoralis* et *H. armigera* étant également significativement affectée par les plantes hôtes dont leurs larves femelles de *S. littoralis* se sont nourries ( $F = 14,10$  ;  $df = 3,119$  ;  $P < 0,0001$ ) et de *S. littoralis* mâle ( $F = 3,78$  ;  $df = 3,119$  ;  $P < 0,0001$ ).

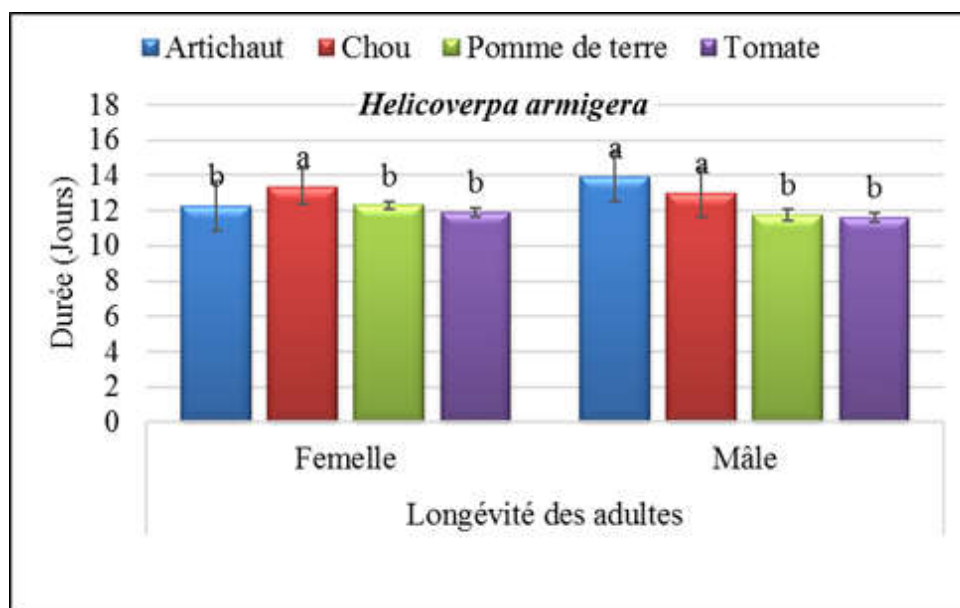
La plus longue valeur de la longévité féminine concerne l'artichaut ( $15,79 \pm 0,48$  jours), tandis que la plus longue longévité masculine concerne le chou ( $14,70 \pm 0,58$  jours).

La longévité des femelles de *H. armigera* ( $F = 3,22$  ;  $df = 3, 119$  ;  $P < 0,0001$ ) ; la longévité des mâles de *H. armigera* ( $F = 8,55$  ;  $df = 3, 119$  ;  $P < 0,0001$ ). L'adulte mâle émergé nourri sur l'artichaut avait la plus longue longévité ( $13,91 \pm 1,42$ ), tandis que la plus longue longévité de l'adulte femelle était enregistrée sur le chou, pour la tomate elle avait la plus courte période de longévité chez la femelle et le mâle parmi les plantes hôtes ( $11,91 \pm 0,28$  et  $11,64 \pm 0,26$  jours, respectivement) (figure 35 et 36).





**Figure 35.** Longévité des adultes de *S. littoralis* élevé sur quatre plantes hôtes



**Figure 36.** Longévité des adultes de *H. armigera* élevé sur quatre plantes hôtes

Il y avait une différence significative dans la durée de vie totale de *S. littoralis* et de *H. armigera* en fonction des plantes hôtes ( $F = 76,69$  ;  $df = 3, 119$  ;  $P < 0,0001$  et  $F = 45,56$  ;  $df = 3, 119$  ;  $P < 0,0001$ , respectivement).

La durée de vie totale des femelles et des mâles de *S. littoralis* était la plus longue sur le chou (respectivement  $69,07 \pm 1,86$  et  $67,51 \pm 3,37$  jours) et la plus courte sur la tomate ( $57,53 \pm 2,12$  et  $55,42 \pm 1,14$  jours, respectivement). Pour *H. armigera* la durée de vie sur chou est la plus longue que ce soit pour les femelles que pour les mâles ( $65,20 \pm 1,31$  et  $63,41 \pm 1,75$  jours, respectivement), tandis que les valeurs les plus courtes ont été enregistrées sur la tomate (Figure 37 et 38).

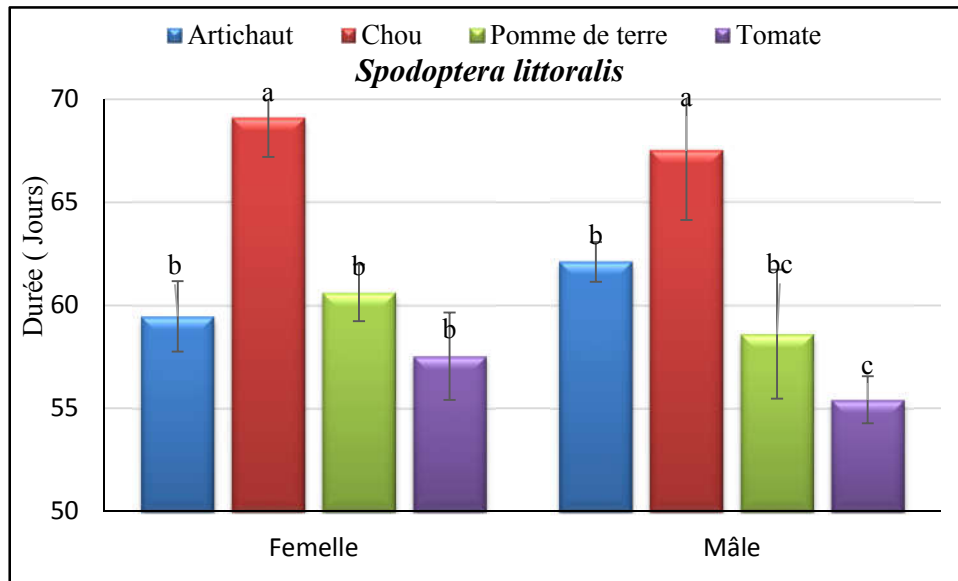


Figure 37. La durée de vie d’une génération de *S. littoralis* élevée sur quatre plantes hôtes.

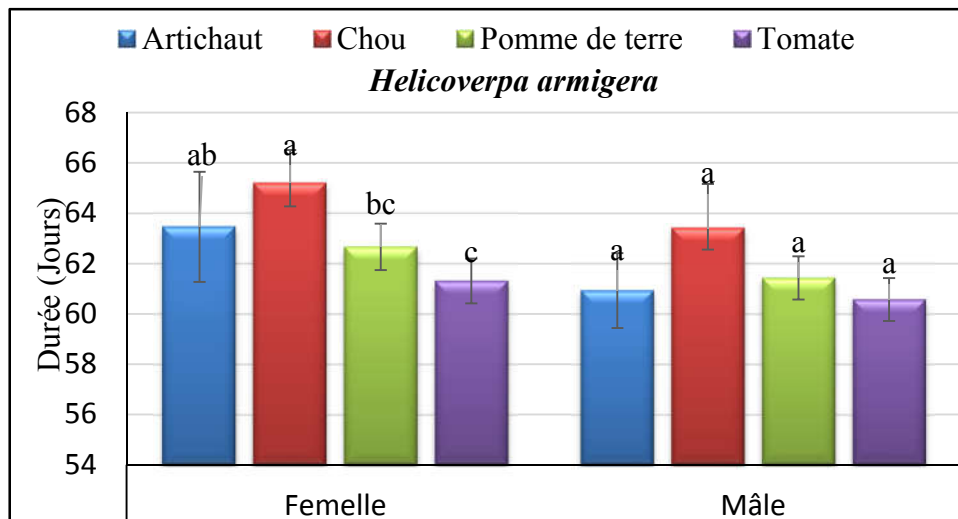
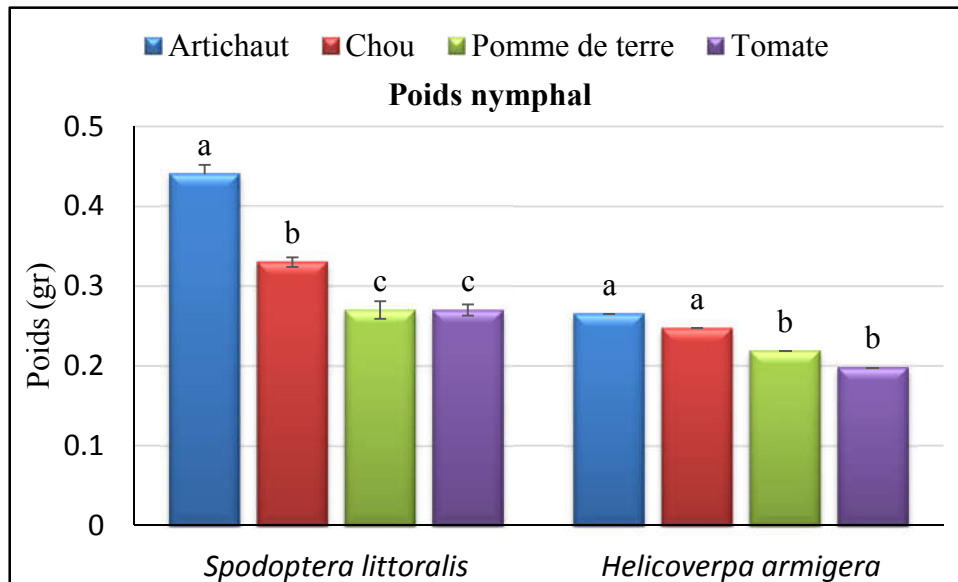


Figure 38. La durée de vie d’une génération de *H. armigera* élevée sur quatre plantes hôtes.

L'effet des plantes hôtes sur le poids des nymphes était hautement significatif chez les deux espèces d'insectes, les nymphes de *S. littoralis* et *H. armigera* élevées sur artichaut étaient les plus lourdes ( $0,44 \pm 0,012$  et  $0,26 \pm 0,011$  g.). La tomate montre le poids le plus léger chez les deux espèces avec  $0,27 \pm 0,007$  chez *S. littoralis* et  $0,19 \pm 0,004$  chez *H. armigera*.



**Figure 39.** Poids des nymphes de *S. littoralis* et *H. armigera* élevée sur quatre plantes hôtes.

#### 4.5.2 Période de ponte, fécondité et taux de survie

Une analyse statistique ANOVA à un facteur a confirmé que la période de préoviposition chez *S. littoralis* ( $F = 8,67$ ,  $df = 3, 59$ ;  $P < 0,0001$ ) et *H. armigera* ( $F = 7,72$ ;  $df = 3, 59$ ;  $P < 0,0001$ ) ont été significativement affectées par les plantes hôtes testées. La plus longue période de pré-oviposition chez *S. littoralis* a été obtenue sur la tomate et la pomme de terre avec la même valeur 3,46 jours, tandis que la plus courte a été observée sur le chou ( $2,52 \pm 0,13$  jours). La plus longue période de préoviposition de *H. armigera* a été réalisée sur artichaut ( $3,53 \pm 0,13$  jours) et la plus courte a été enregistrée chez la pomme de terre ( $2,66 \pm 0,15$  jours).

La période de ponte de *S. littoralis* ( $F = 47,4$ ;  $df = 3, 59$ ;  $P < 0,0001$ ) et de *H. armigera* ( $F = 56,87$ ;  $df = 3, 59$ ;  $P < 0,0001$ ) était la plus longue lorsque les larves des deux espèces élevées sur la pomme de terre ( $8,40 \pm 0,23$  et  $9,53 \pm 0,13$  jours, respectivement) (tableau 1).

Le taux de fécondité quotidien ( $F = 36,56$ ;  $df = 3, 59$ ;  $P < 0,0001$ ) et le taux de fécondité total ( $F = 17,55$ ;  $df = 3, 59$ ;  $P < 0,0001$ ) de *S. littoralis* étaient les plus élevés lorsque les larves étaient nourries sur le chou ( $441,06 \pm 35,77$  et  $2337,40 \pm 179,79$  œufs, respectivement) et la plus faible lorsque les larves étaient nourries sur la tomate ( $170,9 \pm 3,4$  et  $1285,06 \pm 25,60$  œufs, respectivement).

Les femelles de *H. armigera* nourries aux artichauts présentent la fécondité totale la plus élevée ( $F = 25,10$  ;  $df = 3, 59$  ;  $P < 0,0001$ ) avec  $1240,73 \pm 51,33$  œufs, tandis que la fécondité quotidienne la plus longue ( $F = 28,04$  ;  $df = 3, 59$  ;  $P < 0,0001$ ) était chez les femelles nourries au chou ( $151,18 \pm 8,94$  œufs / jour). Les taux de fécondité totaux et journaliers les plus faibles ont été enregistrés sur les tomates ( $650,73 \pm 22,75$  et  $79,58 \pm 2,93$  œufs, respectivement).

**Tableau 1.** Moyenne ( $\pm$  ES) pré-oviposition, ainsi que la fécondité totale et la fécondité de *S. littoralis* émergeant de larves nourries sur quatre plantes hôtes

Plante hôte	Preoviposition (jours)	Période d'oviposition (jours)	Fécondité totale	Fécondité/ jour
Artichaut	$2.66 \pm 0.12b$	$7.73 \pm 0.15a$	$1649.33 \pm 103.59b$	$213.44 \pm 12.83bc$
Chou	$2.53 \pm 0.13b$	$5.40 \pm 0.21c$	$2337.40 \pm 179.79a$	$441.06 \pm 35.77a$
Pomme de terre	$3.46 \pm 0.21a$	$8.40 \pm 0.23b$	$2035.53 \pm 63.85a$	$245.17 \pm 10.31b$
Tomate	$3.46 \pm 0.19a$	$7.53 \pm 0.13b$	$1285.06 \pm 25.60c$	$170.96 \pm 3.40c$
R <sup>2</sup>	0.3173	0.7175	0.4847	0.6621
F	8.6739	47.4167	17.5553	36.5684
P	< 0.0001***	< 0.0001***	< 0.0001***	< 0.0001***

Les moyennes suivies par différentes lettres dans les mêmes colonnes sont significativement différentes (LSD, \*  $p \leq 0.01$  et  $p \leq 0.05$ )

**Tableau 2.** La moyenne ( $\pm$  ES) pré-oviposition, ainsi que la fécondité totale et la fécondité de *H. armigera* émergeant de larves nourries sur diverses plantes hôtes

Plante hôte	Pré-oviposition (jours)	Période d'oviposition (jours)	Fécondité totale	Fécondité/jour
Artichaut	$3.53 \pm 0.13a$	$8.60 \pm 0.16b$	$1240.73 \pm 51.33a$	$143.71 \pm 5.56ab$
Chou	$2.80 \pm 0.17b$	$6.66 \pm 0.18c$	$1001.80 \pm 59.28b$	$151.18 \pm 8.94a$
Pomme de terre	$2.66 \pm 0.15b$	$9.53 \pm 0.13a$	$1123.66 \pm 60.79ab$	$128.42 \pm 5.31b$
Tomate	$3.33 \pm 0.12a$	$8.20 \pm 0.14b$	$650.73 \pm 22.75c$	$79.58 \pm 2.93c$
R <sup>2</sup>	0.2928	0.7529	0.5736	0.6004
F	7.7281	56.8713	25.1087	28.0412
P	0.0002***	< 0.0001***	< 0.0001***	< 0.0001***

Les moyennes suivies par différentes lettres dans les mêmes colonnes sont significativement différentes (LSD, \*  $p \leq 0.01$  et  $p \leq 0.05$ )

Les figures 40 et 41 montrent l'évolution de la fécondité journalière des femelles de *S. littoralis* et *H. armigera*. On observe une fécondité journalière des femelles de *S. littoralis* plus importante sur le chou que sur les autres plantes hôtes avec un maximum de 489 œufs/femelle/jour et un minimum de 65,1 œufs/femelle/jour. Pour *H. armigera*, nous avons obtenu un nombre maximum de 203 œufs/femelle/jour sur la pomme de terre et un nombre minimal de 4,38 œufs/femelle/jour sur l'artichaut.

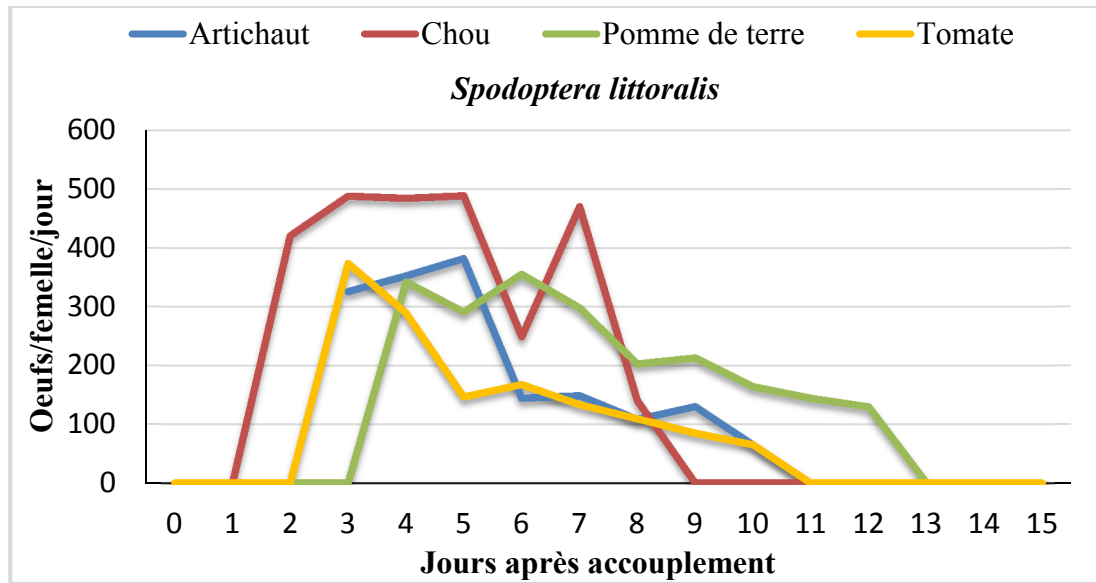


Figure 40 - Evolution de la fécondité journalière moyenne de la femelle de *Spodoptera littoralis* fécondée

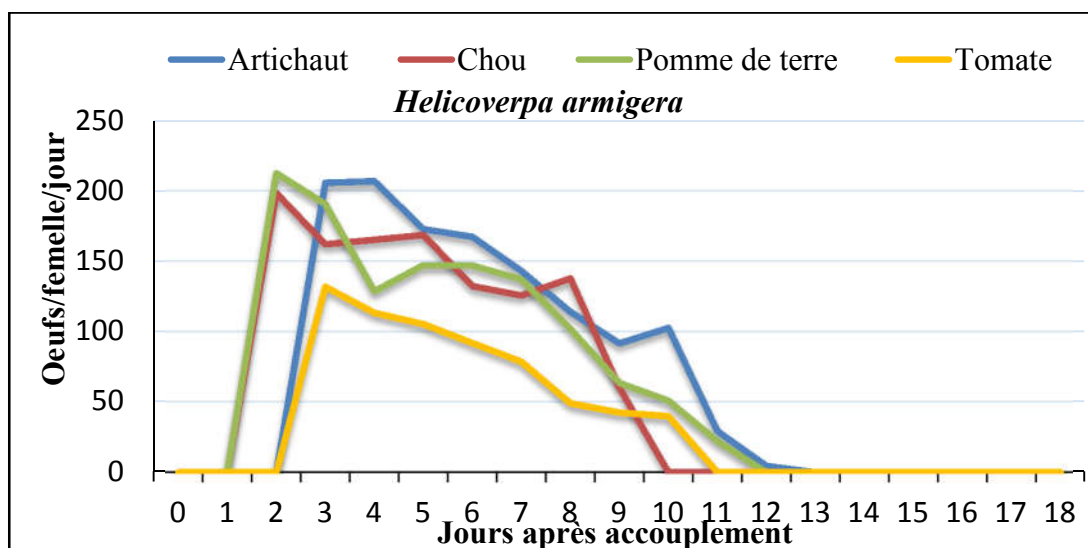
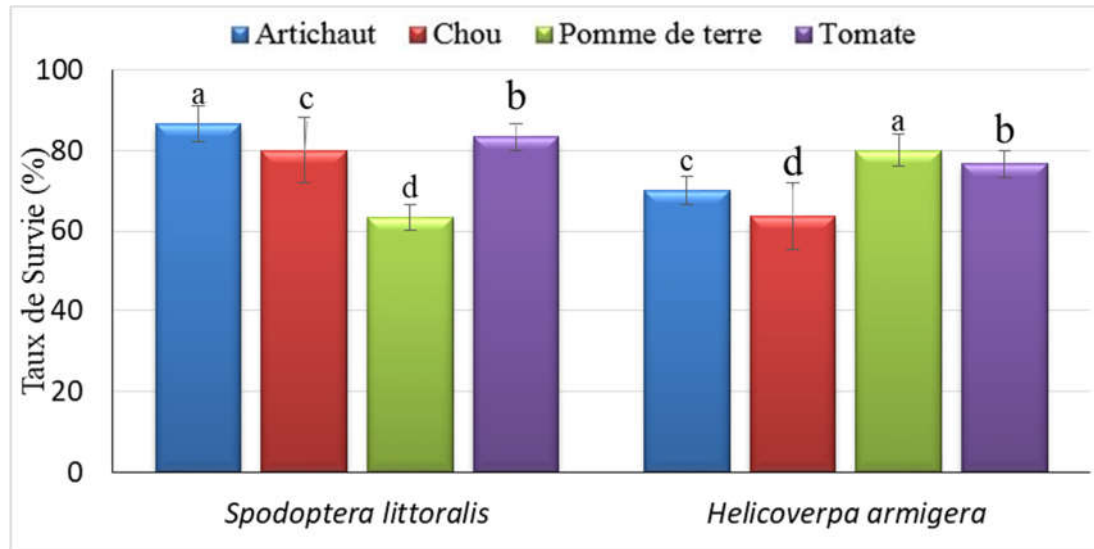


Figure 41 - Evolution de la fécondité journalière moyenne de la femelle de *Helicoverpa armigera* fécondée

La proportion de *S. littoralis* (SL) et de *H. armigera* (HA) ayant survécu jusqu'à l'âge adulte diffère de manière significative entre les différentes plantes-hôtes testées ( $F_{SL} = 369,9$ ,  $df = 3, 59$  ;  $P < 0,0001$  ;  $F_{HA} = 198,16$ ,  $df = 3, 59$  ;  $p < 0,0001$ ).

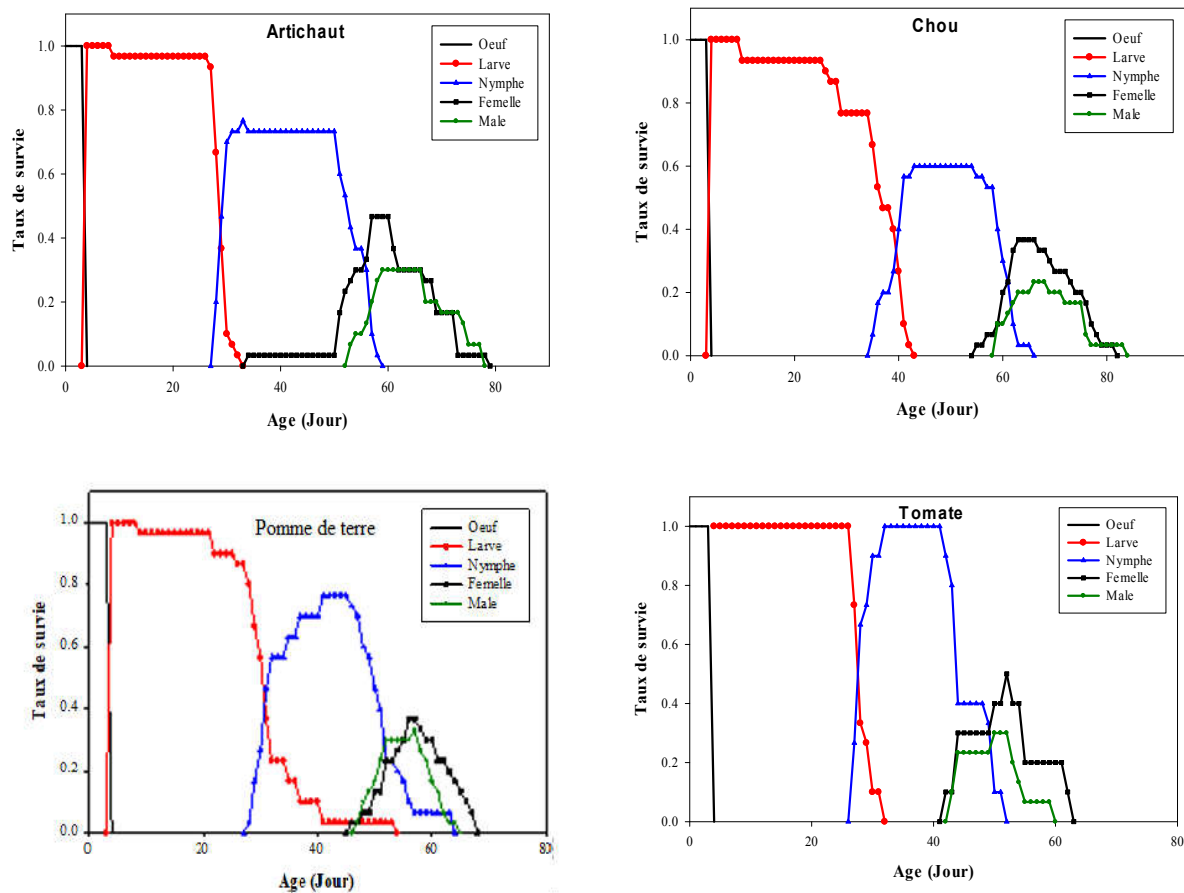
De plus, le taux de survie des larves de *S. littoralis* nourries sur artichaut était significativement supérieur à celui des autres plantes hôtes ( $86,62 \pm 0,45\%$ ). De même, les larves de *H. armigera* nourries sur pomme de terre affichaient le taux de survie le plus élevé ( $80,03 \pm 0,49\%$ ) (Figure 42).



**Figure 42** - Taux de survie cumulé (%) de *Spodoptera littoralis* et *Helicoverpa Armigera* par rapport aux quatre plantes hôtes

Le taux de survie spécifique par âge et stade (Age-stage specific survival rate) ( $S_{xj}$ ) ( $x$  = age,  $j$  = stade), fournit la probabilité qu'un nouvel œuf déposé survivra jusqu'à l'âge  $x$  et le stade  $j$ . Les taux de survie spécifiques ( $S_{xj}$ ) de *S. littoralis* et *H. armigera* sur divers plantes hôtes sont montrés dans les figures 43 et 44. On a observé un chevauchement des stades en raison de la variation du taux de développement chez les individus chez toutes les plantes hôtes. Le taux de survie larvaire de *S. littoralis* le plus élevé a été observé chez les larves nourries sur la tomate alors que le taux le plus faible était observé chez les larves élevées sur le chou. En outre, le taux de survie spécifique le plus élevé est observé pour le stade nymphal était celui de l'artichaut, et le plus faible était pour la pomme de terre. Le taux de survie spécifique des adultes femelles de *S. littoralis* le plus élevé était celui de la tomate, et le plus faible est celui de la pomme de terre. Par contre le taux de survie des mâles était plus élevé sur le chou et plus faible sur la tomate (figure 43).

D'autre part, le taux de survie larvaire et nymphale de *H. armigera* a été enregistré chez les larves élevées sur la tomate, alors que la culture du chou a enregistré les taux les plus faibles parmi toutes les cultures testées. Le taux de survie des adultes montre une différence légère entre la tomate et les autres cultures.



**Figure 44** - Le taux de survie spécifique par âge et stade (Age-stage specific survival rate) ( $S_{xj}$ ) de *H. armigera*

Lorsque tous les stades sont regroupés, le taux de survie par âge ( $l_x$ ) donne un aperçu simplifié de l'historique de survie de l'ensemble de la cohorte. Parmi les quatre plantes hôtes, la table de survie des larves de *S. littoralis* vécues sur l'artichaut a montré le plus haut taux de survie par âge avec une longévité moyenne de 64,4 jours. La courbe de la fécondité âge spécifique ( $f_x$ ) de *S. littoralis* (figure 45) montre que la reproduction a commencé à 42 jours chez la tomate et la pomme de terre et à 45 et 57 jours chez l'artichaut et le chou, respectivement pour les deux espèces. La fécondité quotidienne enregistrée chez le chou était la plus élevée que sur les autres plantes hôtes.

Les courbes de taux de survie par âge ( $l_x$ ) et fécondité âge spécifique ( $m_x$ ) de *H. armigera* sont illustrées dans la figure 46, les données montrent que la pomme de terre avait le taux de



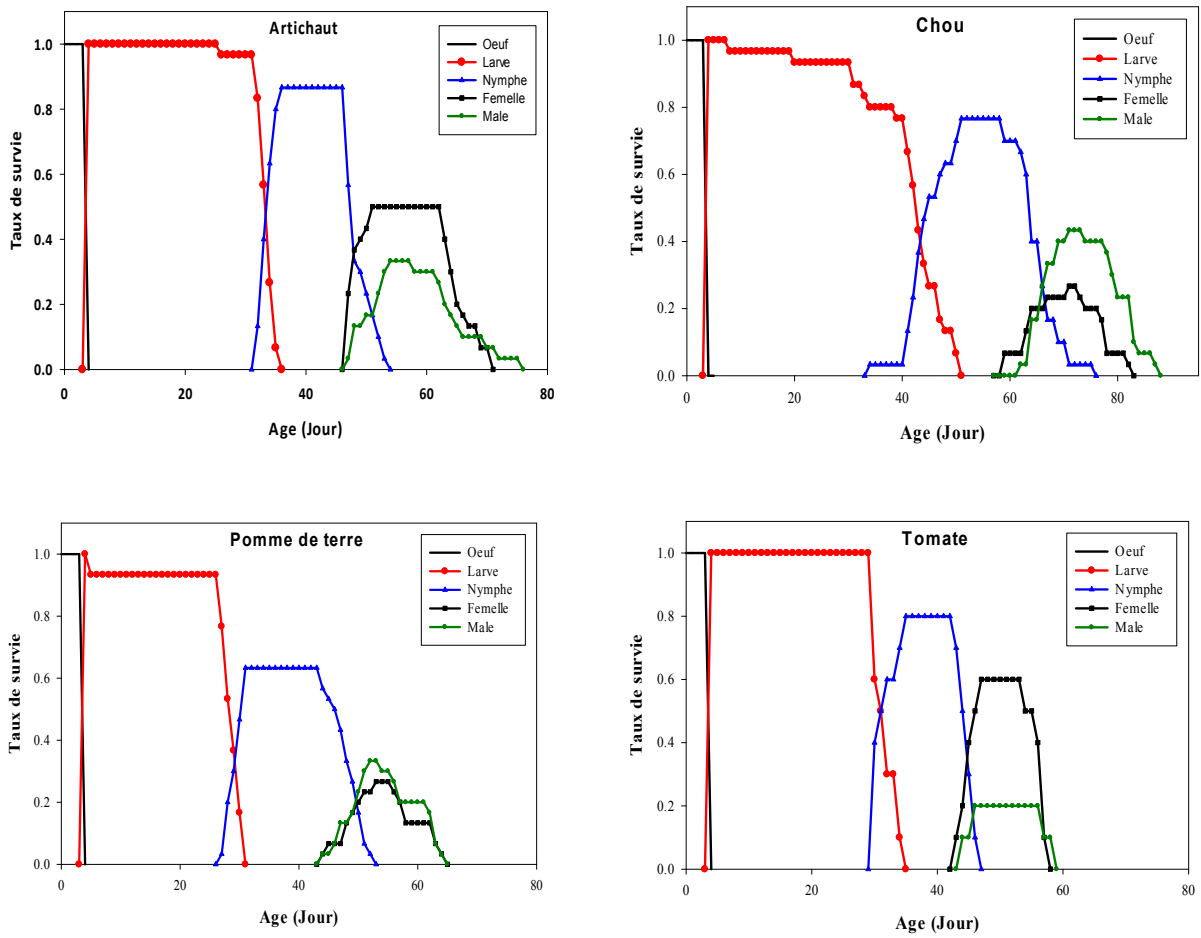


Figure 43 - Le taux de survie spécifique par âge et stade (Age-stage specific survival rate) ( $S_{xj}$ ) de *S. littoralis*

survie cumulé le plus haut parmi les autres plantes testées avec une longévité cumulée moyenne de 62,04 jours. Sur la base de la courbe de fécondité  $f_x$  (x, femelle), la première ponte des femelles sur les plantes hôtes a eu lieu à l'âge de 33, 40, 45 et 57 jours pour l'artichaut, la tomate, la pomme de terre et le chou respectivement.

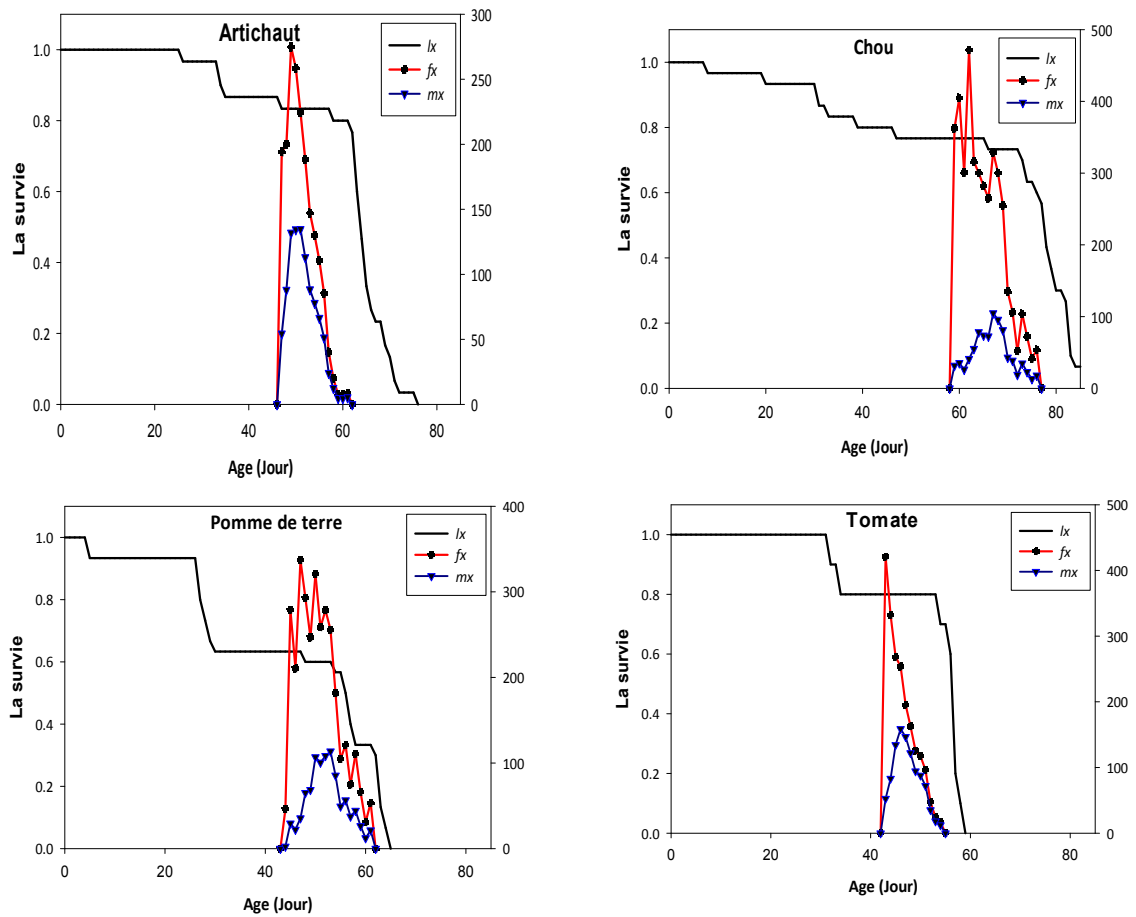
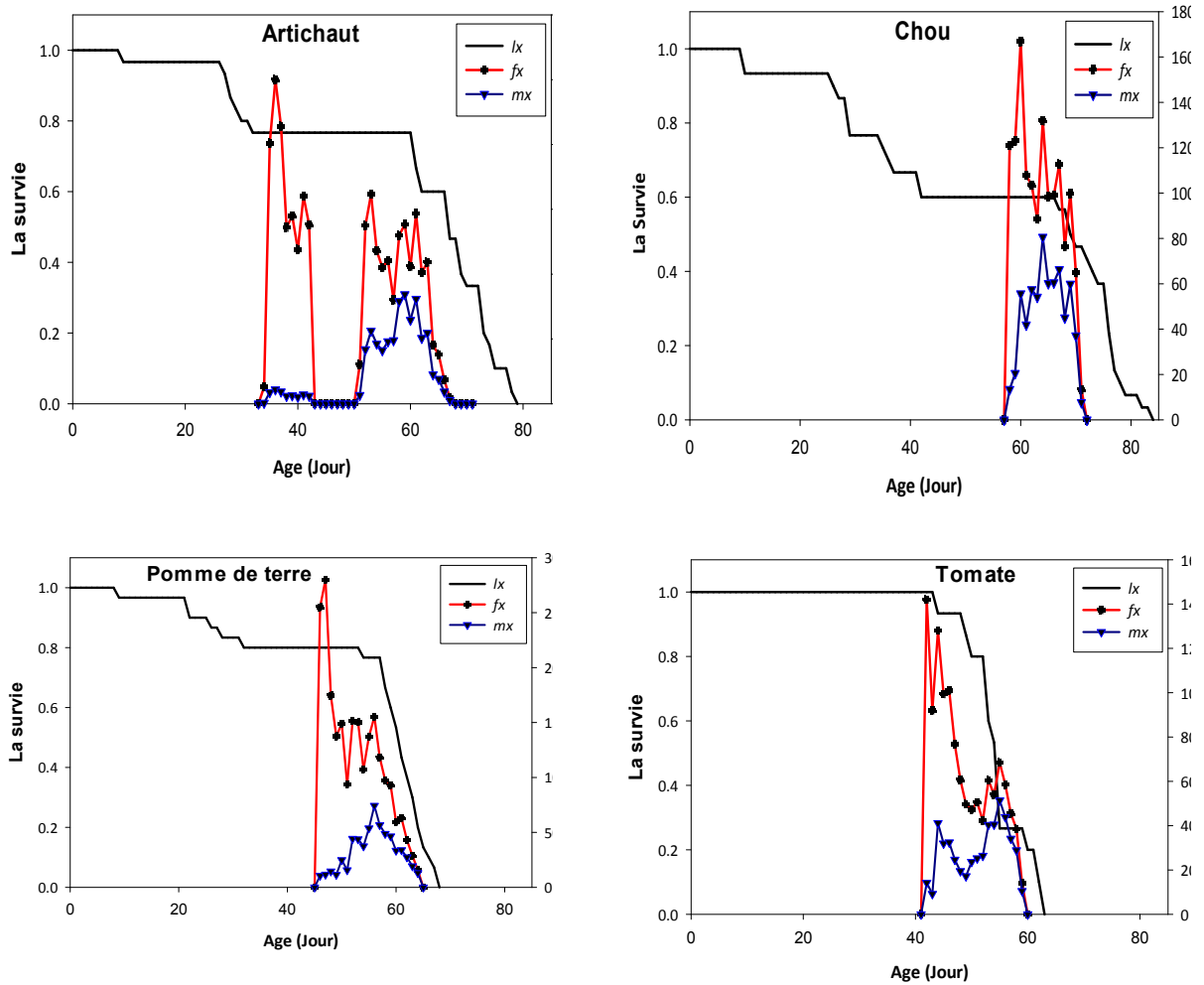


Figure 45 - La survie par âge ( $l_x$ ), fécondité par âge et stade ( $f_x$ ) et fécondité âge spécifique ( $m_x$ ) de *S. littoralis*



**Figure 46** – La survie par âge ( $l_x$ ), fécondité par âge et stade ( $fx$ ) et fécondité âge spécifique ( $m_x$ ) de *H. armigera*

La valeur de reproduction ( $V_{xj}$ ) est définie comme la contribution d'un individu de l'âge  $x$  et stade  $j$  à la population future. Les courbes de ( $V_{xj}$ ) sont représentées sur la figure 47.

La valeur de reproduction la plus élevée de *S. littoralis* est respectivement à l'âge de 47, 59, 45 et 43 jours sur l'artichaut, le chou, la pomme de terre et la tomate. Cela indique que, contrairement aux autres âges, les individus de sexe féminin des âges ci-dessus avaient la contribution maximale à la population future.

En revanche, les valeurs de reproduction de *H. armigera* les plus élevées sur les cultures expérimentées ont été à l'âge de 35, 42, 46 et 58 jours chez l'artichaut, la tomate, la pomme de terre et le chou, respectivement.

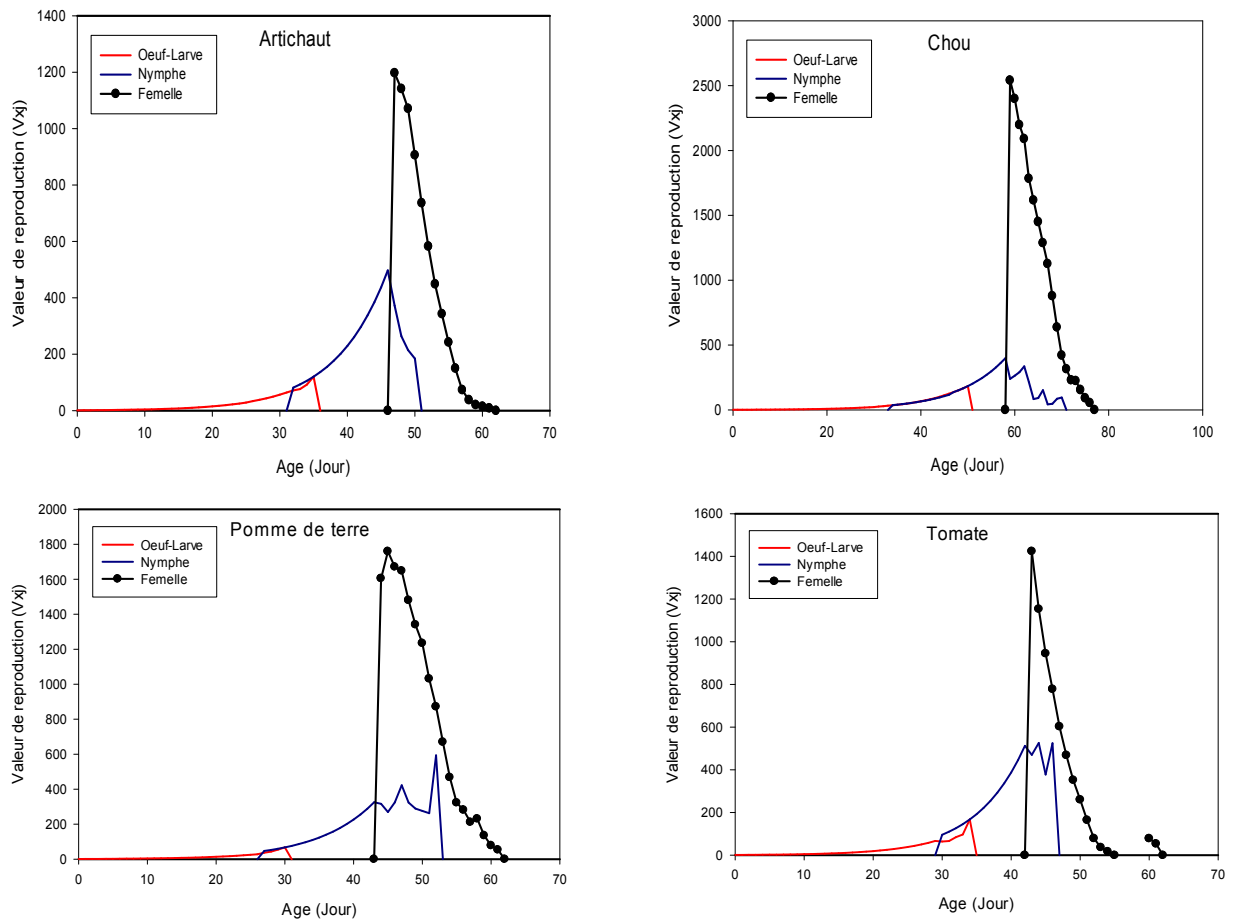


Figure 47 - Valeur de reproduction ( $V_{xj}$ ) de *S. littoralis*

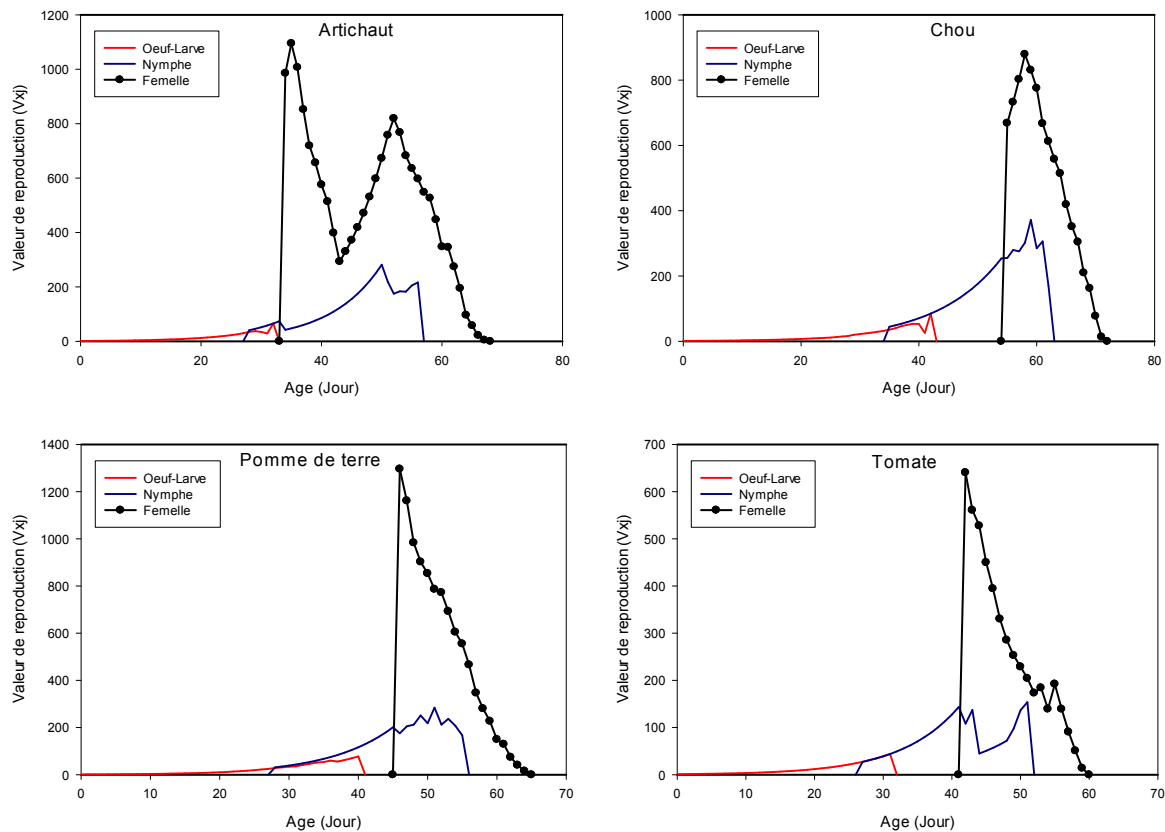


Figure 48 - La valeur de reproduction ( $V_{xj}$ ) de *H. armigera*

#### 4.5.3 Paramètres d'accroissement de la population

Les paramètres de population de *S. littoralis* sont présentés dans les tableaux 03 et 04, le taux net de reproduction de la population ( $R_0$ ) s'est également révélé très différent selon les différentes cultures hôtes sur lesquels les individus ont été élevés. La valeur la plus élevée du taux net de reproduction est observée sur l'artichaut (824,7 femelles /femelle /génération) et la plus faible sur la pomme de terre (548,8 femelles /femelle /génération). Le taux intrinsèque d'accroissement naturel ( $r_m$ ) a montré des différences significatives entre les plantes étudiées, la valeur la plus basse de ce paramètre était sur le chou ( $0,09 \text{ jour}^{-1}$ ) et la valeur la plus élevée était sur la tomate ( $0,139 \text{ jour}^{-1}$ ). Le taux limite d'accroissement ( $\lambda$ ) variait de  $1,10 \text{ (jour}^{-1}\text{)}$  sur le chou et  $1,15 \text{ (jour}^{-1}\text{)}$  sur la tomate. La durée moyenne d'une génération ( $T$ ) et le temps de doublement de la génération ( $TD$ ) étaient significativement différents sur les plantes hôtes, les valeurs les plus élevées de ( $T$ ) et ( $TD$ ) ont été enregistrées sur le chou (66,81 et 7,46 jours,

respectivement), alors que les valeurs les plus faibles étaient sur la tomate (47,89 et 4,89 jours, respectivement).

**Tableau 3** - Paramètres de croissance de la population de *S. littoralis* sur quatre plantes hôtes

	Durée moyenne d'une génération (T)	Taux net de reproduction ( $R_0$ )	Taux intrinsèque d'accroissement ( $r_m$ )	Durée de doublement de la génération (TD)	Taux limite d'accroissement ( $\lambda$ )
Artichaut	52,03±0,16b	824,7±1,21a	0,129±0,0005b	5,37±0,017c	1,13±0,001b
Chou	66,81±0,307a	651,77±1,202c	0,096±0,002d	7,146±0,029a	1,10±0,002d
Pomme de Terre	52,08±0,245b	548,8±0,722d	0,121±0,001c	5,723±0,02b	1,128±0,0007c
Tomate	47,89±0,292c	812,4±0,891b	0,139±0,001a	4,95±0,039d	1,150±0,003a

Les paramètres de la population de *H. armigera* sont présentés dans le tableau 4. Les différentes plantes hôtes ont montré un effet significatif sur tous les paramètres de populations étudiées. Le taux intrinsèque d'accroissement naturel ( $r_m$ ) était similaire sur l'artichaut et la tomate par une valeur de 0,12 jour<sup>-1</sup>, cette valeur était plus faible chez le chou (0,09 jour<sup>-1</sup>). Le taux net de reproduction de la population ( $R_0$ ) de *H. armigera* était significativement élevé sur l'artichaut que les autres plantes hôtes. La durée moyenne d'une génération (T) et le temps de doublement de la génération (TD) étaient plus longs sur le chou et plus courte sur la tomate. Le taux limite d'accroissement ( $\lambda$ ) était similaire sur l'artichaut et la tomate qui avait les valeurs les plus élevées par rapport aux autres cultures.

**Tableau 4** - Paramètres de croissance de la population de *H. armigera* sur quatre plantes hôtes

	Durée moyenne d'une génération (T)	Taux net de reproduction ( $R_0$ )	Taux intrinsèque d'accroissement ( $r_m$ )	Durée de doublement de la génération (TD)	Taux limite d'accroissement ( $\lambda$ )
Artichaut	59,08 ± 0,29b	590,43 ± 4,59 a	0,12 ± 0,0003a	5,84 ± 0,014c	1,13 ± 0,002 a
Chou	65,06 ± 0,25a	380,37 ± 0,58c	0,09 ± 0,0002c	7,58 ± 0,02a	1,10 ± 0,0014 c
Pomme de terre	55,37 ± 0,29c	422,87 ± 1,06b	0,11 ± 0,0001b	6,33 ± 0,138b	1,12 ± 0,0014 b
Tomate	47,74 ± 0,16d	329,00 ± 1,62c	0,12 ± 0,0002a	5,86 ± 0,0762c	1,13 ± 0,0013 a

## 4.6 Discussion

L'influence d'une plante hôte sur les populations d'insectes est principalement affectée par la valeur alimentaire qu'elle a à offrir (Umbanhowar et Hastings, 2002). À ce jour, de nombreuses études ont été menées sur les aspects biologiques de *S. littoralis* et *H. armigera* (Kehat et Gordon, 1975 ; Abdel-Fattah *et al.*, 1977 ; Liu *et al.*, 2004 ; Adham *et al.*, 2009 ; Naseri *et al.*, 2009 ; Al-Shannaf, 2011 ; Safuraie-Parizi *et al.*, 2014 ; Hatem *et al.*, 2015). Cependant, tous n'ont pas étudié le cycle de vie d'une même plante hôte. Cette étude fournit de nouvelles informations sur l'effet de différentes plantes hôtes sur les paramètres biologiques de la noctuelle méditerranéenne *S. littoralis* et la noctuelle de la tomate *H. armigera*, qui n'ont pas encore été étudiés en Algérie. Il existe peu de documents sur la biologie de ces ravageurs sur l'artichaut, le chou et la pomme de terre.

Plusieurs résultats sont décrits pour des espèces du même genre élevées, dans des conditions similaires et dont les larves ont été nourries avec des plantes hôtes différentes. Telles que : *Spodoptera exigua* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae), sur des variétés de soja (Farahani *et al.*, 2011 ; Mehrkhou *et al.*, 2012), sur des feuilles de chou, échalote ainsi que le haricot long (Azidah et Sofan-Azirun, 2006) et la betterave sucrière (Karimi-Malatiet *et al.*, 2012). *Spodoptera frugiperda* J. E. Smith (Lepidoptera: Noctuidae) sur le maïs (Pinheiro *et al.*, 2008) et les feuilles de manioc (Lopes *et al.*, 2008) ; *Spodoptera cosmioides* Walker (Lepidoptera: Noctuidae) sur un nutriment artificiel (Bavaresco *et al.*, 2002); *Spodoptera litura* Fabricius (Lepidoptera: Noctuidae) sur patate douce, tabac, chou chinois et niébé (Xue *et al.*, 2010); *Spodoptera albula* Walker (Lepidoptera: Noctuidae) sous un nutriment artificiel (Montezano *et al.*, 2013); *Spodoptera eridania* Stoll (Lepidoptera: Noctuidae) sur un régime artificiel (Montezano *et al.*, 2014). Il convient de noter que plusieurs auteurs ont montré une grande variation dans la durée du cycle de vie des représentants des Spodoptera, en fonction du régime alimentaire des larves (Abdelfattah *et al.*, 1977 ; Yoshida et Parrella, 1992).

Comme il n'y avait aucune variation dans la période d'incubation des œufs (4 jours) des quatre plantes hôtes testées de *S. littoralis* et *H. armigera* cela indique que la période d'incubation n'était pas affectée par le type de plantes hôtes. Ces résultats sont conformes à ceux rapportés par Liu *et al.* (2004), El-Aw et Hashem (2004), Jallowand Matsumura (2001), Naseri *et al.* (2009) et Safuraie-Parizi (2014).

La présente étude a démontré que les paramètres de vie de *S. littoralis* étaient très différents sur les plantes hôtes testées. Le temps de développement larvaire de *S. littoralis* était compris entre  $25,33 \pm 0,26$  jours sur pomme de terre et  $38,71 \pm 0,60$  jours sur le chou. Des résultats



similaires ont été obtenus pour *S. littoralis* élevé sur radis rouge (25 jours) (Hattem *et al.*, 2015), 27,42 jours sur le ricin commun, 30,88 jours sur bersim et 31,14 jours sur le coton (El-Saadany et Hamed, 1991).

Abdelfattah *et al.* (1977) notent que la période larvaire de *S. littoralis* sur l'artichaut, la pomme de terre, la tomate et le chou variaient de 14,4 à 22,3 jours, bien que la comparaison directe de ces données puisse être difficile car différentes plantes hôtes et conditions environnementales ont été utilisées dans ces études. Bien que le même insecte ait été utilisé, ses origines et ses souches étaient différentes. Alshannaf (2011) a signalé que la période de développement larvaire la plus longue (21,62 jours) résultait de l'alimentation des larves avec du chou.

D'autre part, il y avait une différence significative dans le temps de développement des stades immatures de *H. armigera* élevés sur chaque plante hôte. Les larves nourries sur certaines plantes-hôtes ont une durée larvaire comparativement plus longue. La période larvaire de *H. armigera* a été achevée après six stades sur toutes les plantes hôtes, comme indiqué précédemment par Jones *et al.* (1981), Goyal et Rathore (1988), Borah et Dutta (2002). Cependant, certains chercheurs ont signalé cinq instars (Loka *et al.*, 1993 ; Saour et Cause, 1996 ; Naseri *et al.*, 2009 ; Razmjou *et al.*, 2014).

Les résultats de cette étude ont révélé que la plante hôte était un facteur important dans le temps de développement des larves et l'étendue de la période nymphale de *H. armigera*, démontre que le temps de développement le plus long et le plus court de la période larvaire étaient enregistrés sur le chou et la tomate, respectivement. La fourchette de la période larvaire était similaire à celle obtenue par Razmjou *et al.* (2014) avec 24,9 jours, Liu *et al.* (2004) avec 23,6 jours et Safuraie-Parizi *et al.* (2014) avec 24,58 jours sur la tomate.

La période nymphale de *H. armigera* variait de 18,72 jours sur tomate à 24,62 jours sur artichaut. Cette période a été influencée par la nourriture disponible pour les larves, comme démontrée par d'autres recherches (Liu *et al.*, 2004 ; Razmjou *et al.*, 2014). La période nymphale était relativement plus longue que le rapport de Jha *et al.* (2014) ; Naseri *et al.* (2009) où ils ont trouvé une durée moyenne de 12 et 14,7 jours lorsqu'ils étaient élevés sur du maïs et des cultivars de tomates.

Rajapaks et Walter (2007) correspondaient à nos conclusions. Ils ont signalé une période de nymphe plus longue chez *H. armigera* qui se présentait sur du haricot (18,6 jours) et du coton (21,2 jours).

La durée du stade nymphal de *S. littoralis* est semblable à celle décrite pour la même espèce élevée dans des conditions similaires mais avec une plante hôte différente. Dans la présente étude, la période nymphale variait de 14,09 jours sur la tomate à 19,89 jours sur le chou. Nos résultats sont conformes à ceux rapportés par Hatem *et al.* (2015) sur la luzerne (14,61 jours). Abdelfattah *et al.* (1977) avaient une période de nymphose plus courte que celles mentionnée dans cette étude, dans le même contexte, Al-Shannaf (2011) rapporte une période de nymphes de 10,82 jours sur la tomate. Mardani-Talaei *et al.* (2012) ont noté que la période nymphale de *S. exigua* variait de 8 à 14,33 jours sur des cultivars de maïs ; une telle variation au sein de la même plante hôte (maïs) peut expliquer la variation de nos résultats et démontrer que des périodes différentes des puces pourraient être liées aux cultivars des mêmes plantes hôtes.

Les poids de nymphe de *S. littoralis* nouvellement formée étaient affectés par la nourriture des larves. Les nymphes des larves nourries d'artichaut présentant les poids moyens les plus lourds ( $0,44 \pm 0,012$  g). Al-Shannaf (2011) a obtenu le même résultat sur des feuilles de ricin. Notre résultat concernant le poids des nymphes sur la tomate était similaire à celui d'Al-Shannaf (2011) sur la tomate et Hatem *et al.* (2015) sur le radis rouge.

Le poids des nymphes de *H. armigera* était également affecté par les plantes hôtes. Les nymphes produites par les larves nourries aux artichauts étaient plus lourdes que celles élevées sur d'autres plantes hôtes testées. Ces résultats sont similaires à ceux de Liu *et al.* (2004), qui ont rapporté un poids de nymphe de 0,27 g sur le coton et de 0,25 g sur le haricot commun. Rajapakse et Walter (2007) ont trouvé un poids de nymphe de 0,26 g chez les nymphes de *H. armigera* élevées sur du haricot et de 0,27 g sur du coton (Reigada *et al.*, 2016). Cela renforce l'idée selon laquelle l'artichaut est un hôte plus approprié pour *H. armigera* en comparaison à la tomate et la pomme de terre.

La longévité des adultes de *S. littoralis* variait de 12,57 à 15,79 jours chez les femelles et de 13,54 à 14,63 jours chez les mâles. Al-Shannaf (2011) a rapporté que la longévité des adultes de *S. littoralis* était de 11,89 jours pour les tomates chez les mâles et de 11,33 jours pour les femelles, et que pour le chou, les valeurs obtenues étaient bien inférieures à ceux obtenus dans notre étude. En ce qui concerne la longévité de *H. armigera* chez l'adulte, elle est affectée de manière significative par les plantes hôtes. Les résultats de cette étude indiquent qu'une période de longévité plus longue des mâles a été enregistrée pour l'artichaut (13,91 jours) et des femelles sur le chou (13,38 jours). Naseri *et al.* (2009) sur le soja, notent une longévité des insectes sur des variétés de soja entre 11 et 12 jours. Une période de longévité plus longue de *H. armigera* a été obtenue sur du coton et du niébé (21,6 jours et 24,6 jours) (Reigada *et al.*, 2016). La

longévité des adultes sur tomate était la plus courte parmi les plantes hôtes testées (11,91 jours), ces résultats sont similaires à ceux de Safuraie-Parizi *et al.* (2014) qui ont trouvé que la longévité des adultes sur les cultivars de tomates variait de 8,6 à 12,66 jours.

Les femelles issues des larves de *H. armigera* élevées sur artichauts ont produit le plus grand nombre d'œufs (1240,73 œufs), et celles élevées sur tomates ont pondue le plus petit nombre (650,73 œufs). Razmjou *et al.* (2014) ont signalé que les papillons de larves nourris sur la tomate pondaient le nombre d'œufs le plus faible (700 œufs). Notre résultat était supérieur à celui rapporté par Liu *et al.* (2004) sur différentes plantes hôtes, Naseri *et al.* (2009) sur le soja, Rajapakse et Walter (2007) sur différentes plantes-hôtes et Safuraie-Parizi (2014) sur les cultivars de tomates, suggérant que la quantité et/ou la qualité des éléments nutritifs de différentes plantes-hôtes examinées dans cette étude fournissaient un aliment plus approprié aux larves *H. armigera*.

Amer et Abd El-sayad (2014), Razmjou *et al.* (2014), Hemati *et al.* (2013) et Fite *et al.* (2019) ont rapporté que les différentes plantes hôtes testées avaient la fécondité la plus élevée sur le pois chiche. Ces résultats sont similaires à ceux de nos résultats montrant la fécondité élevée de *H. armigera* sur nos plantes hôtes testées par rapport à d'autres plantes hôtes dans d'autres recherches.

Le nombre d'œufs de *S. littoralis* déposés par les femelles des larves qui se sont nourries des quatre plantes testées était généralement dans la plage indiquée sur différentes plantes hôtes (2337,40 sur le chou et 2035,53 sur la pomme de terre). Le nombre d'œufs pondus par une seule femelle de *S. littoralis* est compris entre 790,6 pour le poivre et 2171,8 pour le ricin (Al-Shannaf, 2011).

Il y avait une différence marquée dans les taux de survie de *S. littoralis* en fonction des plantes hôtes testées. La mortalité sur l'artichaut était bien moindre que celle de la pomme de terre. La survie élevée sur l'artichaut et la tomate suggère que ces plantes hôtes conviennent mieux pour les larves de *S. littoralis*. Le taux de survie cumulé a varié selon les plantes hôtes, El-Aw et Hashem (2004) ont révélé un pourcentage de survie compris entre 82 et 85 % de *S. littoralis* sur chou. C'est presque similaire à nos résultats concernant le chou (80,05 %). Anderson *et* Alborn (1999) ont montré un taux de survie sur coton *S. littoralis* de 93 %. Les taux de survie de *H. armigera* à l'apparition des adultes sur le chou étaient les plus bas comparés aux autres plantes hôtes. Lorsque les larves ont été élevées dans des artichauts, des tomates et des pommes de terre, les taux de survie allaient de 70,09 à 80,03 %, ce qui est considérablement

plus que le taux observé par Jha *et al.* (2012) chez des larves nourries au maïs doux (46,84 %) et Liu *et al.* (2014) sur la tomate.

Rajapakse et Walter (2007) ont signalé un taux de survie sur coton de 82,45 %, ce qui est similaire à notre constatation concernant la pomme de terre (80,03 %). Les taux de survie les plus élevés ont été observés sur la tomate, la pomme de terre et l'artichaut, ce qui suggère que ces plantes hôtes conviennent mieux et permettent à *H. armigera* de compléter son cycle de vie au complet.

Les paramètres d'accroissement de la population, en particulier le taux intrinsèque d'accroissement naturel ( $r_m$ ), sont les paramètres les plus importants qui peuvent être utilisés pour évaluer le niveau de résistance des plantes aux insectes (Razmjou *et al.*, 2006 ; Fathipour et Naseri, 2011). De nombreux facteurs tels que la fécondité, le taux de survie et plus particulièrement la durée d'une génération affectent  $r_m$ , et ce paramètre résume de manière adéquate les paramètres physiologiques et les qualités d'un insecte par rapport à sa capacité de se reproduire, il serait donc un indice plus approprié pour évaluer la performance d'un insecte sur différentes plantes hôtes.

Les comparaisons entre le taux net de reproduction ( $R_0$ ) et le taux intrinsèque d'accroissement naturel ( $r_m$ ) fournissent souvent des informations considérables au-delà de celles disponibles dans l'analyse indépendante des paramètres individuels du cycle de vie (Zhang *et al.*, 2007). D'après les résultats de cette étude, des valeurs plus élevées de  $r_m$  et de  $R_0$  indiquent la sensibilité de la plante hôte à *S. littoralis* et *H. armigera*. A l'inverse, les valeurs les plus faibles sur les cultures indiquent que cette plante hôte était résistante à *S. littoralis* et *H. armigera*.

Il y avait une différence significative observée dans les taux intrinsèques d'accroissement naturel ( $r_m$ ) de *S. littoralis* par rapport aux plantes hôtes de notre étude. Les valeurs les plus élevées et les plus basses ont été obtenues sur la tomate et le chou (0,139 et 0,096 jours<sup>-1</sup>, respectivement). La valeur la plus élevée était due à une plus grande fécondité, à une mortalité plus faible et à un temps de développement plus court pour le ravageur nourri avec la tomate. Cependant, la plus faible valeur de  $r_m$  enregistrée sur le chou était principalement due à un taux de survie plus faible, ainsi qu'à une durée de développement plus longue de *S. littoralis* sur cette même dernière plante. En général, les recherches montrent que les larves de lépidoptères nourries avec des aliments riches en nutriments présentaient des taux de croissance accrus et un développement plus rapide que ceux nourri avec des aliments pauvres en nutriments (Hwang *et al.*, 2008). Il y avait des différences significatives entre  $R_0$ ,  $r_m$ ,  $\lambda$ , DT et T de *S. littoralis* sur

différentes cultures maraichères étudiées. La cohorte élevée sur la pomme de terre présentait la valeur la plus faible de  $R_0$  (548,8 femelles/femelle/génération) et la valeur la plus élevée de ce paramètre a été enregistrée l'artichaut (824,7 femelles/femelle/génération).

Greenberg *et al.* (2001) a rapporté que le taux net de reproduction de *S. exigua* variait de 139,3 femelles/femelle/génération pour le chou à 596,0 femelles/femelle/génération pour Amarante. Khodaverdi *et al.* (2010) ont trouvé une valeur de  $r_m$  de 0,114 jour<sup>-1</sup> de *S. littoralis* élevé sur nutriment artificiel.

Greenberg *et al.* (2001) ont étudié les paramètres de la table de mortalité de *S. exigua* sur différentes plantes hôtes et ils ont obtenu la valeur de  $r_m$  la plus basse sur le chou (0,156 jour<sup>-1</sup>). Sur d'autres insectes du même genre, Tuan *et al.* (2013) ont rapporté un taux de  $r_m$  0,13 jour<sup>-1</sup> de *Spodoptera litura* sur arachide. Ces différences sont probablement dues soit à la qualité nutritionnelle de l'espèce de plantes hôtes ou différences d'âge des plantes.

La durée moyenne de la génération (T) la plus long a été obtenu sur le chou (66,81 ± 0,307 jours) et la plus courte sur Tomate (47,89 ± 0,292 jours). D'après les résultats de Faraghaly *et al.* (2015), la durée moyenne de la génération *S. littoralis* était la plus longue sur le chou (54,98 jours) et la plus courte sur le gombo (46,3 jours), ce qui était presque similaire à notre temps de génération estimé sur la tomate, l'artichaut et la pomme de terre. Le taux limite d'accroissement ( $\lambda$ ) était le plus élevé sur la tomate (1,153 jour<sup>-1</sup>). Faraghaly *et al.* (2015) et Khodaverdi *et al.* (2010) ont noté que le taux limite d'accroissement variait entre 1,11 sur un nutriment artificiel et 1,32 sur le chou et la courge.

Les études de Razmjou *et al.* (2014) et Safuraie-Parizi *et al.* (2014) ont évalué la valeur  $r_m$  de *H. armigera* sur différentes plantes hôtes et ont indiqué que le taux intrinsèque d'accroissement naturel de *H. armigera* sur la tomate de la variété Meshkin était de 0,123 jour<sup>-1</sup> et 0,127 sur la variété de tomate Petomech et de 0,13 sur un nutriment artificiel à 25°C (Mironidis et Savopoulou-Soultani, 2008). Ces valeurs se situaient autour de la valeur moyenne de *H. armigera* sur tomate dans notre étude. Le taux net de reproduction ( $R_0$ ) dans cette étude était faible sur la tomate 329 femelles/femelle/génération et plus élevé sur l'artichaut. Liu *et al.* (2004) ont montré que la valeur  $R_0$  de *H. armigera* différait selon les plantes hôtes (coton, maïs, haricot, tabac, tomate et piment), allant de 5,1 femelles sur du piment à 117,6 femelles sur du coton, ce qui suggère que les valeurs de  $R_0$  rapportée sur la tomate était inférieure à celle obtenue dans cette étude. Les valeurs maximales de  $R_0$  signalées pour la tomate de la variété Primoearly sont de 360,8 femelles/femelle (Safuraie-Parizi *et al.*, 2014), pour le soja sont de

354,9 femelles (Naseri *et al.*, 2009b) et le canola de 331,5 femelles (Karimi *et al.*, 2012) sont similaires que nos résultats pour la tomate, les résultats obtenus par Razmjou *et al.* (2014) sur tomate de la variété Meshkin était inférieure à nos résultats (111,30 femelles/femelle)

Le taux limite d'accroissement ( $\lambda$ ) était le plus élevé sur artichaut et tomate ( $1,13 \text{ jour}^{-1}$ ). Fathipour et Naseri (2011) ont noté que le plus haut taux limite d'accroissement ( $\lambda$ ) était sur le soja cultivar M7 ( $1,20 \pm 0,007 \text{ jour}^{-1}$ ), nos résultats sont similaires à ceux de Naseri *et al.* (2014) de *H. armigera* nourri sur haricot blanc ( $1,13 \text{ jour}^{-1}$ ), Safuraie-Parizi *et al.* (2014) sur tomate de la variété Petomech ( $0,13 \text{ jour}^{-1}$ ) et Razmjou *et al.* (2014) qui ont trouvé ( $\lambda$ ) sur tomate de la variété Meshkin égale à  $1,131 \text{ jour}^{-1}$ . La durée moyenne de génération (T) sur les plantes hôtes étudiées va de  $47,74 \pm 0,16$  sur tomate à  $65,06 \pm 0,25$  jours sur le chou. Ces résultats sont identiques à ceux de Razmjou *et al.* (2014) sur tomate de la variété Imperial ( $48,2 \pm 0,5$  jours). Jha *et al.* (2012) ont rapporté une durée moyenne de génération de *H. armigera* sur le maïs (46,6 jours) et sur l'asperge (55,1 jours). Le temps de doublement (DT) variait de  $5,84 \pm 0,014$  jours sur artichaut et  $7,58 \pm 0,02$  jours sur le chou, Razmjou *et al.* (2014) ont noté que le temps de doublement d'une génération sur la tomate est de  $5,60 \pm 0,19$  jours, ces résultats sont comparables à nos résultats sur la tomate (5,86 jours), Reddy *et al.* (2004) et Naserie *et al.* (2009) ont noté que le temps de doublement de *H. armigera* était de 6,11 jours sur le tournesol et de 5,23 jours sur le soja. Les différences de nos résultats sur le sujet du temps de doublement par Reddy *et al.* (2004) et Naseri *et al.* (2009) pourrait être dû à la plante hôte ou à la variation dans la population du *H. armigera* examinée.

#### 4.7 Conclusion

La qualité et la quantité de nourriture ingérée par un insecte peuvent affecter directement sa survie et sa reproduction. Ainsi, la condition physique des insectes phytophages dépend des nutriments contenus dans leurs plantes hôtes. Cependant, les cultivars partiellement résistants peuvent également améliorer l'efficacité des ennemis naturels et des insecticides. Par conséquent, l'utilisation de cultivars résistants peut développer des méthodes de lutte biologique et chimique dans le cadre d'une stratégie de lutte intégrée (Du *et al.*, 2004 ; Adebayo et Omoloyo, 2007).

La présente étude a mis en évidence des différences significatives dans le développement larvaire, la longévité, la fécondité et la survie des adultes de *S. littoralis* et *H. armigera* sur différentes plantes hôtes végétales. Ces informations sont nécessaires pour une meilleure compréhension de la biologie de ces ravageurs sur ses nombreuses plantes hôtes. Il est

important de comprendre son adaptation à différents environnements et de formuler un programme de gestion efficace pour contrôler les populations de ces ravageurs au-dessous du seuil économique des dommages aux cultures.

Dans notre zone d'étude, l'artichaut constitue un réservoir important pour les populations de *S. littoralis* et *H. armigera* qui se déplacent ensuite pour infester les principales cultures stratégiques telles que la pomme de terre. La gestion de ces parasites sur les réservoirs aidera à gérer les cultures stratégiques.

Parmi les quatre plantes hôtes testées, la plus longue période larvaire et nymphale ainsi que les valeurs les plus faibles de  $r_m$  et de  $R_0$  de *S. littoralis* et *H. armigera* ont été observées sur la culture du chou. Cependant, les plus courtes périodes larvaires et pré-adultes ainsi que les valeurs de  $r_m$  et  $R_0$  les plus élevées concernaient la culture d'artichaut et de tomate. La comparaison des résultats des paramètres démographiques de *S. littoralis* et *H. armigera* sur différentes plantes hôtes ont montré que la culture du chou était séparée des autres cultures en tant que plantes hôtes la plus résistantes en raison de la plus longue période de développement des stades immatures, la mortalité et les valeurs des paramètres démographiques inférieures de ce ravageur. Par conséquent, la culture du chou est un hôte partiellement inapproprié, et la culture d'artichaut, tomate et pomme de terre sont des hôtes appropriées pour la croissance et le développement de ce ravageur.

Les informations obtenues grâce à cette recherche seront importantes pour la gestion de *S. littoralis* et *H. armigera*, car elles permettront de mieux comprendre son cycle biologique et sa capacité à survivre sur différentes plantes hôtes. En outre, d'autres expériences sur le terrain et en laboratoire sont nécessaires pour révéler les interactions plante-ravageur, ainsi que des études biochimiques de base pour l'extraction et l'identification de composés phytochimiques, qui ont un effet négatif sur la constitution de la population des deux espèces.



# **Chapitre V**

## **Les performances nutritionnelles des noctuelles**

## **5.1. Introduction**

Différentes plantes hôtes pourraient jouer un rôle important dans l'accroissement de la population et les épidémies d'insectes ravageurs polyphages (Singh et Parihar, 1988 ; Lu et Xu, 1998). Sur le plan nutritionnel, l'efficacité d'utilisation reflète la qualité et la quantité de la nourriture consommée (Naseri *et al.*, 2010 ; Baghery *et al.*, 2013), ce qui peut significativement influencer sur les paramètres de développement, de survie et de reproduction des insectes (Scriber et Slansky, 1981 ; Tsai et Wang, 2001 ; Kim et Lee, 2002). En fait, les plantes de qualité médiocre peuvent réduire la survie des insectes, leur taille ou leur poids, leur longévité et leur viabilité de reproduction, ou augmenter indirectement leur exposition aux ennemis naturels en raison d'une période de développement prolongée (Ali et Gaylor, 1992 ; Greenberg *et al.*, 2001 ; Awmack et Leather, 2002 ; Chen *et al.*, 2008). Par conséquent, les objectifs de la présente étude se concentrent sur le taux de consommation quantifiée de certaines cultures légumières cultivées en Algérie par les larves de *S. littoralis* et de *H. armigera* déterminent l'utilisation alimentaire des deux espèces sur quatre plantes hôtes, l'Artichaut, le Chou, la Pomme de terre et la tomate. Les résultats pourraient améliorer les programmes de lutte intégrée sur les cultures légumières.

## **5.2. Matériel et méthodes**

La zone d'étude, les espèces d'insecte et les plantes hôtes utilisés dans ce chapitre sont les même que ceux du chapitre précédant.

### **5.2.1 Expérimentation**

Les larves nouvellement écloses ont été collectées à partir de la culture mère et ont été élevées sur les plantes hôtes mentionnées. Cinquante larves ont été utilisées dans chacun des quatre traitements correspondant à différentes plantes hôtes. Les indices nutritionnels ont été déterminés en utilisant des larves de *S. littoralis* et de *H. armigera* du troisième au cinquième stade sur chaque plante hôte, car ils sont plus faciles à mesurer par rapport aux stades primaires. Pour cela, les feuilles et les larves ont été pesées et placées dans des récipients en plastique (diamètre 8 cm, profondeur 7 cm) avec un trou recouvert d'un filet pour la ventilation. Après 24 h, le poids des larves a été enregistré quotidiennement avant et après l'alimentation jusqu'à ce qu'elles aient fini de se nourrir et aient atteint le stade prénympheal. La nourriture fraîche initiale ainsi que la nourriture et les matières fécales restantes à la fin de chaque expérience ont été pesés quotidiennement. Les conteneurs en plastique ont été nettoyés et de nouvelles feuilles

pesées ont été fournies. Les larves du sixième stade ont été maintenues dans des tubes en plastique (diamètre 2 cm, profondeur 5 cm) pour la nymphose.

La quantité de nourriture ingérée a été déterminée en soustrayant le poids des aliments restant à la fin de chaque expérience du poids total de la nourriture fournie. Pour trouver le poids sec des feuilles, des selles et des larves de chaque stade larvaire, des échantillons supplémentaires (20 échantillons) ont été pesés, séchés au four (48 heures à 60 °C), puis pesés à nouveau pour établir un pourcentage de leur poids sec. Les pré-nymphes, les nymphes et les adultes issues des larves élevées sur chaque plante hôte ont également été pesés. Les taux d'utilisation des aliments ont ensuite été calculés sur la base des formules de Waldbauer (1968) et qui sont : CI (indice de consommation), AD (digestibilité approximative), ECI (efficacité de la conversion des aliments ingérés), ECD (efficacité de la conversion des aliments digérés), RCR (Taux de consommation relatif) et RGR (taux de croissance relatif) :

$$CI = \frac{E}{A}$$

$$RCR = \frac{E}{A \times T}$$

$$RGR = \frac{P}{A \times T}$$

$$AD = \frac{E - F}{E} \times 100$$

$$ECI = \frac{P}{E} \times 100$$

$$ECD = \frac{P}{E - F} \times 100$$

P - gain de poids sec (gramme), A - poids sec moyen initial et final des larves pendant la période d'alimentation (gramme), E - poids sec de l'aliment ingéré (gramme), T - durée de la période d'alimentation (jours), F - le poids sec des matières fécales produites (gramme).

### 5.3 Analyses statistiques

Les indices nutritionnels de *S. littoralis* et de *H. armigera* élevés sur différentes plantes hôtes ont été analysés avec une ANOVA à un facteur à l'aide du logiciel statistique XLSTAT (XLSTAT 2014.5 by Addinsoft), afin de détecter l'existence ou non des différences significatives. Les différences statistiques entre les moyennes ont été évaluées à l'aide du test LSD ( $\alpha = 0,05$ ). Un dendrogramme de différentes plantes hôtes basé sur des indices

nutritionnels de *S. littoralis* a été créé après analyse de clusters par la méthode de Ward à l'aide du logiciel statistique XLSTAT (XLSTAT 2014.5 by Addinsoft).

#### 5.4 Résultats

Les résultats des indices nutritionnels de troisième, quatrième et cinquième stades larvaires entiers de *S. littoralis* et de *H. armigera* sont présentés dans les tableaux 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, et 12. Les différentes plantes hôtes ont eu des effets significatifs sur les indices nutritionnels de *S. littoralis* et de *H. armigera* ( $p < 0,05$ ).

Les larves du troisième stade de *S. littoralis* élevées sur la tomate présentaient les valeurs les plus élevées d'ECD ( $14,099 \pm 1,74$  %) et d'ECI ( $13,076 \pm 1,55$  %) par rapport à celles élevées sur d'autres plantes hôtes. Les valeurs les plus faibles d'ECD concernaient le chou ( $4,736 \pm 0,69$  %). Les valeurs les plus élevées d'AD ( $93,812 \pm 0,731$  %) et de CI ( $23,499 \pm 2,151$ ) ont été observées sur le chou. Cependant, les valeurs les plus faibles d'AD et de CI concernaient l'artichaut ( $89,63 \pm 0,76$ ) et la tomate ( $4,37 \pm 0,47$ ), respectivement. Les valeurs les plus élevées de RCR ( $2,136 \pm 0,196$  mg mg<sup>-1</sup> Jour<sup>-1</sup>) et de RGR ( $0,116 \pm 0,005$  mg mg<sup>-1</sup> Jour<sup>-1</sup>) ont été observés sur le chou et l'artichaut, respectivement. Les valeurs les plus élevées de consommation de nourriture et de matières fécales ont été observées sur le chou et la valeur la plus élevée du gain de poids sec des larves était celle de l'artichaut (Tableau 05).

**Tableau 05.** Indices nutritionnels des larves de troisième stade de *Spodoptera littoralis* sur différentes plantes-hôtes

Plante Hôte	Paramètres (Moyennes $\pm$ Erreurs Standards)								
	ECI %	ECD	CI	RCR	RGR	AD	E	F	P
Artichaut	10,857 $\pm$ 0,884a	12,157 $\pm$ 1,043a	11,117 $\pm$ 1,006b	1,105 $\pm$ 0,051b	0,116 $\pm$ 0,005a	89,633 $\pm$ 0,767b	2,425 $\pm$ 0,181b	0,242 $\pm$ 0,014a	0,254 $\pm$ 0,015a
Chou	4,418 $\pm$ 0,629b	4,736 $\pm$ 0,698b	23,499 $\pm$ 2,151a	2,136 $\pm$ 0,196a	0,084 $\pm$ 0,002b	93,812 $\pm$ 0,731a	5,089 $\pm$ 0,388a	0,296 $\pm$ 0,030a	0,204 $\pm$ 0,008b
Pomme de terre	10,449 $\pm$ 1,118a	11,298 $\pm$ 1,212a	9,093 $\pm$ 1,394b	1,178 $\pm$ 0,104b	0,114 $\pm$ 0,007a	92,865 $\pm$ 0,993a	2,310 $\pm$ 0,330b	0,159 $\pm$ 0,028b	0,221 $\pm$ 0,021ab
Tomate	13,076 $\pm$ 1,554a	14,099 $\pm$ 1,740a	4,372 $\pm$ 0,471c	0,638 $\pm$ 0,075c	0,077 $\pm$ 0,007b	93,301 $\pm$ 0,771a	1,276 $\pm$ 0,118c	0,083 $\pm$ 0,011c	0,156 $\pm$ 0,013c
F (df=3)	11,3492	10,8792	34,1163	27,5706	12,0806	5,2627	34,4583	17,5642	7,5394
P	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0041	<0,0001	<0,0001	0,0005

Les moyennes suivies des mêmes lettres dans chaque colonne ne sont pas significativement différentes ( $P < 0,05$ , LSD) RCR = taux de consommation relatif, RGR = taux de croissance relatif, ECI = efficacité de la conversion des aliments ingérés, ECD = efficacité de la conversion des aliments digérés, IC = indice de consommation, AD = digestibilité approximative, P = gain de poids sec, E = poids sec des aliments ingérés, F = poids sec des matières fécales produites.

D'autre part, les indices nutritionnels des larves du troisième stade de *H. armigera* étaient significativement différents sur diverses plantes hôtes, à l'exception de RCR, ECD et ECI. Les valeurs les plus élevées et les plus faibles de CI provenaient de l'alimentation de *H. armigera* sur des tomates ( $10,295 \pm 0,89$ ) et des choux ( $6,789 \pm 0,411$ ), respectivement. Les valeurs AD les plus élevées ( $91,678 \pm 0,668$ ) et les plus basses ( $75,99 \pm 1,825$ ) provenaient de l'alimentation des larves du troisième stade sur la tomate et la pomme de terre, respectivement. Les larves nourries de pomme de terre présentaient la plus grande valeur de RGR ( $0,196 \pm 0,03 \text{ mg mg}^{-1} \text{ Jour}^{-1}$ ), la valeur la plus faible de RGR est observée sur la tomate ( $0,094 \pm 0,006$ ) (tableau 06).

**Tableau 06.** Indices nutritionnels des larves de troisième stade de *Helicoverpa armigera* sur différentes plantes-hôtes

Plante Hôte	Paramètres (Moyennes $\pm$ Erreurs Standards)								
	ECI %	ECD	CI	RCR	RGR	AD	E	F	P
Artichaut	7,973 $\pm$ 0,725a	10,28 $\pm$ 1,029ab	7,863 $\pm$ 0,848b	2,349 $\pm$ 0,244ab	0,179 $\pm$ 0,019a	78,072 $\pm$ 1,393c	1,827 $\pm$ 0,146ab	0,400 $\pm$ 0,040a	0,142 $\pm$ 0,014a
Chou	7,813 $\pm$ 0,476a	9,937 $\pm$ 0,965ab	6,789 $\pm$ 0,411b	2,423 $\pm$ 0,223a	0,184 $\pm$ 0,012a	83,06 $\pm$ 1,935b	1,789 $\pm$ 0,082ab	0,337 $\pm$ 0,057a	0,138 $\pm$ 0,008a
Pomme de terre	8,281 $\pm$ 0,767a	11,016 $\pm$ 1,142 a	8,814 $\pm$ 0,977ab	2,635 $\pm$ 0,551a	0,196 $\pm$ 0,031a	75,995 $\pm$ 1,825c	1,888 $\pm$ 0,126a	0,454 $\pm$ 0,046a	0,151 $\pm$ 0,010a
Tomate	6,939 $\pm$ 0,503a	7,590 $\pm$ 0,588b	10,295 $\pm$ 0,890a	1,418 $\pm$ 0,130b	0,094 $\pm$ 0,006b	91,678 $\pm$ 0,668a	1,520 $\pm$ 0,068b	0,126 $\pm$ 0,011b	0,104 $\pm$ 0,007b
F (df=3)	0,8309	2,4117	3,3581	2,7054	5,6823	20,5976	2,1800	11,6036	4,1638
P	0,4856	0,0828	0,0293	0,0597	0,0027	< 0,0001	0,1073	< 0,0001	0,0125

Les moyennes suivies des mêmes lettres dans chaque colonne ne sont pas significativement différentes ( $P < 0,05$ , LSD), RCR = taux de consommation relatif, RGR = taux de croissance relatif, ECI = efficacité de la conversion des aliments ingérés, ECD = efficacité de la conversion des aliments digérés aliment, IC = indice de consommation, AD = digestibilité approximative, P = gain de poids sec, E = poids sec de l'aliment ingéré, F = le poids sec des matières fécales produites.

Les données présentées dans le tableau 07 ont montré qu'il existait des différences significatives entre les indices nutritionnels des larves du quatrième stade de *S. littoralis* sur les quatre plantes hôtes. Les valeurs les plus élevées d'ECD et d'ECI concernaient respectivement la pomme de terre ( $34,406 \pm 5,347$  %) et la tomate ( $30,249 \pm 4,128$  %). La digestibilité approximative (AD) des larves de *S. littoralis* sur les quatre plantes hôtes diffère de manière significative et est plus élevée chez la tomate ( $90,406 \pm 1,125$  %) que chez les autres plantes hôtes. Les valeurs de l'indice RGR sur pomme de terre ( $0,189 \pm 0,017 \text{ mg mg}^{-1} \text{ jour}^{-1}$ ) et sur chou ( $0,840 \pm 0,074 \text{ mg mg}^{-1} \text{ jour}^{-1}$ ) étaient les plus élevées comparées aux autres plantes hôtes. Les larves élevées sur du chou montraient les valeurs les plus élevées en matière de consommation de nourriture, de matières fécales et du gain de poids.

**Tableau 07.** Indices nutritionnels des larves de quatrième stade de *Spodoptera littoralis* sur différentes plantes-hôtes

Paramètres (Moyennes ± Erreurs Standards (SE))									
Plante Hôte	ECI %	ECD	CI	RCR	RGR	AD	E	F	P
Artichaut	22,093± 1,735b	28,983± 2,796a	1,228± 0,093b	0,487± 0,026b	0,108± 0,012b	77,807± 2,420b	1,207± 0,128b	0,261± 0,036b	0,255± 0,023b
Chou	8,610± 0,889c	10,606± 1,068b	6,031± 0,518a	0,840± 0,074a	0,069± 0,005b	81,216± 1,424b	6,440± 0,541a	1,241± 0,183a	0,526± 0,036a
Pomme de Terre	25,996± 3,266ab	34,406± 5,347a	1,801± 0,180b	0,784± 0,064a	0,189± 0,017a	79,604± 4,004b	1,795± 0,152b	0,342± 0,066b	0,431± 0,030a
Tomate	30,249± 4,128a	33,548± 4,595a	1,509± 0,225b	0,527± 0,045b	0,149± 0,018a	90,406± 1,125a	1,137± 0,161b	0,115± 0,023b	0,313± 0,044b
<i>F</i> ( <i>df</i> =3)	11,1300	8,4174	57,3441	10,3562	13,8459	4,9944	72,5793	26,1577	12,6471
P	<0,0001	0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0053	<0,0001	<0,0001	<0,0001

Les moyennes suivies des mêmes lettres dans chaque colonne ne sont pas significativement différentes ( $P < 0,05$ , LSD) RCR = taux de consommation relatif, RGR = taux de croissance relatif, ECI = efficacité de la conversion des aliments ingérés, ECD = efficacité de la conversion des aliments digérés, IC = indice de consommation, AD = digestibilité approximative, P = gain de poids sec, E = poids sec des aliments ingérés, F = poids sec des matières fécales produites.

Les indices nutritionnels des larves du quatrième stade de *H. armigera* sont présentés dans le tableau 08. Les données ont montré des différences significatives entre les indices nutritionnels des larves du quatrième stade de *H. armigera* sur les quatre plantes hôtes.

Les valeurs de CI les plus élevées et les plus basses ont été observées sur le chou ( $9,147 \pm 1,071$ ) et la tomate ( $2,084 \pm 0,145$ ). Les larves nourries sur la tomate présentaient les valeurs les plus élevées d'ECD ( $18,588 \pm 3,83$  %) et ECI ( $12,361 \pm 2,25$ ), tandis que les valeurs les plus faibles d'ECD ( $5,84 \pm 0,89$ ) et ECI ( $3,72 \pm 0,49$ %) sont enregistrées sur le chou. La valeur d'AD la plus élevée était sur la tomate ( $70,62 \pm 4,11$  %), la valeur la plus basse était celle de la pomme de terre. Les valeurs les plus basses de RGR et RCR étaient sur les larves nourries sur tomate (tableau 08).

**Tableau 08.** Indices nutritionnels des larves de quatrième stade de *Helicoverpa armigera* sur différentes plantes-hôtes

Paramètres (Moyennes ± Erreurs Standards (SE))									
Plante Hôte	ECI	ECD	CI	RCR	RGR	AD	E	F	P
Artichaut	5,515± 0,554b	11,143± 1,666b	5,814± 0,842b	1,780± 0,190b	0,095± 0,012ab	52,991± 3,130b	3,424± 0,343b	1,556± 0,124a	0,175± 0,009a
Chou	3,724± 0,497b	5,849± 0,896b	9,147± 1,071a	3,585± 0,640a	0,112± 0,016a	65,598± 2,062a	4,792± 0,418a	1,617± 0,131a	0,161± 0,014a
Pomme de terre	5,105± 0,296b	10,416± 0,914b	5,709± 0,656b	2,575± 0,322ab	0,129± 0,014a	50,720± 2,882b	3,916± 0,362ab	1,901± 0,167a	0,193± 0,011a
Tomate	12,361± 2,256a	18,588± 3,834a	2,084± 0,145c	0,559± 0,042c	0,069± 0,012b	70,622± 4,110a	0,843± 0,055c	0,252± 0,042b	0,100± 0,016b
<i>F</i> (df=3)	10,436	5,822	14,425	11,867	3,493	9,493	26,999	34,765	9,920
P	<0,0001	0,002	<0,0001	<0,0001	0,025	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

Les moyennes suivies des mêmes lettres dans chaque colonne ne sont pas significativement différentes ( $P < 0,05$ , LSD) RCR = taux de consommation relatif, RGR = taux de croissance relatif, ECI = efficacité de la conversion des aliments ingérés, ECD = efficacité de la conversion des aliments digérés, IC = indice de consommation, AD = digestibilité approximative, P = gain de poids sec, E = poids sec des aliments ingérés, F = poids sec des matières fécales produites.

Dans le cinquième stade de *S. littoralis* (tableau 09), les valeurs des indices ECD et ECI les plus importantes étaient obtenues sur l'artichaut ( $38,663 \pm 4,34$  %) et ( $20,083 \pm 1,58$  %), respectivement. Les larves élevées sur la pomme de terre présentaient la plus forte valeur de RGR ( $0,101 \pm 0,014$  mg mg<sup>-1</sup> jour<sup>-1</sup>).

**Tableau 9.** Indices nutritionnels des larves de cinquième stade de *Spodoptera littoralis* sur différentes plantes hôtes.

Paramètres (Moyennes ± Erreurs Standards (SE))									
Plante Hôte	ECI %	ECD	CI	RCR	RGR	AD %	E	F	P
Artichaut	20,083± 1,581a	38,663± 4,340a	0,865± 0,096b	0,346 ± 0,025c	0,069± 0,007b	55,504± 4,702b	1,342± 0,156b	0,584± 0,079b	0,265± 0,032a
Chou	5,448± 1,052b	6,314± 1,128c	4,116± 0,493a	0,905 ± 0,095a	0,044± 0,006b	85,947± 1,863a	7,291± 0,919a	1,035± 0,200a	0,362± 0,056a
Pomme de Terre	16,389± 1,798a	25,403± 5,429b	1,559± 0,236b	0,638± 0,075b	0,101± 0,014a	74,139± 6,275a	2,551± 0,364b	0,515± 0,080b	0,421± 0,083a
Tomate	18,612± 2,639a	24,505± 3,413b	1,204± 0,117b	0,381± 0,041c	0,070± 0,013b	77,670± 3,435a	1,847± 0,185b	0,394± 0,065b	0,364± 0,082a
<i>F</i> (df=3)	12,7460	11,5360	27,3186	15,8928	4,7528	8,6243	31,2578	3,8713	1,9603
P	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0068	0,0002	<0,0001	0,0169	0,1374

Les moyennes suivies des mêmes lettres dans chaque colonne ne sont pas significativement différentes ( $P < 0,05$ , LSD) RCR = taux de consommation relatif, RGR = taux de croissance relatif, ECI = efficacité de la conversion des aliments ingérés, ECD = efficacité de la conversion des aliments digérés, IC = indice de consommation, AD = digestibilité approximative, P = gain de poids sec, E = poids sec des aliments ingérés, F = poids sec des matières fécales produites.



Cependant, les valeurs les plus élevées de RCR ( $0,905 \pm 0,09 \text{ mg mg}^{-1} \text{ jour}^{-1}$ ) et AD ( $85,947 \pm 1,863 \%$ ) ont été enregistrées chez les larves nourries au chou.

Les valeurs de l'indice CI les plus élevées et les plus basses du cinquième stade de *S. littoralis* concernaient respectivement le chou et la tomate. La valeur la plus faible des aliments consommés et des matières fécales produites concernait les artichauts ( $1,342 \pm 0,156 \text{ gr}$ ) et les tomates ( $0,394 \pm 0,065 \text{ gr}$ ).

Les différentes plantes hôtes n'ont montré aucun effet significatif sur la prise de poids sec des larves du cinquième stade.

Les indices des larves du cinquième stade (L5) de *H. armigera* sont présentés dans le tableau 10. Les résultats ont indiqué que les plantes hôtes avaient un effet hautement significatif sur tous les indices nutritionnels, à l'exception du RGR. Les valeurs de CI les plus élevées et les plus faibles étaient respectivement sur l'artichaut et la tomate.

Les larves de *H. armigera* nourries sur artichaut et pommes de terre présentaient les valeurs les plus élevées et les plus faibles de DA, respectivement. Les valeurs de l'ECI les plus élevées et les plus basses correspondaient respectivement à l'alimentation des larves sur tomate et artichaut. Les valeurs ECD du cinquième stade de *H. armigera* étaient les plus élevées chez les larves nourries sur tomates ( $17,624 \pm 1,609$ ) et les plus faibles sur artichaut. Les valeurs les plus élevées de RCR ( $3,746 \pm 0,690$ ) ont été observées sur des artichauts.

**Tableau 10.** Indices nutritionnels des larves de cinquième stade de *Helicoverpa armigera* sur différentes plantes hôtes

Plante Hôte	Paramètres (Moyennes $\pm$ Erreurs Standards)								
	ECI %	ECD	CI	RCR	RGR	AD	E	F	P
Artichaut	2,609 $\pm$ 0,388b	3,746 $\pm$ 0,690c	7,144 $\pm$ 0,648a	1,841 $\pm$ 0,165a	0,048 $\pm$ 0,009ab	74,124 $\pm$ 3,221a	7,209 $\pm$ 0,905a	1,654 $\pm$ 0,129a	0,161 $\pm$ 0,010ab
Chou	3,937 $\pm$ 0,728b	7,174 $\pm$ 1,500bc	4,055 $\pm$ 0,333b	1,528 $\pm$ 0,175a	0,058 $\pm$ 0,011ab	58,306 $\pm$ 4,189b	3,757 $\pm$ 0,390b	1,517 $\pm$ 0,189a	0,127 $\pm$ 0,013b
Pomme de terre	4,513 $\pm$ 0,407b	9,468 $\pm$ 1,153b	4,262 $\pm$ 0,197b	0,981 $\pm$ 0,091b	0,044 $\pm$ 0,005b	51,580 $\pm$ 4,607b	4,002 $\pm$ 0,185b	1,914 $\pm$ 0,180a	0,176 $\pm$ 0,011a
Tomate	12,477 $\pm$ 1,333a	17,624 $\pm$ 1,609a	2,210 $\pm$ 0,211c	0,592 $\pm$ 0,063c	0,074 $\pm$ 0,011a	71,095 $\pm$ 4,025a	1,483 $\pm$ 0,130c	0,449 $\pm$ 0,090b	0,182 $\pm$ 0,020a
F (df=3)	30,4172	20,9844	27,0364	17,7231	1,9571	6,9230	21,6947	17,9174	3,0977
P	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,1379	0,0008	< 0,0001	< 0,0001	0,0388

Les moyennes suivies des mêmes lettres dans chaque colonne ne sont pas significativement différentes ( $P < 0,05$ , LSD), RCR = taux de consommation relatif, RGR = taux de croissance relatif, ECI = efficacité de la conversion des aliments ingérés, ECD = efficacité de la conversion des aliments digérés aliment, IC = indice de consommation, AD = digestibilité approximative, P = gain de poids sec, E = poids sec de l'aliment ingéré, F = le poids sec des matières fécales produites.

Les résultats du tableau 11 pour les stades larvaires entiers de *S. littoralis* (troisième, quatrième et cinquième stades) ont montré que les valeurs de l'ECD ( $23,41 \pm 2,25$  %) et l'ECI ( $19,85 \pm 1,798$  %) aux stades larvaires entiers étaient les plus élevées sur la tomate et les plus faibles sur le chou ( $6,09 \pm 0,617$  et  $5,250 \pm 0,528$  %, respectivement). Cependant, les valeurs les plus élevées et les plus basses de CI concernaient le chou ( $33,94 \pm 2,67$ ) et la tomate ( $6,15 \pm 0,58$ ). La digestibilité approximative (AD) des larves nourries sur les quatre plantes hôtes était très significativement différente et était plus élevée sur le chou ( $86,43 \pm 1,141$  %) et la tomate ( $85,57 \pm 1,82$  %) que l'artichaut ( $77,76 \pm 2,19$ ) et la pomme de terre ( $82,96 \pm 2,81$ ). Les RCR et RGR les plus bas ont été obtenus sur la tomate ( $0,47 \pm 0,06$ ) et sur le chou ( $0,07 \pm 0,002$ ). Les valeurs de la nourriture consommée et des matières fécales étaient les plus élevées sur chou ( $18,821 \pm 1,116$  g et  $2,572 \pm 0,315$  g, respectivement). La moindre quantité de matières fécales a été produite sur la tomate. Aucune différence significative n'a été observée sur le gain de poids sec parmi les quatre plantes hôtes.

**Tableau 11.** Indices nutritionnels de tous les stades larvaires de *Spodoptera littoralis* sur différentes plantes hôtes

Paramètres (Moyennes $\pm$ Erreurs Standards SE)									
Plante Hôte	ECI %	ECD%	CI	RCR	RGR	AD	E	F	P
Artichaut	16,227 $\pm$ 0,832b	21,226 $\pm$ 1,570ab	10,181 $\pm$ 0,594a	0,680 $\pm$ 0,032b	0,108 $\pm$ 0,003a	77,755 $\pm$ 2,191b	4,975 $\pm$ 0,219bc	1,088 $\pm$ 0,100b	0,799 $\pm$ 0,041a
Chou	5,250 $\pm$ 0,528c	6,086 $\pm$ 0,617c	33,943 $\pm$ 2,669b	1,490 $\pm$ 0,109a	0,073 $\pm$ 0,002c	86,431 $\pm$ 1,141a	18,821 $\pm$ 1,116a	2,572 $\pm$ 0,315a	0,952 $\pm$ 0,066a
Pomme de Terre	14,398 $\pm$ 0,923b	17,684 $\pm$ 1,606b	10,114 $\pm$ 0,747b	0,818 $\pm$ 0,049b	0,115 $\pm$ 0,005a	82,963 $\pm$ 2,811ab	6,656 $\pm$ 0,620b	1,017 $\pm$ 0,120b	0,924 $\pm$ 0,065a
Tomate	19,845 $\pm$ 1,798a	23,412 $\pm$ 2,252a	6,145 $\pm$ 0,578b	0,469 $\pm$ 0,035c	0,088 $\pm$ 0,005b	85,567 $\pm$ 1,824a	4,260 $\pm$ 0,340c	0,592 $\pm$ 0,066b	0,823 $\pm$ 0,087a
F (df=3)	30,558	22,675	77,189	46,881	22,062	3,519	104,229	23,325	1,257
P	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0246	<0,0001	<0,0001	0,3034

Les moyennes suivies des mêmes lettres dans chaque colonne ne sont pas significativement différentes ( $P < 0,05$ , LSD), RCR = taux de consommation relatif, RGR = taux de croissance relatif, ECI = efficacité de la conversion des aliments ingérés, ECD = efficacité de la conversion des aliments digérés aliment, IC = indice de consommation, AD = digestibilité approximative, P = gain de poids sec, E = poids sec de l'aliment ingéré, F = le poids sec des matières fécales produites.

Les indices nutritionnels du troisième, quatrième et cinquième stade de *H. armigera* combinés sont présentés dans le tableau 12, les plantes hôtes ont affecté significativement tous les indices nutritionnels. Les valeurs maximales et minimales du CI résultaient des larves nourries de chou et de tomate. La valeur de l'AD la plus élevée et la plus basse provenaient des larves élevées sur tomates et pommes de terre. Les valeurs les plus élevées de l'ECI et de l'ECD ont été obtenues sur des larves nourries sur tomate, et la plus faible a été enregistrée sur

artichaut. RGR et RCR présentaient les valeurs les plus élevées lorsque les larves étaient élevées sur du chou ; les valeurs les plus faibles étaient celles des larves nourries sur tomate.

**Tableau 12.** Indices nutritionnels de tous les stades larvaires de *Helicoverpa armigera* sur différentes plantes hôtes

Plante hôte	Paramètres (Moyennes $\pm$ Erreurs Standards)								
	ECI %	ECD	CI	RCR	RGR	AD	E	F	P
Artichaut	3,735 $\pm$ 0,201b	5,463 $\pm$ 0,426c	25,893 $\pm$ 2,107ab	2,312 $\pm$ 0,113b	0,086 $\pm$ 0,005b	69,76 $\pm$ 2,49b	12,460 $\pm$ 0,869a	3,610 $\pm$ 0,176b	0,455 $\pm$ 0,022a
Chou	4,215 $\pm$ 0,213b	6,462 $\pm$ 0,372c	26,948 $\pm$ 2,625a	3,243 $\pm$ 0,400a	0,131 $\pm$ 0,011a	65,82 $\pm$ 2, 218b	10,338 $\pm$ 0,722b	3,471 $\pm$ 0,247b	0,425 $\pm$ 0,017ab
Pomme de terre	4,618 $\pm$ 0,321b	8,254 $\pm$ 0,631b	21,479 $\pm$ 1,263b	2,006 $\pm$ 0,106b	0,091 $\pm$ 0,006b	56,42 $\pm$ 1,913c	9,806 $\pm$ 0,354b	4,269 $\pm$ 0,243a	0,445 $\pm$ 0,022a
Tomate	9,813 $\pm$ 0,692a	12,506 $\pm$ 0,882a	12,060 $\pm$ 0,744c	0,805 $\pm$ 0,047c	0,078 $\pm$ 0,005b	78,83 $\pm$ 2,116a	3,846 $\pm$ 0,165c	0,827 $\pm$ 0,101c	0,372 $\pm$ 0,022b
F (df=3)	48,183	25,905	13,657	21,750	11,321	17,893	38,160	57,181	3,193
P	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,0350

Les moyennes suivies des mêmes lettres dans chaque colonne ne sont pas significativement différentes ( $P < 0,05$ , LSD), RCR = taux de consommation relatif, RGR = taux de croissance relatif, ECI = efficacité de la conversion des aliments ingérés, ECD = efficacité de la conversion des aliments digérés aliment, IC = indice de consommation, AD = digestibilité approximative, P = gain de poids sec, E = poids sec de l'aliment ingéré, F = le poids sec des matières fécales produites.

Différentes plantes hôtes n'ont montré aucun effet significatif sur le poids pré-nymphal de *S. littoralis* ( $F = 1,563$ ,  $df = 3,39$ ). Cependant, l'effet des plantes hôtes sur le poids des nymphes ( $F = 2,913$ ;  $df = 3,39$ ) était significatif. Les pupes de *S. littoralis* élevées sur artichaut étaient les plus lourdes ( $0,44 \pm 0,012$  g). Alors que les larves élevées sur tomate et pomme de terre ont montré une légèreté ( $0,27 \pm 0,007$ ) parmi les quatre plantes hôtes (figure 49).

En revanche, les différentes plantes hôtes ont montré un effet significatif sur les poids pré-nymphal, nymphal et adulte de *H. armigera*. Le poids pré-nymphal le plus élevé ( $0,37$  g) et le poids des nymphes ( $0,33$  g) ont été obtenus dans les larves élevées sur artichaut, cependant, les larves qui se sont nourries de tomates montrent les valeurs les plus basses. La valeur pondérale la plus élevée chez l'adulte concernait la pomme de terre ( $0,17$  g) et la plus faible était sur la tomate ( $0,11$  g) (figure 49).

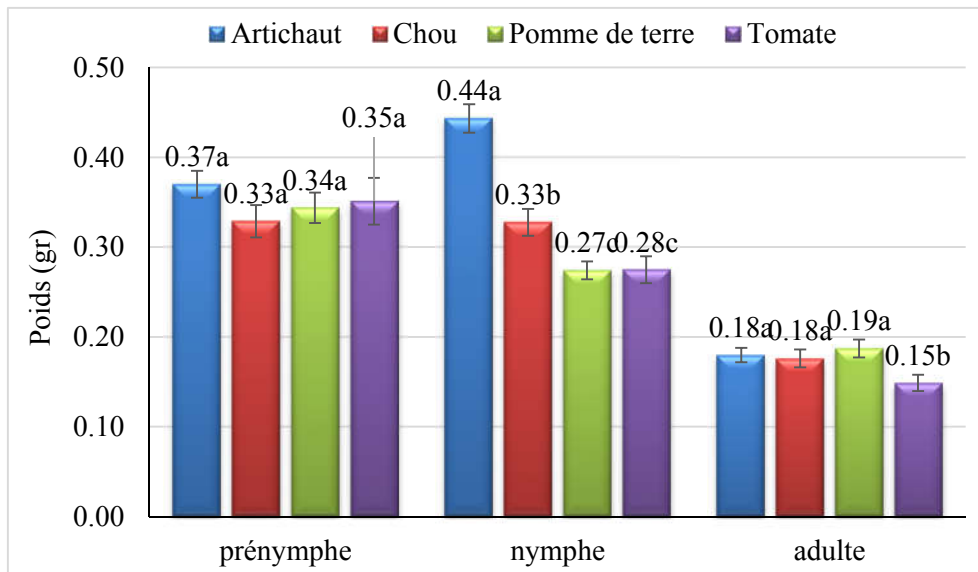


Figure 49. Poids des Prénymphes, nymphes et adultes de *Spodoptera littoralis* sur différentes plantes hôtes

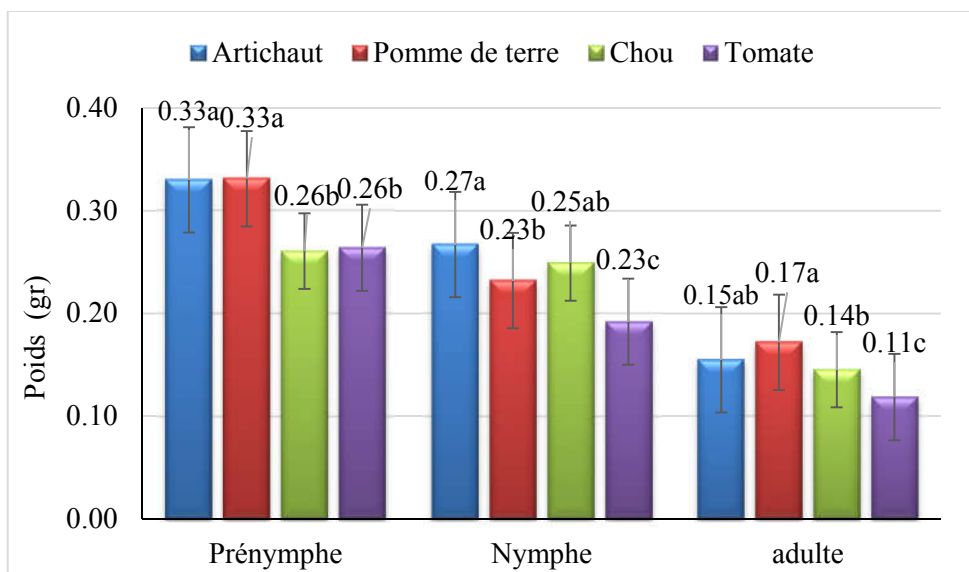


Figure 50. Poids des Prénymphes, nymphes et adultes de *Helicoverpa armigera* sur différentes plantes hôtes

Les figures 51 et 52 présentent un dendrogramme basé sur les indices nutritionnels d'instars larvaires entiers de *S. littoralis* et *H. armigera*, respectivement élevés sur quatre plantes hôtes. Le dendrogramme de la figure 51 montre deux groupes distincts étiquetés A (comprenant A1 et A2) et B. Pomme de terre et artichaut) et la sous-grappe A2 (tomate), le groupe B comprend le chou, alors que le dendrogramme de la figure 52 montre aussi deux

groupes distincts étiquetés A (comprenant A1 et A2) et B. Le groupe A est constitué du sous-groupe A1 (Artichaut et chou) et la sous-grappe A2 (pomme de terre). Le groupe B comprend la tomate.

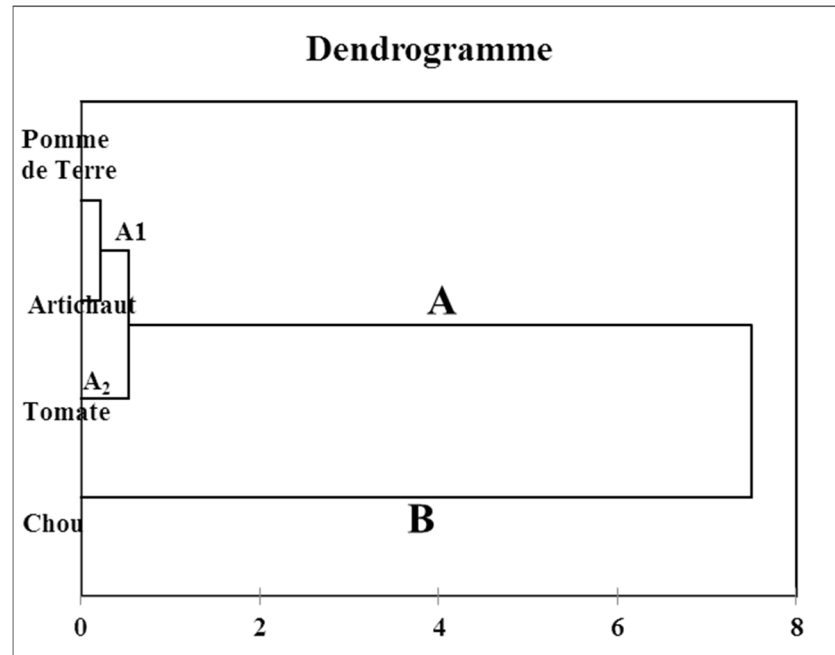


Figure 51. Dendrogramme de quatre plantes hôtes basé sur les indices nutritionnels de *S. littoralis*

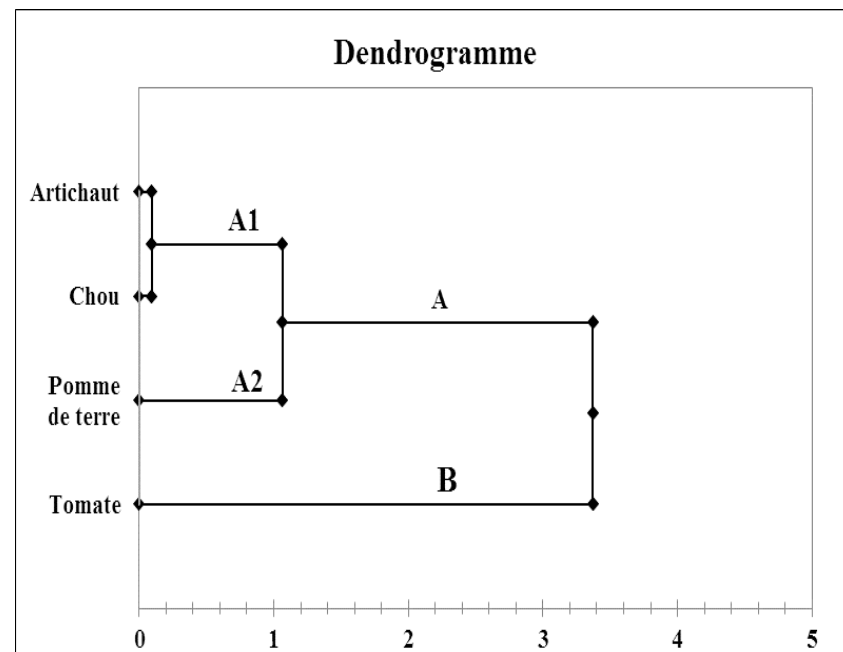


Figure 52. Dendrogramme de quatre plantes hôtes basé sur les indices nutritionnels de *H. armigera*

## 5.5 Discussion

Les larves de *Spodoptera littoralis* se nourrissent de diverses plantes, le développement est influencé par la qualité de la nourriture. Il existe plusieurs recherches sur les aspects biologiques et les indices nutritionnels des espèces de Noctuidae sur différentes plantes hôtes, alors qu'aucune étude n'est disponible concernant *S. littoralis* sur les 4 plantes hôtes que nous avons utilisé.

Dans cette étude, nos données montrent que le poids des larves et des nymphes ainsi que les indices nutritionnels étaient significativement affectés lorsque *S. littoralis* se nourrissait des quatre plantes hôtes. L'efficacité de la conversion des aliments ingérés par *S. littoralis* et les insectes en général, varie considérablement selon les différentes plantes hôtes (Duodo et Biney, 1981 ; Slansky et Scriber, 1985 ; Scriber et Slansky, 1991).

Parmi les indices nutritionnels, l'ECI est un indice indicatif de la capacité des insectes à utiliser les aliments ingérés pour la croissance et le ECD est un indice de l'efficacité de la conversion des aliments consommés en croissance (Nathan *et al.*, 2005). RGR est le taux d'augmentation de masse corporelle en une unité de temps, tandis que RCR est la quantité de nourriture ingérée par unité d'insectes et de temps (Talaee *et al.*, 2017). La qualité de la plante hôte peut influencer sur la durée de la période de développement (Hwang *et al.*, 2008). Les valeurs ECI et ECD de *S. littoralis* sont élevés pour les quatre plantes hôtes et ils étaient significativement différents, ce qui suggère une qualité nutritionnelle différente de ces plantes.

Les données relatives aux indices nutritionnels des 3<sup>em</sup>, 4<sup>em</sup> et 5<sup>em</sup> stades larvaires de *S. littoralis* ne concordent pas, car les besoins nutritionnels de l'insecte évoluent au cours du développement et ces différences entraînent généralement des modifications de la consommation et de l'utilisation des aliments (Barton Brown, 1995 ; Hemati *et al.*, 2012). En général, lorsque la quantité d'aliments ingérés diminue, la durée de développement est prolongée et les insectes deviennent plus petits et plus légers. Une autre raison, peut être liée à l'augmentation de la durée du développement de l'insecte, quand l'augmentation de la quantité de nourriture consommée doit être dédiée au maintien du métabolisme. Les besoins nutritionnels seraient positivement corrélés à la masse de l'insecte (Phillipson, 1981 ; Schroeder, 1981).

Une valeur d'IC supérieure pour l'ensemble des stades larvaires de *S. littoralis* a été obtenue avec le chou, ce qui indique que le taux d'ingestion par rapport au poids moyen des larves au cours de la période d'alimentation était le plus élevé chez cette plante hôte. Ces résultats sont similaires à ceux de Duodo et Biney (1981), qui ont indiqué que *S. littoralis* avait la plus grande

valeur d'IC avec le chou. Ou bien, une grande différence a été enregistrée entre les valeurs d'IC obtenues chez *S. littoralis*, dans le cadre d'un régime artificiel ils sont élevés (Khafagi *et al.*, 2016). Les résultats pour l'AD (%) de la totalité des stades larvaires de *S. littoralis* nourris au chou ( $86,43 \pm 1,41$ ), à la pomme de terre ( $82,96 \pm 2,81$ ) et à la tomate ( $85,567 \pm 1,824$ ) étaient similaires à ceux rapportés par Khedr *et al.* (2015) sur certains cultivars de coton et certaines graines de ricin (respectivement 85,72 % et 90,30 %). Khedr *et al.* (2015), Ladhari *et al.* (2013) et Khafagi *et al.* (2016) indiquent que la valeur de l'AD de *S. littoralis* était de 40,4 % avec un régime artificiel.

Parmi les quatre différentes plantes hôtes, l'AD la plus faible pour les stades larvaires entiers concernait l'artichaut ( $71,75 \pm 2,19$ ), aucune étude antérieure n'avait été réalisée sur les indices nutritionnels de *S. littoralis* sur artichaut, mais la valeur de l'AD de *S. littoralis* était toujours supérieure à sa valeur sur l'alimentation artificielle (Khafagi *et al.*, 2016).

Les larves de troisième stade nourri au chou avaient pour valeurs de l'AD la plus élevée et le ECD le plus faible. Nos résultats sont cohérents avec Hemati *et al.* (2012) et Mehrkhou *et al.* (2015). Ils ont rapporté que les larves d'*Helicoverpa armigera* (Lepidoptera : Noctuidae) nourries au pois chiche et les larves de *Spodoptera exigua* (Lepidoptera : Noctuidae) nourries à l'aubergine avaient respectivement le plus haut AD et le plus bas ECD. Selon Grabstein et Scriber (1982), Sheppard et Friedman (1990) et Lazarevic et Peric-Mataruga (2003), la réduction de la croissance est une réaction générale des insectes phytophages due au passage à une nouvelle plante hôte, ce qui explique le taux de croissance réduit obtenu chez le chou en fonction de l'augmentation de la valeur de l'AD et de la diminution de la ECD.

Les données des indices nutritionnels du quatrième stade montrent que les larves nourries avec la pomme de terre avaient la valeur ECD la plus élevée et que la tomate avait la valeur ECI la plus élevée et que celles élevées avec du chou avaient les plus faibles ECD et ECI. En revanche, l'AD la plus faible au quatrième stade a été enregistrée sur la pomme de terre et l'artichaut, ce qui suggère que plus d'apports ne signifient pas nécessairement plus de digestion. Différents facteurs tels que les produits biochimiques secondaires peuvent réduire la digestibilité, ce qui ralentit le taux de croissance malgré la consommation d'une grande quantité d'aliments (Price *et al.*, 2011 ; Panizzi et Parra, 2012).

Au cinquième stade larvaire, les larves élevées sur du chou présentaient les valeurs les plus élevées de RCR et les valeurs ECI et ECD les plus basses. En outre, la valeur de l'AD la plus élevée a été enregistrée sur le chou, ce qui peut être expliqué par la plus grande quantité de nourriture consommée par les larves nourries avec la même plante. Elles ont également connu

la plus longue période de développement parmi les autres larves nourries sur d'autres plantes hôtes.

Stockhoff (1993) suggère que les changements nutritionnels, de la plante hôte préférée à une autre, à différents stades larvaires pourraient être liés à l'effet des changements ontogénétiques sur le choix du régime alimentaire. La plus haute valeur de l'ICE des stades larvaires entiers de *S. littoralis* concernait la tomate et la pomme de terre, ces résultats indiquent qu'ils ont été plus efficaces pour convertir les aliments ingérés en biomasse. Les larves nourries au chou présentaient la plus faible valeur d'ECD dans tous les stades larvaires de *S. littoralis* par rapport aux autres plantes hôtes, ce qui suggère que ces larves sont moins efficaces pour la conversion de la nourriture digérée en biomasse. Il est bien connu que le degré d'utilisation des aliments dépend de leur digestibilité et que l'efficacité des aliments digérés est convertie en biomasse (Baptista Pereira *et al.*, 2002).

La durée de la période d'alimentation est un facteur efficace dans les valeurs de RGR et de RCR qui indiquent si un hôte est apte ou non à nourrir les larves, car les larves de Lépidoptères nourries avec une nourriture très nutritive augmentent les taux de croissance et la période de développement complet plus rapidement (Hwang *et al.*, 2008). Nos résultats pour les stades larvaires entiers montrent que les valeurs de RCR et de RGR étaient respectivement les plus élevées sur le chou et l'artichaut et les plus faibles sur la tomate. Dans notre étude, la pomme de terre et la tomate constituaient un aliment riche en nutriments pour les larves et une période de développement plus courte était nécessaire pour compléter les stades larvaires.

Cependant, le chou était un aliment pauvre en nutriments pour les larves et une période de développement plus longue était nécessaire pour compléter les stades larvaires.

Parmi les différentes plantes hôtes, la pomme de terre a produit les prénymphe les plus lourdes ( $0,34 \pm 0,017$ ) ainsi que les nymphes ( $0,306 \pm 0,01$ ) et les adultes ( $0,187 \pm 0,01$ ) par rapport aux autres plantes hôtes. Le chou et l'artichaut ont enregistré les poids les plus légers pour les nymphes et les adultes. Ces résultats sont similaires à ceux de Khedr *et al.* (2015) qui ont trouvé des poids de nymphe autour de  $0,30 \pm 0,01$  sur des feuilles de ricin et  $0,28 \pm 0,02$  sur un génotype de coton (H10). La période larvaire la plus courte de *S. littoralis* concerne les larves élevées sur la pomme de terre et la tomate et la plus longue période obtenue sur des larves nourries au chou, cette précision est presque similaire à celle rapportée par El-Aw et Hashem (2004).

Les résultats de l'analyse du dendrogramme ont révélé que le regroupement de différentes plantes hôtes au sein de chaque cluster pourrait être dû au niveau élevé de similitude physiologique des plantes hôtes. Les plantes hôtes regroupées dans le sous-groupe A2 étaient



les plus appropriées et celles du sous-groupe A1 étaient assez sensibles à *S. littoralis*, tandis que les plantes hôtes du groupe B étaient les moins appropriées.

Dans cette étude, les indices nutritionnels, en particulier les valeurs ECI et ECD de *H. armigera* sont élevés sur différentes plantes hôtes étaient significativement différents, ce qui suggère que les plantes hôtes avaient une valeur nutritionnelle différente. Parmi les indices nutritionnels, l'ECI est un indice indicatif de la capacité d'un insecte à utiliser les aliments ingérés pour la croissance et le développement, et l'ECD est un indice de l'efficacité de la conversion des aliments digérés en croissance (Nathan *et al.*, 2005). Les données générées pour les larves de *H. armigera* du troisième au cinquième stade sont incompatibles entre elles car les besoins nutritionnels de l'insecte changent au cours du développement, et ces différences se traduisent généralement dans le changement de la consommation alimentaire et de l'utilisation des aliments (Barton Browne, 1995). Habituellement, lorsque la quantité de nourriture ingérée diminue, la durée de développement est prolongée et l'insecte devient plus petit et plus léger. Habituellement, lorsque la quantité de nourriture ingérée diminue, la durée de développement est prolongée et l'insecte devient plus petit et plus léger. Une autre raison peut être liée à l'augmentation de la période larvaire, lorsqu'une quantité accrue d'aliments ingérés doit être consacrée au maintien du métabolisme (Phillipson, 1981 ; Schroeder, 1981).

Les résultats pour les quatrièmes stades ont montré que les larves nourries avec la pomme de terre avaient les valeurs les plus élevées d'ECI et d'ECD. Les valeurs élevées de l'ECI et de l'ECD indiquent que l'alimentation des larves et leur poids se sont améliorés. Par conséquent, des nymphes plus grosses sont produites, ce qui a une corrélation directe avec la fertilité des adultes, ce qui est très important sur le plan écologique pour la survie de cet insecte (Daryaei *et al.*, 2007 ; Kouhi *et al.*, 2014). RGR est le taux d'augmentation du poids du corps dans une période de temps unitaire. Tandis que RCR est la quantité de nourriture ingérée par unité sur le corps de l'insecte par unité de temps (Talaee *et al.*, 2017). La durée de la période de développement peut être influencée par adéquation de la plante hôte (Hwang *et al.*, 2008). De plus, au troisième stade, les larves qui se sont nourries de tomates présentaient l'AD le plus élevé et presque le DPE le plus bas. De plus, au troisième stade, les larves qui se sont nourries de tomates présentaient l'AD le plus élevé et presque l'ECD le plus bas. Apparemment, l'augmentation de la valeur de l'AD n'a pas pu compenser l'augmentation de la valeur de l'ECD, ce qui a entraîné par conséquent une réduction du taux de croissance. Les larves de troisième stade nourries sur la tomate présentaient les valeurs d'AD les plus élevées et les valeurs d'ECI et ECD les plus basses. Conformément à notre résultat, Fite *et al.* (2018) ont trouvé le plus haut AD et le plus petit ECD du troisième stade larvaire de *H. armigera* quand

ils ont été élevés sur tomate Var. Hashem. Une valeur de CI plus élevée de l'ensemble des stades larvaires de *H. armigera* sur le chou a indiqué que le taux d'ingestion par rapport au poids moyen des larves pendant la période d'alimentation était le plus élevé sur cette plante hôte. Les résultats pour la valeur d'AD de la totalité des stades larvaires élevée sur tomate étaient similaires à ceux rapportés par Fite *et al.* (2018) sur tomate var. Koshary ( $77,9 \pm 1,92$  %) et différents de ceux rapportés par Hemati *et al.* (2012) sur tomate var. Meshkin ( $67,47 \pm 0,016$  %) et presque similaire à ceux de Kouhi *et al.* (2014) ( $80,97 \pm 1,17$  %) sur tomate var. Korral. Cette différence est probablement liée à la différence entre les cultivars de tomate, dont l'acidité et les composés secondaires sont différents. La valeur la plus faible d'AD dans les stades larvaires entiers a été obtenue lorsque les larves se nourrissaient de la pomme de terre, ce résultat correspond à celui de Hemati *et al.* (2012) sur la pomme de terre var. Agria ( $57,26 \pm 0,003$  %). Parmi les différentes plantes hôtes, les valeurs les plus élevées d'ECI et d'ECD de l'ensemble des stades larvaires ont été observées sur la tomate, indiquant qu'elles étaient plus efficaces pour la conversion de la nourriture ingérée et digérée en biomasse dans le corps larvaire.

Les résultats pour les valeurs d'ECI et ECD des larves nourries sur la tomate étaient presque similaires à ceux rapportés par Kouhi *et al.* (2014) sur tomate et Fathipour *et al.* (2018) sur le colza var. Hayula. La valeur moyenne d'ECD des stades larvaires entiers élevés sur différents cultivars de tomate était inférieure à celle rapportée par Naseri *et al.* (2010) sur les cultivars de soja ( $60,59 \pm 2,01$  %).

Les données des indices nutritionnels du quatrième stade montrent que les larves nourries sur la tomate ont les valeurs les plus élevées d'ECD et ECI et celles élevées sur le chou avaient l'ECD et ECI le plus bas. En revanche, la valeur d'AD la plus faible au quatrième stade était enregistrée sur la pomme de terre. Les résultats suggèrent que plus d'apports ne signifient pas nécessairement plus de digestion. Différents facteurs tels que les produits biochimiques secondaires peuvent réduire la digestibilité, ce qui ralentit le taux de croissance malgré la consommation d'une grande quantité d'aliments (Price *et al.* 2011 ; Panizzi et Parra. 2012). Dans les résultats du cinquième stade, les larves élevées sur artichaut présentaient les valeurs les plus élevées de RCR et les valeurs d'ECI et ECD les plus faibles. Outre la valeur la plus élevée de la DA a été enregistrée sur l'artichaut, ce qui peut s'expliquer par la plus grande quantité de nourriture consommée par les larves. Nos résultats sont similaires à ceux rapportés par Bagheri *et al.* (2013) sur le maïs qui avait les valeurs les plus élevées de RCR et AD et les plus faibles ECI et ECD. La diminution de l'ECI des larves de *H. armigera* peut être imputable à la réduction de l'efficacité de la conversion des aliments ingérés en croissance.

Les larves nourries du maïs avaient la valeur ECD la plus faible par rapport aux autres plantes hôtes, ce qui indique que ces larves sont moins efficaces pour la conversion des aliments digérés en biomasse. Il est bien connu que le degré d'utilisation des aliments dépend de la digestibilité des aliments et que l'efficacité des aliments digérés est convertie en biomasse (Baptista Pereira *et al.*, 2002).

Dans la présente étude, le RGR le plus bas était sur la tomate, ce qui peut être dû à une consommation réduite. Les larves nourries par le chou présentaient le RCR le plus élevé, probablement en raison d'une teneur en nutriments et des substances secondaires inappropriées. La valeur d'AD élevée des larves sur la tomate pourrait être due à la compensation d'une carence en nutriments. Un maximum de RCR, de RGR et de consommation alimentaire a été observé aux quatrième et cinquième stades. Cela est dû au taux d'ingestion plus élevé et à l'apport alimentaire maximal aux quatrième et cinquième stades. Au cours du développement d'un insecte, ses besoins nutritionnels changent, reflétant des changements dans la consommation et le comportement alimentaires (Barton Browne et Raubenheimer, 2003). En fait, les besoins nutritionnels sont positivement corrélés à la biomasse et à la durée du développement (Kumar *et al.*, 2008).

Pour les valeurs de RGR et RCR, la durée de la période d'alimentation est un facteur efficace. Parmi les différentes plantes hôtes, les valeurs de RCR et de RGR les plus élevées de tous les stades larvaires de *H. armigera* se trouvaient sur le chou et les plus basses sur la tomate. Nos résultats indiquent que la tomate a une faible valeur nutritive pour les larves de *H. armigera*. Le poids corporel est un indicateur important de la condition physique de la dynamique des populations des insectes (Liu *et al.*, 2004). Le poids de la nymphe peut être un indicateur indirect, mais facilement mesurable, de la condition physique des lépidoptères (Leuck et Perkins, 1972). Les nymphes produites par les larves élevées sur la tomate étaient plus légères que celles des nymphes produites par les larves élevées sur les autres plantes hôtes. Cela renforce la suggestion selon laquelle la tomate est plus appropriée que les autres pour les larves de *H. armigera*. Liu *et al.* (2004) ont montré que le poids des nymphes de *H. armigera*, compris entre  $0,167 \pm 3,9$  g sur tomate et  $0,285 \pm 4,2$  g sur maïs, étaient affecté par différentes plantes hôtes. Les conclusions actuelles sur le poids de la nymphe de *H. armigera* élevée sur artichaut ( $0,267 \pm 0,008$  g) étaient proches de celles rapportées par Liu *et al.* (2004) sur le maïs.

D'après Fite *et al.* (2018), la valeur AD la plus élevée de tous les stades larvaires de *H. armigera* était sur la tomate var. Koshari, indiquant que le taux d'ingestion par rapport au poids sec moyen des larves prises pendant la période d'alimentation était inférieur à celui des autres variétés, et une indication pour l'alimentation des larves sur cet hôte étaient moins efficaces

pour convertir les aliments ingérés et digérés en biomasse. Peut-être en raison de l'absence de composants nutritionnels et de la présence de certains produits chimiques secondaires, ce qui confirme que la tomate Koshari n'était pas un hôte approprié pour l'élevage des larves de *H. armigera*. Baptista *et al.* (2002) ont rapporté que le degré d'utilisation des aliments dépend de leur digestibilité et de l'efficacité avec laquelle les aliments digérés sont convertis en biomasse. Hemati *et al.* (2012) ont également signalé que la tomate ne convenait pas à l'alimentation de *H. armigera*. Cependant, selon nos conclusions dans l'ECI et ECD, la tomate est la plante hôte la mieux adaptée aux larves de *H. armigera*.

L'analyse de cluster représenté dans nos résultats indique que le regroupement au sein de chaque groupe pourrait être dû à un niveau élevé de similitude physiologique des différentes variétés de la même plante hôte ou en raison de la variabilité des caractères physiologiques des variétés regroupées. Les résultats des indices nutritionnels comparatifs de *H. armigera* sur différentes plantes hôtes ont révélé que le groupe B était le plus approprié et que le sous-groupe A1 était le moins approprié pour *H. armigera*.

Cependant, les plantes hôtes du sous cluster A2 avaient un statut intermédiaire. Ces résultats ont été associés aux valeurs ECI et ECD de tous les stades larvaires de différentes plantes hôtes. Selon le tableau 12, les valeurs ECI et ECD de tous les stades larvaires étaient les plus élevées sur les tomates et les plus faibles sur les artichauts par rapport aux autres plantes hôtes. Ces résultats aideront à comprendre ce ravageur ainsi que sa préférence en plante hôte pour gérer et contrôler ce ravageur sur les cultures légumières en particulier avec la capacité d'adaptation des insectes à différentes plantes hôtes, malgré la différence des valeurs nutritionnelles.

L'étude des indices nutritionnels permet de bien comprendre le comportement physiologique des insectes vis-à-vis de leurs plantes hôtes (Lazarevic et Peric-Mataruga, 2003). Sur la base des valeurs nutritionnelles des stades larvaires de *S. littoralis*, la période de développement, les poids des nymphes et des adultes de quatre plantes hôtes ont été classés comme suit : Tomate > Artichaut > Pomme de terre > Chou.

**5.6 Conclusion**

La présente étude a montré l'aptitude des plantes hôtes sélectionnées au développement et à la survie de *S. littoralis*. Ces résultats aideront à comprendre cet organisme nuisible, ainsi que sa préférence pour la plante hôte, de gérer et de contrôler cet insecte nuisible sur les cultures légumières, en particulier grâce à l'adaptabilité des insectes à différentes plantes hôtes, malgré la différence de leur valeur nutritionnelle.

Afin de mieux explorer les informations sur *S. littoralis* et *H. armigera*, les futures études devraient être axées sur la recherche d'indices nutritionnels sur un plus grand nombre de plantes et de cultivars hôtes et sur l'évaluation des composants chimiques des plantes hôtes afin de comprendre le mécanisme de compatibilité de l'hôte.

**Chapitre VI**

**Efficacité des biopesticides contre  
les noctuelles**

### 6.1 Introduction

Au cours des 30 dernières années, l'utilisation intensive des insecticides à large spectre contre *S. littoralis* et *H. armigera* a causée l'apparition d'une résistance à de nombreux insecticides homologués (Smagghe *et al.*, 1999 ; Aydin et Gürkan, 2006). Pour surmonter les problèmes associés aux insecticides conventionnels, de nouveaux groupes insecticides qui proviennent d'agents naturels ou des produits qui perturbent les processus physiologiques de l'organisme nuisible visé ont été développés et enregistrés comme des alternatives pour une utilisation dans les approches de lutte intégrée (Dhadialla *et al.*, 1998 ; Thompson *et al.*, 2000 ; Smagghe *et al.*, 2003). Les programmes modernes de lutte intégrée mettent l'accent sur l'application de ces pesticides dits "doux", dans le but de réduire la mortalité élevée habituellement infligée aux ennemis naturels par des substances toxiques présentes dans l'environnement. Ces pesticides à usage biologique, y compris les régulateurs de la croissance des insectes, entraînent généralement une mortalité initiale inférieure de l'ennemi naturel par rapport aux insecticides synthétiques classiques. En raison de l'impact des pesticides sur les agents de lutte biologique dans les agro-écosystèmes, de nombreux chercheurs récents ont insisté sur la nécessité de mettre au point des tests standardisés pour mesurer les effets sublétaux. Les études dans lesquelles l'exposition à un insecticide entraîne une mortalité < 30 % sont classées comme des expériences sublétales, indiquant un effet d'induction probable (Croft, 1990). L'exposition sublétales à long terme aux pesticides, ainsi que les caractéristiques physiologiques et biochimiques des populations qui survivent au stress, peuvent être essentielles pour planifier les stratégies d'application des pesticides et pour estimer les effets secondaires du produit chimique utilisé pour l'environnement (Adamski *et al.*, 2003).

Le Spinosad, mélange de spinosynes A et D, est un insecticide dérivé de l'actinomycète naturel présent dans le sol, *Saccharopolyspora spinosa* (Mertz et Yao, 1990) (Sparks *et al.*, 1998), actuellement enregistré dans plusieurs pays. Spinosad agit de deux manières uniques sur l'acétylcholine nicotinique et les récepteurs GABA (Salgado et Sparks, 2005 ; Osorio *et al.*, 2008). Alors que *Bacillus thuringiensis* Var. Kurstaki est un micro-organisme agit dans les intestins des insectes en raison de cristaux, composés de protoxines, libérés dans les intestins en raison du pH alcalin qui provoque la solubilisation. Ces protoxines, en présence d'enzymes digestives, sont converties en polypéptides toxiques (deltaendotoxines). Les toxines activées traversent la membrane peritrofique, se joignent à des récepteurs spécifiques de la membrane apicale des cellules cylindriques de l'intestin moyen et s'insèrent dans la membrane (Höfte et Whiteley, 1978 ; Fiuza *et al.*, 1996).

La formation de pores perturbe les gradients ioniques et l'équilibre osmotique dans la membrane apicale, entraînant un gonflement et une lyse des cellules. Ce phénomène entraîne une destruction massive de l'épithélium, entraînant la mort de la larve (Knowles, 1994).

Dans les expériences actuelles, l'efficacité de ces bioinsecticides contre le ver de feuille de coton *Spodoptera littoralis* et la noctuelle de la tomate *Helicoverpa armigera* a été déterminée dans le but de trouver les meilleurs composés pour lutter contre ces nuisibles économiques dans le cadre d'un programme de lutte intégrée.

## **6.2 Matériel et méthodes**

### **6.2.1 Elevage des insectes**

Des individus des noctuelles *S. littoralis* et *H. armigera* élevés au laboratoire ont été utilisés dans la présente étude. Les insectes provenaient des champs d'artichaut de la région de Hmadna Wilaya de Relizane, dans le nord-Ouest de l'Algérie. Les larves de *S. littoralis* et *H. armigera* ont été élevées au laboratoire, à une température de  $25 \pm 1$  ° C et à une humidité relative de  $65 \pm 5$  %, avec une photopériode de 16 : 8 h (L : O), pendant deux années sur des feuilles d'artichaut et de pomme de terre.

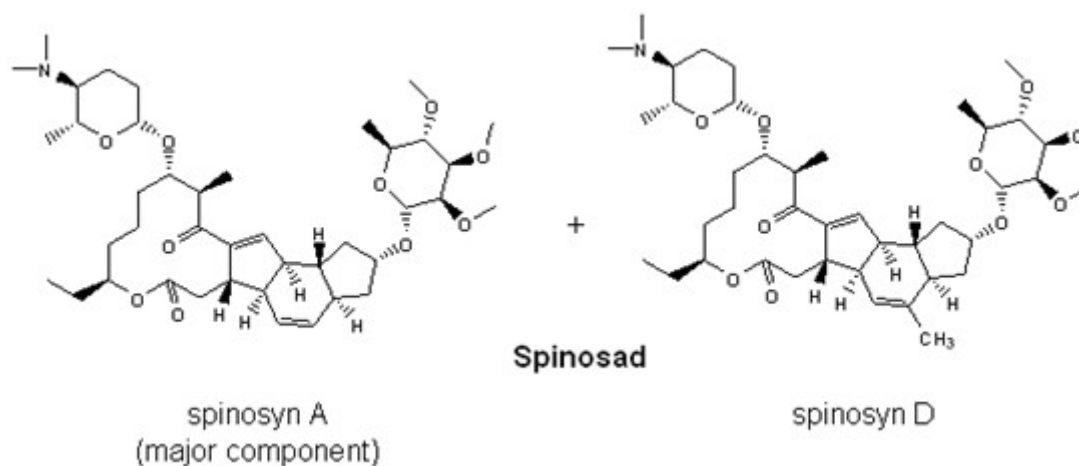
### **6.2.2. Les bioinsecticides et leurs caractéristiques**

Nous avons utilisé deux insecticides d'origine biologique qui sont le Spinosad connu sous le nom commercial Tracer® et *Bacillus thuringiensis var. kustaki* dont le nom commercial est Halt®.

#### **6.2.2.1. Spinosad**

Le Spinosad commercialisé par Dow Agrosiences est un insecticide de la famille des Naturalytes d'origine naturelle utilisé pour lutter contre de nombreuses espèces d'insectes nuisibles aux cultures (Thompson *et al.*, 2000). L'activité du Spinosad est attribuée aux métabolites spinosynes A et D, qui sont des produits de fermentation de la bactérie actinomycète du sol *Saccharopolyspora spinosa*. Il est toxique pour les insectes par ingestion ou par contact, il agit sur le système nerveux des insectes qui présentent des contractions musculaires involontaires et des tremblements, suivis par une paralysie (Salgado, 1998). La formule chimique de ce produit est montrée dans la figure 53.





**Figure 53** : Structure chimique du Spinosad (Thompson *et al.*, 1997).

### 6.2.2.2. *Bacillus thuringiensis* var. *kustaki*

*Bacillus thuringiensis* de sérotype *kurstaki* (*Btk*) est un groupe de bactéries utilisé comme agent de lutte biologique contre les lépidoptères. *Btk* avec d'autres produits de *B. thuringiensis*, est l'un des pesticides biologiques les plus utilisés en raison de sa grande spécificité. Il est efficace contre les lépidoptères et n'a que peu d'effet sur les espèces non ciblées. Au cours de la sporulation, *Btk* produit une protéine cristalline qui est mortelle pour les larves de lépidoptères (Adang *et al.*, 1985). Une fois ingérée par l'insecte, la dissolution du cristal permet à la protoxine d'être libérée. La toxine est ensuite activée par le suc intestinal des insectes et commence à dégrader l'intestin (Choma *et al.*, 1990). La bactérie produit des spores et des cristaux protéiques. Ces derniers sont responsables de la mort du lépidoptère. La libération des cristaux n'a lieu que dans des conditions chimiques et biologiques très spécifiques ( $\text{pH} > 9$ ). Les très petites protéines endommagent la paroi intestinale du ravageur en la perforant, les spores bactériennes pénètrent alors à l'intérieur de l'organisme et s'y multiplient. Le métabolisme du ravageur est perturbé, il va arrêter de se nourrir, stoppant ainsi les dégâts sur la plante. Le Lépidoptère meurt deux à cinq jours après avoir ingéré la bactérie. On observe alors quelques spécimens paralysés et morts, qui pendent aux feuilles, fixés par leurs crochets (Choma *et al.*, 1990).

### 6.2.3. Essai des biopesticides

Des larves de quatrième stade ayant un poids corporel allant de 40 à 60 mg ont été utilisées pour les essais. Des disques de feuilles d'artichaut (5 cm de diamètre) ont été plongés dans les solutions à tester pendant 5 secondes avec une agitation douce. Ils ont été laissés à

sécher en surface sur une serviette en papier, puis placés dans des boîtes de Pétri contenant du papier-filtre humidifié pour éviter la dessiccation des feuilles. Les larves ont été transférées sur les disques foliaires ; soit dix larves de quatrième stade par traitement. Chaque traitement a été répété trois fois, le même nombre de disques foliaires par traitement a été plongé dans de l'eau distillée est considéré comme témoin, dans un bloc complètement aléatoire (Ahmad *et al.*, 2007). La mortalité des larves a été enregistrée 24 heures, 48 h et 72 h après l'application des insecticides. Les insectes étaient considérés comme morts s'ils ne répondaient pas à la stimulation par le touché avec une pince.

Des séries de dilutions de chaque insecticide à tester ont été préparées en utilisant de l'eau distillée, Six doses de Spinosad (2 ; 6 ; 12 ; 24 ; 48 et 144 µg/ml) et cinq doses de *Btk* (108 ; 270 ; 540 ; 1080 et 1620 µg/ml) ont été testées afin de calculer les valeurs de DL<sub>50</sub> et de DL<sub>90</sub>.

La toxicité des insecticides a été comparée sur la base d'une comparaison des limites de confiance de 95 % de la valeur de la DL<sub>50</sub>. Si le taux de confiance de 95 % était supérieur à 1, la différence entre les DL<sub>50</sub> était alors considérée comme significative (Robertson *et al.*, 2007).



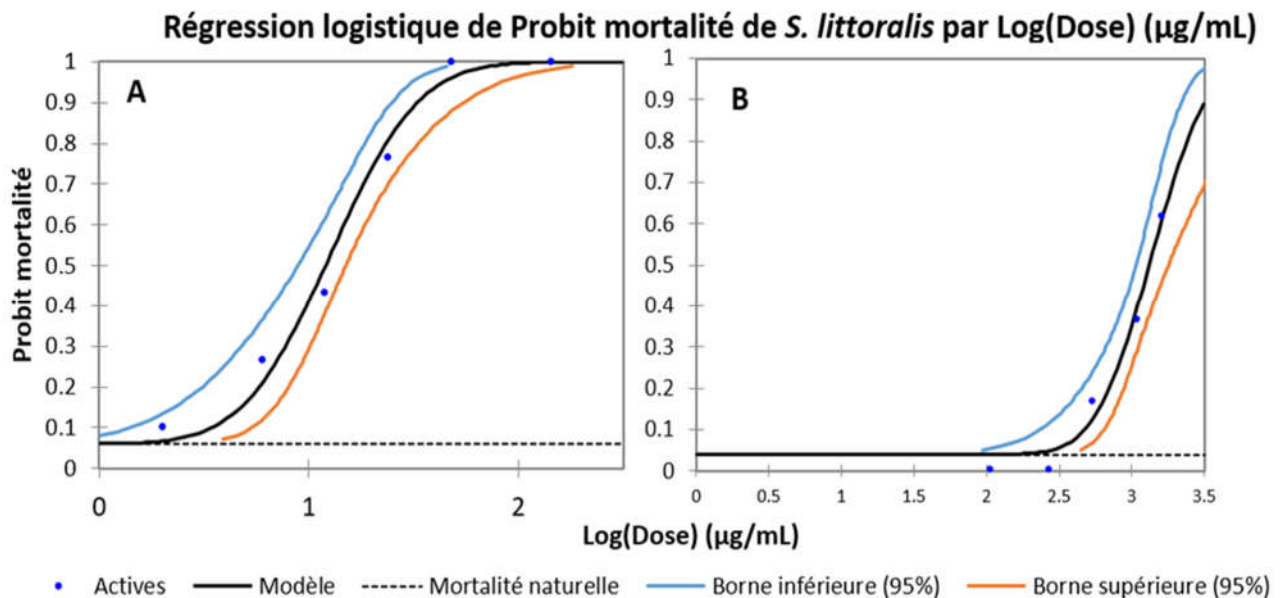
**Figure 54.** Larve de *Helicoverpa armigera* déposée sur un disque de feuille d'artichaut après traitement

### **6.3. Analyses statistiques**

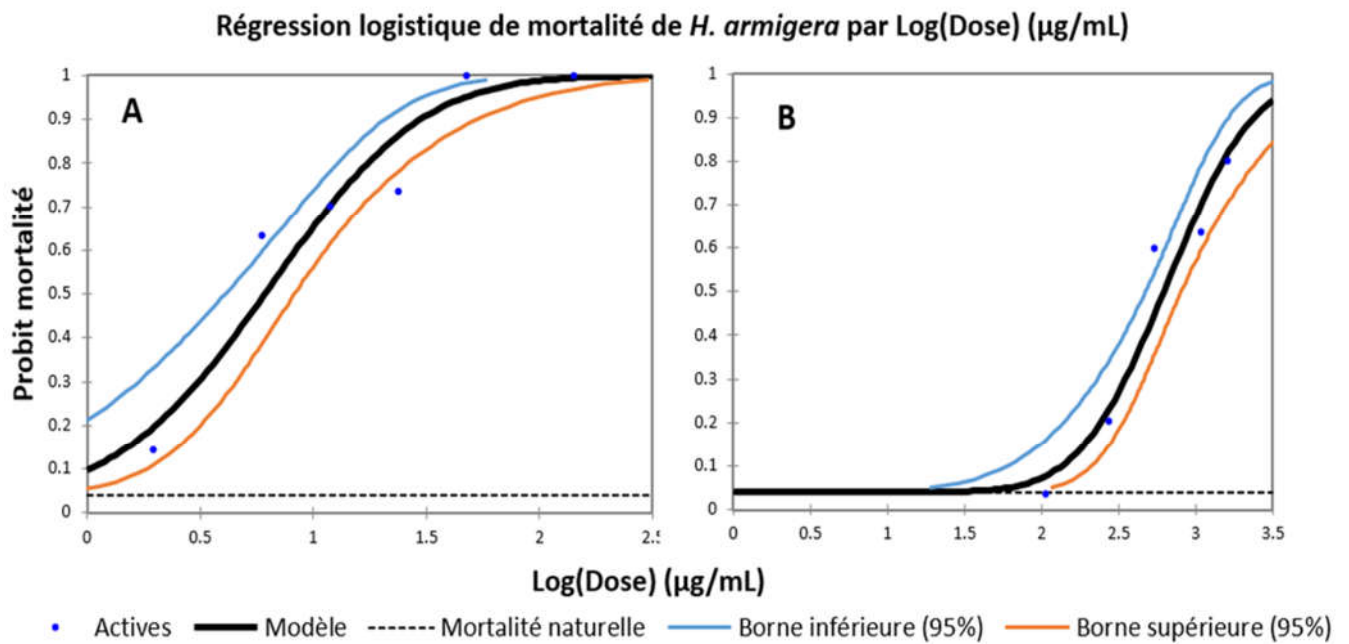
Les données obtenues ont été analysées statistiquement par ANOVA (XLSTAT 2014). Lorsque le test F était significatif, les moyennes ont été séparées à l'aide du test de Fisher LSD au seuil de signification de 0,05. L'analyse Probit (Xlstat 2014) a été utilisée pour estimer la DL<sub>50</sub> et la DL<sub>90</sub> de chaque produit.

#### 6.4. Résultats

Les larves du 4<sup>ème</sup> stade larvaire de *S. littoralis* et *H. armigera* étaient sensibles à Spinosad et *Btk* (formulations commerciales). Des données significatives de la dose-mortalité issues de l'analyse de régression probit ont été utilisées pour estimer la DL<sub>50</sub> du spinosad et du *Btk*. Les valeurs estimées de DL<sub>50</sub> des deux produits testés pour 72 h sont de 11,997 µg/mL (8,885 – 14,99) pour spinosad et 1375,37 (1070,1 – 1787,19) pour *Btk* chez *S. littoralis* et pour les valeurs de la toxicité de ces produits sur *H. armigera* étaient 6,109 µg/mL (4,083 – 8,269) et 620,613 µg/mL (472,3 – 805,59), respectivement. Les résultats des essais dose-réponse pour Spinosad et *Btk* utilisant des larves du 4<sup>ème</sup> stade sont présentés dans les tableaux 13 et 14 et les figures 55 et 56. Le Spinosad était plus toxique que *Btk* contre les larves de *S. littoralis* et *H. armigera*, ce qui indique que ces larves étaient plus tolérantes au *Btk*.



**Figure 55.** Courbes dose-réponse basées sur la mortalité des larves de *S. littoralis* après 72h  
(A) Courbe du Spinosad et (B) Courbe de *Bacillus thuringiensis* Kurstaki (Btk)



**Figure 56.** Courbes dose-réponse basées sur la mortalité des larves de *H. armigera* après 72h  
(A) Courbe du Spinosad et (B) Courbe de *Bacillus thuringiensis* Kurstaki (Btk)

Spinosad a montré une courbe dose-réponse relativement forte (figure 55 et 56). La pente des droites de régression de toxicité de Spinosad est élevée, à la fois chez *S. littoralis* (0,513) et *H. armigera* (0,411) par rapport au *Btk* ce qui indique que la réponse de la population d'insectes à Spinosad est plus élevée que l'autre bioinsecticide testé. Cela suggère que l'utilisation de doses plus élevées de Spinosad entraînerait non seulement une augmentation substantielle de la mortalité de l'organisme nuisible, mais également une augmentation potentielle de la pression de sélection conduisant au développement de la résistance. Le *Btk* avait un  $\chi^2$  inférieur à celui du Spinosad pour les deux espèces de noctuelle (tableau 13, 14), ce qui indique une réponse homogène de la population à l'exposition continue au *Btk*. Le coefficient de détermination des droites de régression dose-réponse ( $R^2$ ) a également montré une forte corrélation entre les concentrations d'insecticides et la réponse de la population indiquant que la population testée était homogénéisée.

Le degré de mortalité des larves de *S. littoralis* et *H. armigera* augmentait avec la concentration de Spinosad, les données sur la mortalité indiquaient un bon ajustement au modèle probit (Figure 55 et 56).

Tableau 13. Valeurs DL<sub>50</sub> et DL<sub>90</sub> de Spinosad et *Btk* chez les larves de quatrième stade de *H. armigera*

Produit	n	Pente ± SE	DL <sub>50</sub> µg/mL (LC 95 %)	DL <sub>90</sub> µg/mL (LC 95 %)	χ <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>
<b>Spinosad</b>	30	0,411±0,15	6,109 (4,083 - 8,269)	14,52 (12,816 - 26,104)	5,18	0,915
<b><i>Btk</i></b>	30	0,238 ±0,18	620,613 (472,3 - 805,59)	1145,04 (1111,85 - 2487,458)	3,13	0,694

Tableau 14. Valeurs DL<sub>50</sub> et DL<sub>90</sub> de Spinosad et *Btk* chez les larves de quatrième stade de *S. littoralis*

Produit	n	Pente ± SE	DL <sub>50</sub> µg/mL (LC 95%)	DL <sub>90</sub> µg/mL (LC 95%)	χ <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>
<b>Spinosad</b>	30	0,513±0,05	11,997 (8,885-14,99)	32,817 (24,806-54,372)	0,51	0,914
<b><i>Btk</i></b>	30	0,152±0,11	1375,37 (1070,1-1787,19)	2102,261 (1797,23-4735,41)	0,27	0,472

Les données présentées dans les tableaux 15 et 16 montrent l'effet de différentes concentrations des deux bioinsecticides testés sur les larves du 4<sup>ème</sup> stade larvaire de *S. littoralis* et *H. armigera* à 24, 48 et 72 heures après le traitement. Les résultats montrent des différences significatives entre les concentrations de chaque produit sur les larves du 4<sup>ème</sup> stade de *S. littoralis* et *H. armigera*. La dose de 144 et 48 µg/ml de Spinosad provoquait le taux de mortalité le plus élevé par rapport aux autres doses avec un taux de 100 % pour les deux insectes.

L'insecte *H. armigera* a montré une sensibilité plus élevée au Spinosad avec un taux de mortalité de 100 % pour les doses 24, 48 et 144 µg/ml.

De l'autre côté, *Btk* a montré des effets significatifs sur la mortalité des larves des deux noctuelles. Les taux de mortalité observés chez *S. littoralis* et *H. armigera* étaient plus faibles que ceux enregistrés avec le Spinosad. Le *Btk* n'a enregistré aucune mortalité pour les petites doses et le taux enregistré pour les doses élevées n'a pas dépassé les 60 %. Les résultats obtenus indiquent que le taux de mortalité du 4<sup>ème</sup> stade de *S. littoralis* et *H. armigera* augmente graduellement avec l'augmentation de la concentration et du temps d'exposition aux deux bioinsecticides.

La comparaison entre l'effet des doses élevées de Spinosad et *Btk* montre un effet hautement significatif entre les deux produits et que le Spinosad a une efficacité très élevée par rapport à *Btk* (Figure 55, 56).

Tableau 15 : Effet de différentes doses de Spinosad et Btk sur la mortalité des larves de *S. littoralis*

Produit	Concentration	Nombre de larves Testées	Taux de mortalité		
			24h	48h	72h
<b>Spinosad (ml/L)</b>	Témoin	30	3,332±0,19f	3,332±0,19 g	6,663±0,12f
	2	30	0 g	6,663±0,12 f	10,083±0,55 <sup>e</sup>
	6	30	6,663±0,12e	16,663±0,14 e	26,687±0,11d
	12	30	16,663±0,14d	50,167±0,30 d	43,553±0,35c
	24	30	23,333±0,32c	65,933±0,21 c	76,443±0,42b
	48	30	40± 0,57b	73,332±0,31 b	100a
	144	30	43,343±0,14a	80,333±0,42 a	100a
	R <sup>2</sup>	/	0,999	1,000	1,000
	<i>f</i>	/	3952,367	15453,067	17914,310
	P> F	/	< 0,0001**	< 0,0001**	< 0,0001**
<b><i>Bacillus thuringiensis kurstaki</i> (gr/L)</b>	Témoin	30	4,160± 0,05b	4,160±0,05d	4,160±0,05d
	108	30	0 c	0 e	0 e
	270	30	0 c	0 e	0 e
	540	30	0 c	6,663±0,12c	16,358± 0,28 c
	1080	30	0 c	20,333± 0,42b	40,083± 0,41 b
	1620	30	23,322± 0,16a	46,693± 0,30a	60,443 ± 0,39 a
	R <sup>2</sup>	/	1,000	0,999	0,999
	<i>f</i>	/	16670,814	6827,343	9055,158
	P> F	/	< 0,0001**	< 0,0001**	< 0,0001**

Tableau 16 : Effet de différentes doses de Spinosad et Btk sur la mortalité des larves de *H. armigera*

Produit	Concentration (µg/ml)	Nombre de larves Testées	Taux de mortalité		
			24h	48h	72h
<b>Spinosad (ml/L)</b>	Témoin	30	4,160± 0,05g	4,160±0,05f	4,160±0,05e
	2	30	7,143± 0,26f	14,282±0,12e	35,718±0,54d
	6	30	11,767± 0,22e	64,717± 0,32d	80,952±0,25c
	12	30	17,652± 0,25d	69,733± 0,76c	82,347± 0,37b
	24	30	23,333±0,32c	70,487±0,36c	100a
	48	30	40 ± 0,57b	72,933± 0,40b	100a
	144	30	43,343±0,14a	89,280± 0,31a	100a
	R <sup>2</sup>	/	0,998	0,999	1,000
	<i>f</i>	/	2571,710	6619,697	19728,747
	P> F	/	< 0,0001**	< 0,0001**	< 0,0001**
<b><i>Bacillus thuringiensis kurstaki</i> (gr/L)</b>	Témoin	30	4,160± 0,05b	4,160±0,05d	4,160±0,05e
	108	30	0 c	0 e	0 f
	270	30	0 c	0 e	16,627±0,23 d
	540	30	0 c	18,678±0,21c	23± 0,36 c
	1080	30	0 c	31,585± 0,41b	36,803± 0,27b
	1620	30	6,250± 0,20a	49,533± 0,40a	56,610± 0,15 a
	R <sup>2</sup>	/	0,994	0,999	0,999
	<i>f</i>	/	1027,603	6211,625	9231,361
	P> F	/	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

#### 6.4.1. Effet des doses recommandées sur la mortalité de *S. littoralis* et *H. armigera*

Après 24 h, les données sur l'efficacité des doses recommandées des deux insecticides pour la lutte contre *S. littoralis* et *H. armigera* ont révélé une différence très significative entre les traitements. Les résultats ont montré que Spinosad a provoqué une mortalité statistiquement différente que celle provoquée par *Btk* sur *S. littoralis* (43,343 % et 23,322 % respectivement) et *H. armigera* (43 % et 6,250 %, respectivement). Le taux de mortalité enregistré après 48h du traitement était plus élevé pour les deux produits et pour les deux insectes, Spinosad a provoqué la mortalité de 80,33 % des larves de *S. littoralis* et 89,28 % des larves d'*H. armigera*, alors que le taux de mortalité de *Btk* était de 46,69 % sur *S. littoralis* et 49,53 % sur *H. armigera*.

Les résultats du taux de mortalité des larves de noctuelles après 72 h étaient encourageants avec un taux de 100 % de mortalité par le Spinosad sur les deux espèces, alors que le produit à base de *Bacillus thuriengensis* Kurstaki avait un taux faible par rapport au spinosad avec 60,44 % pour *S. littoralis* et 56,61 % pour *H. armigera* (figure 57, 58).

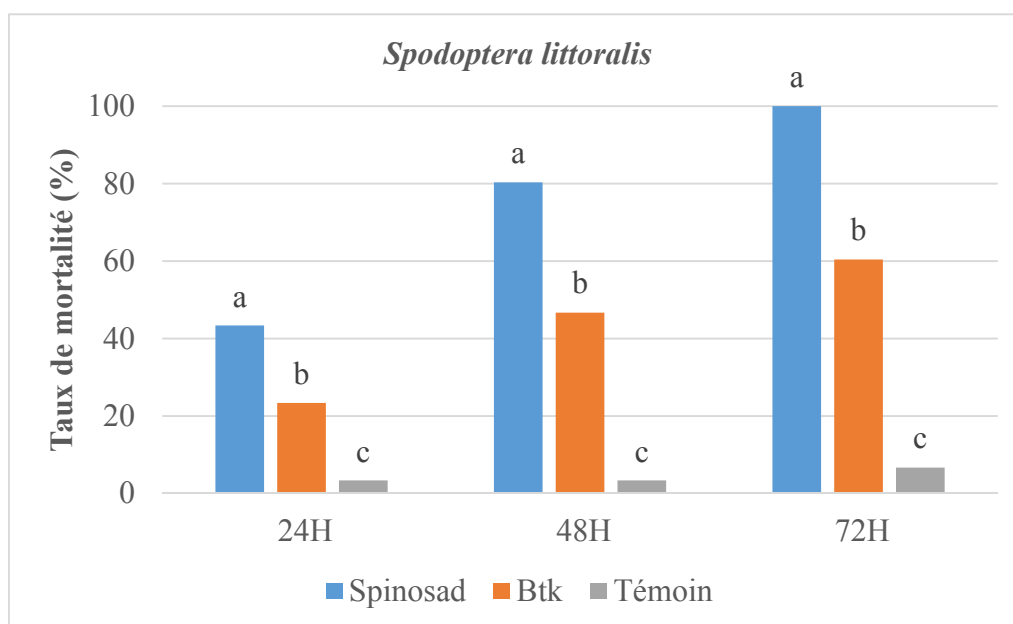
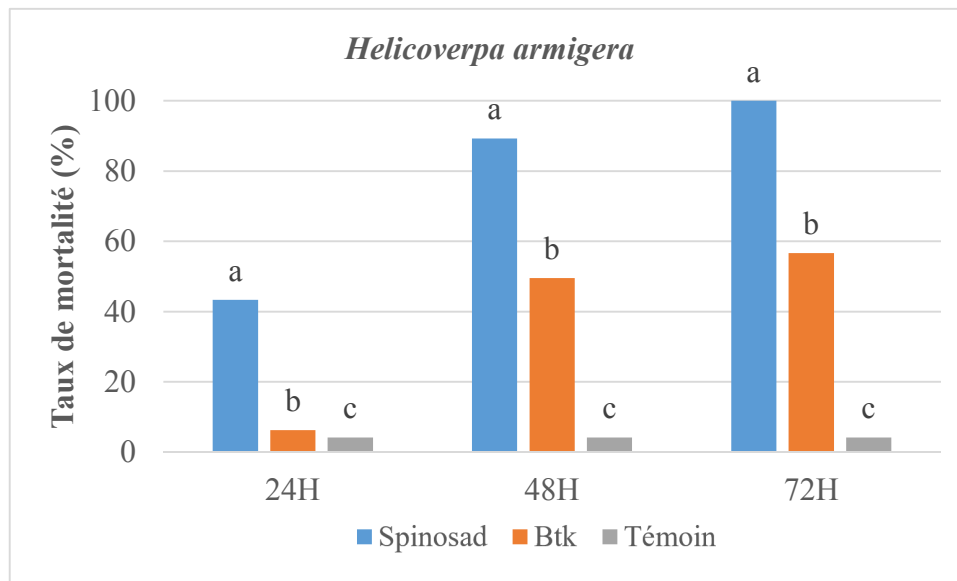


Figure 57 : Effet des doses recommandées sur le taux de mortalité des larves de *S. littoralis*



**Figure 58** : Effet des doses recommandées sur le taux de mortalité des larves de *H. armigera*,

## 6.5. Discussion

Il a été démontré que le Spinosad était un agent efficace de lutte contre les ravageurs (Brickle *et al.*, 2001), en particulier pour lutter contre les Lépidoptères (Wanner *et al.*, 2000). Galvan *et al.* (2005) ont rapporté que le Spinosad a diminué la survie des premiers stades, prolongé le délai de maturation des premiers stades, diminué la prise de poids et réduit la fertilité des femelles de *Harmonia axyridis*. Schneider *et al.* (2004) ont constaté qu'une dose sublétales de Spinosad avait également une incidence sur les paramètres du cycle biologique, tels qu'un retard de développement, une réduction du taux de formation des nymphes, une mortalité nymphale, une longévité adulte et une émergence adulte chez des larves de troisième stade de l'endoparasitoïde *Hyposoter didymator*.

La présente étude a démontré que le Spinosad et le Btk avaient des effets considérables sur la mortalité du ver des feuilles de coton *S. littoralis* et la noctuelle de tomate *H. armigera*, lorsque les larves du quatrième stade étaient nourries de feuilles traitées avec différentes concentrations des deux produits pendant seulement 72 h.

L'efficacité des biopesticides pour contrôler les larves de *S. littoralis* et *H. armigera* a été évaluée par la détermination de la DL<sub>50</sub> et DL<sub>90</sub>. Le temps de mortalité est un bon signe de l'efficacité accumulative du produit. L'augmentation du temps de mortalité avec l'augmentation de la durée après le traitement indique que l'efficacité et la stabilité des insecticides diminuent



avec le temps et montre la nécessité de procéder à de nouvelles applications sur le terrain si les insectes nuisibles sont toujours présents.

Dans cette étude, les effets comparatifs de Spinosad et de *Btk* ont été déterminés sur le 4<sup>ème</sup> stade larvaire de *S. littoralis* et de *H. armigera* pour montrer leur efficacité sur ces insectes nuisibles qui provoquent des dégâts importants. Spinosad a montré plus d'efficacité sur les essais au laboratoire pour le 4<sup>ème</sup> stade larvaire des deux insectes testés en terme de toxicité et de rapidité d'action par rapport au *Btk*. Ces données concordent avec les résultats d'Abouelghar *et al.* (2013) et Aydin et Gurkan (2006) lorsqu'ils ont testé l'effet direct de Spinosad sur le développement des larves de *S. littoralis*, et avec ceux de Ghosh *et al.* (2009) et Wang *et al.* (2009) sur *H. armigera*. Leurs résultats ont montré que le Spinosad avait plus d'effets toxiques sur les stades larvaires testés. Les données obtenues suggèrent que le Spinosad est un insecticide hautement toxique contre *S. littoralis* et *H. armigera*. Les valeurs de DL<sub>50</sub> après 72 h sur les larves du 4<sup>ème</sup> stade de ces ravageurs étaient aussi faibles que 11,997 et 6,109 µg/ml, respectivement. Cette suggestion est conforme à celle de Wang *et al.* (2009) qui ont signalé une toxicité élevée du Spinosad vis-à-vis des Lépidoptères.

Osman et Mahmoud (2009) ont signalé que Spinosad était un composé potentiellement efficace pour lutter contre *S. littoralis*. Osman et Mahmoud (2009) ont obtenu une mortalité des larves de *S. littoralis* par *Btk* de 40,0 %, ces résultats sont similaires à nos résultats (46,69 %). Il a été constaté que *Btk* avait une toxicité remarquablement similaire à l'égard de deux espèces de noctuelles économiquement importantes, à savoir la noctuelle de la betterave *Spodoptera exigua* (Wang *et al.*, 2012) et la légionnaire d'automne *Spodoptera frugiperda* (Polanczyk *et al.*, 2000).

De l'autre part, le produit *Btk* de la présente étude, a montré qu'il existe des taux de mortalité des larves du quatrième stade de *H. armigera* proches des niveaux de contrôle acceptables. Selon Aggarwal *et al.* (2006) *Bt* a entraîné des taux de mortalité de *H. armigera* de 50 % pour les larves du deuxième stade.

La faible efficacité de certains biopesticides a été signalée par Ankali *et al.* (2010), Ankali *et al.*, (2011) et Sreekanth et Seshamahalakshmi (2012). Les derniers auteurs ont rapporté que le Spinosad a présenté un taux de 100 % de mortalité alors que *B. thuringiensis* un taux de 70 % de mortalité.

Jayashri *et al.* (2008), Mohapatra et Srivastava (2008), Singh et Yadav (2006) et Gundannavar *et al.* (2004) ont également constaté que le pourcentage de dégâts causés par *H. armigera* à la récolte était le plus faible chez le Spinosad et indiquait que tous les insecticides chimiques étaient supérieurs au biopesticide *Bt* avec des rendements élevés. Sunitha *et al.*

(2008) ont indiqué que le Spinosad était efficace contre les larves de 3<sup>ème</sup> stade de *Maruca vitrata* (Lepidoptera: Crambidae). Le biopesticide à base de *Bacillus thuringiensis* était modérément efficace (Nahar *et al.*, 2004). Prabhakara et Srinivasa (1998) ont signalé que les formulations de *Bt* n'entraînaient que 58,72 % de mortalité des larves du troisième stade après un jour d'application. Ses recherches confirment nos résultats pour les deux insectes étudiés et montrent que le Spinosad a une efficacité supérieure à celle de *Btk*.

## **6.6. Conclusion**

En conclusion, les effets comparatifs du Spinosad et *Btk* sur le quatrième stade larvaire de *S. littoralis* et *H. armigera* indiquent que le Spinosad pourrait tuer les larves des deux insectes plus efficacement que le produit à base de *Btk*. Le Spinosad sera probablement plus efficace sur le terrain par rapport aux autres insecticides. Les résultats ont montré que le Spinosad était très efficace dans le contrôle de *S. littoralis* et *H. armigera*. La présente expérience a montré la forte efficacité du Spinosad (100 % de mortalité) sur *S. littoralis* et *H. armigera* appliqué à des doses élevées, ce qui a permis d'obtenir un contrôle complet. Les informations basées sur ces résultats aideront à calculer avec précision la posologie des bioinsecticides testés pour un contrôle efficace de *S. littoralis* et de *H. armigera*, partant, à éviter les pertes économiques dues aux erreurs de calcul de la dose d'insecticide. En outre, ces données faciliteraient une meilleure intégration des bioinsecticides dans un programme de lutte intégrée contre les ravageurs ciblés en Algérie. Encore des tests sur le terrain doivent confirmer les résultats et étudier de manière approfondie leur efficacité sur le terrain et leurs effets secondaires sur l'environnement et les ennemis naturels afin de déterminer leurs performances et leurs compatibilités avec les programmes de lutte intégrée.

# **CONCLUSION GENERALE**

## CONCLUSION GENERALE

La présente recherche a permis d'étudier deux ravageurs appartenant à la famille des noctuelles qui causent des dégâts très importants, les dégâts provoqués par ces insectes peuvent aller jusqu'à la perte totale de la production. Ce travail a été consacré à l'identification des ravageurs, à l'étude bioécologique des espèces d'insectes et des tests de lutte contre les principales espèces. L'élevage en masse des larves au laboratoire a montré que *Spodoptera littoralis* et *Helicoverpa armigera* sont des ravageurs polyphages et peuvent causer des dégâts dans les parcelles de plusieurs cultures légumières. Au début de l'étude, l'observation des nervations alaires des espèces a permis de confirmer l'identification des insectes ravageurs comme étant *Spodoptera littoralis* Boisduval et *Helicoverpa armigera* Hübner (Lepidoptera : Noctuidae). L'étude de la bio écologie des ravageurs sur plusieurs plantes hôtes a permis une meilleure connaissance de l'effet de l'hôte sur la durée de développement de différents stades, la longévité et la fécondité des adultes, le nombre des stades larvaires, le taux de survie et le nombre de générations ainsi que sur les paramètres démographiques des populations.

L'alimentation joue un rôle important dans le comportement et la biologie des noctuelles. Les noctuelles étudiées dans la présente étude préfèrent des plantes hôtes bien déterminées mais sont capables de se nourrir de n'importe quelle autre plante en leur absence. La polyphagie des larves nous a permis de les élever au laboratoire en leur présentant comme nourriture les feuilles de quatre différentes cultures. Les larves se sont adaptées sur toute la nourriture présentée mais elles ont montré une préférence pour certaines cultures par rapport à d'autres, l'étude des indices nutritionnels des deux espèces d'insectes a confirmé la résistance ou la sensibilité des plantes vis-à-vis des larves des ravageurs.

En matière de lutte, la lutte chimique conventionnelle contre les larves de *S. littoralis* et *H. armigera*, reste pour le moment la seule alternative en utilisant des pesticides. Une protection intégrée par l'utilisation des pesticides biologique peut remplacer les insecticides classiques. La présente étude a démontré que le Spinosad et *Btk* avaient des effets considérables sur la mortalité des larves du ver des feuilles de coton et de la noctuelle de tomate, lorsque les larves du quatrième stade étaient nourries de feuilles traitées avec différentes concentrations des deux produits pendant seulement 72 h. L'efficacité des biopesticides pour contrôler les larves de *S. littoralis* et *H. armigera* a été évaluée par la détermination de la DL<sub>50</sub> et DL<sub>90</sub>. Le temps de mortalité est un bon signe de l'efficacité accumulative du produit.

La lutte contre *S. littoralis* et *H. armigera* est exclusivement chimique ce qui pose des problèmes de santé humaine et d'environnement, l'utilisation excessive des insecticides provoque l'apparition de populations résistantes. Il serait, dans ce cas judicieux d'avoir recours à une lutte intégrée par l'utilisation des agents de lutte biologique et des biopesticides qui ne soient pas toxiques vis-à-vis des auxiliaires présents dans l'environnement.

Les informations basées sur ces résultats aideront à mieux comprendre son cycle biologique et sa capacité à survivre sur différentes plantes hôtes. En outre, d'autres expériences sur le terrain et en laboratoire sont nécessaires pour révéler les interactions plante-ravageur, ainsi que des études biochimiques de base pour l'extraction et l'identification de composés phytochimiques.

Ces données faciliteraient une meilleure intégration des biopesticides dans un programme de lutte intégrée contre les ravageurs ciblés en Algérie. Encore des tests sur le terrain doivent confirmer les résultats et étudier de manière approfondie leur efficacité et leurs effets secondaires sur l'environnement et les ennemis naturels afin de déterminer leurs performances et leur compatibilité avec les programmes de lutte intégrée.

# **Références bibliographiques**

- **Abdel-Fattah, M.I., Salem, Y.S. and Abdel-Megeed, M.I. 1977.** Effect of larval diet on the development and fecundity of the cotton leafworm, *Spodoptera littoralis* (Boisd.). Zeitschrift für Angewandte Entomologie, 84: 311-315. doi:10.1111/j.1439-0418.1977.tb04292.x
- **Abo-El-Ghar, M.R., Nassar, M.E., Riskalla, M.R. and Abd-El-Ghafar, S.F. 1986.** Rate of development of resistance and pattern of cross-resistance in fenvalerate and decamethrin-resistant strains of *Spodoptera littoralis*. Agricultural Research Review, 61: 141-145.
- **Abouelghar, G. E., Sakr, H., Ammar, H. A., Yousef, A., and Nassar, M. 2013.** Sublethal effects of Spinosad (Tracer®) on the cotton leafworm (Lepidoptera: Noctuidae). Journal of Plant Protection Research, 53(3): 275-284. <https://doi.org/10.2478/jppr-2013-0041>
- **Adamski, Z., Ziemnicki, K., Fila, K., Zikic, R. V. and Stajn, A. 2003.** Effects of Longterm Exposure to Fenitrothion on *Spodoptera exigua* and *Tenebrio molitor* Larval Development and Antioxidant Enzyme Activity. Biol. Lett., 40: 43-52.
- **Adang, M.J.; Staver, M.J.; Rocheleau, T.A.; Leighton, J.; Barker, R.F. and Thompson, D.V., 1985.** "Characterized full-length and truncated plasmid clones of the crystal protein of *Bacillus thuringiensis* subsp. kurstaki HD-73 and their toxicity to *Manduca sexta*". Gene. 36 (3): 289–300. doi :10.1016/0378-1119(85)90184-23000881
- **Adebayo, A. and Omoloyo, S. V. 2007.** Abundance of 24-methylenecholesterol in Traditional African Rice as an Indicator of Resistance to the African Rice Gall Midge, *Orseolia oryzivora* Harris and Gagne. Entomol. Sci., 10:249-257.
- **Adham, F.K., Eman M.R., Ibrahim F.S. and Enas, E.N. 2009.** Host plants shifting affects the biology and biochemistry of *Spodoptera littoralis* (Boisd.) (Lepidoptera: Noctuidae). Egypt. Acad. J. biolog. Sci., 2(1): 63-71.
- **Afify, A.M., El-Kady, M.H. and Zaki, F.N. 1970.** Biological studies on *Spodoptera* (*Laphygma*) *exigua* Hbn. in Egypt, with record of five larval parasites. Journal of Applied Entomology, 66: 362–368.
- **Aggarwal, N., Holaschke, M. and Basedow, T. 2006.** Evaluation of bio-rational insecticides to control *Helicoverpa armigera* (Hübner) and *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) fed on *Vicia faba* L.

- **Ahmad T.R. 1988.** Field studies on sex pheromone trapping of cotton leafworm *Spodoptera littoralis* (Boid.) (Lep., Noctuidae). Journal of Applied Entomology, 105:212-215.
- **Ahmad M., Arif M.I. and Ahmad M. 2007.** Occurrence of insecticide resistance in field populations of *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) in Pakistan. Crop Protection, 26: 809–817.
- **Akca, I., Ayvaz, T., Yazici, E., Smith, C.L. and Chi, H. 2015.** Demography and population projection of *Aphis fabae* (Hemiptera: Aphididae): with additional comments on life table research criteria. J. Econ. Entomol., 108:1466-1478. doi:10.1093/jee/tov187.
- **Akrami, M., Golzary, H. and Ahmadzadeh, M. 2011.** Evaluation of Different Combinations of Trichoderma Species for Controlling Fusarium Rot of Lentil. African Journal of Biotechnology, 14: 2653-2658.
- **Alfazairy, A.A., El-Ahwany. A.M., Mohamed, E.A., Zaghloul, H.A. and El-Helow, E.R. 2013.** Microbial control of the cotton leafworm *Spodoptera littoralis* (Boisd.) by Egyptian *Bacillus thuringiensis* isolates. Folia Microbiologia (Praha), 58: 155-62.
- **Ali, A. and Gaylor, M.J. 1992.** Effects of temperature and larval diet on development of the beet armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). Environmental Entomology, 21:780-786.
- **Al-Shannaf, H.M.H. 2011.** Estimated food consumption and feeding effect with different host plants on the development and reproductive capacity of *Spodoptera littoralis* (boisd.) (lepidoptera: noctuidae). Egyptian Academic Journal of Biological Sciences, A, Entomology, 4(2):1-8. DOI: 10.21608/EAJBSA.2011.15159.
- **Amer, A. E. A., & El-Sayed, A. A. A. 2014.** Helicoverpa armigera (Hübner)(Lepidoptera: Noctuidae) Development and Growth Index. Journal of entomology, 11(5), 299-305.
- **Ankali, S.M., Jadhav, Y.T., Jadhav, K.A. and Barkade, D.P. 2011.** Study of relative toxicity of synthetic insecticides and biopesticides to *Maruca vitrata* on pigeonpea. International Journal of Plant Protection, 4(1): 156-157.
- **Ankali, S.M., Patil, C.S., Jadhav, K.A. and Jadhav, Y.T. 2010.** Studies on relative toxicity of synthetic insecticides and biopesticides to *Maruca vitrata* on pigeonpea. Journal of Maharashtra Agricultural Universities, 35(1): 145-146



- **Atwa, A.A. 2014.** Susceptibility of *Spodoptera littoralis* (Boisd.) to treated entomopathogenic rhabdities, *Heterorhabditis bacteriophora* and *Steinernema* sp. by different pesticides. *Journal of Biopesticides*, 6: 149-159
- **Awmack, C.S. and Leather, S.R. 2002.** Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. *Annual Review of Entomology*, 47:817-844.
- **Aydin, M.H. and Gurkan, M.O. 2006.** The efficacy of spinosad on different strains of *Spodoptera littoralis* (Boisduval) (Lepidoptera: Noctuidae). *Turk. J. Biol.*, 30 (1): 5–9.
- **Azab, S.G., Sadek, M.M. and Crailsheim, K. 2001.** Protein metabolism in larvae of the cotton leaf-worm *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera: Noctuidae) and its response to three mycotoxins. *Environmental Entomology*, 30:817- 823.
- **Azidah, A.A. and Sofian-Azirum, M. 2006.** Life history of *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) on various host plants. *B. Entomol. Res.*, 96:613-618.
- **Baghery, F., Fathipour, Y. and Naseri, B. 2013.** Nutritional indices of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) on seeds of five host plants. *Applied Entomology and Phytopathology*, 80: 19-27.
- **Bajwa, W. & M. Kogan. 2002.** Online resources for IPM information delivery and exchange. In *Integrated pest management in the global arena*, CABI (UK), in press.
- **Baidoo, Paul & Mochiah, M. 2016.** Comparing the Effectiveness of Garlic (*Allium sativum* L.) and Hot Pepper (*Capsicum frutescens* L.) in the Management of the Major Pests of Cabbage *Brassica oleracea* (L.). *Sustainable Agriculture Research*. 5. 83. 10.5539/sar.v5n2p83.
- **Barkou, H., Benzehra, A. and Saharaoui, L. 2017.** Diversity of Moths (Lepidoptera, Noctuidae) and the Flight Curves of the Main Species in Algeria. *Global Veterinaria*, 18 (3): 158-167.
- **Barton Brown, L. 1995.** Ontogenetic changes in feeding behavior. In: Chapman R. F., Boer Gde. editors. *Regulatory Mechanisms in Insect Feeding*. Chapman and Hall. pp. 307–342.
- **Barton Browne, L. and Raubenheimer, D. 2003.** Ontogenetic changes in the rate of ingestion and estimates of food consumption in fourth and fifth instar *Helicoverpa armigera* caterpillars. *Journal of Insect Physiology*, 49 (1): 63-71.
- **Barzman, M., Bàrberi, P., Birch, A.N.E. et al. 2015.** Eight principles of integrated pest management. *Agron. Sustain. Dev.*, 35: 1199–1215. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0327-9>.

- **Baptista Pereira, L.G.F., Petacci, J. B., Fernandeds, A. G., Correa, P. C., Vieira, Da Silva, M. F. and Malaspina, O. 2002.** Biological activity of astilbin from *Dimorphandra mollis* against *Anticarsia gemmatalis* and *Spodoptera frugiperda*. Pest Management Science, 58 (5): 503-507.
- **Bavaresco, A, Garcia, M.S., Grützmacher, A.D., Foresti, J. e Ringenberg, R. 2002.** Biologia e exigências térmicas de *Spodoptera cosmioides* (Walk.) (Lepidoptera: Noctuidae). Neotrop Entomol., 31:49-54.
- **Bhatt, N. J. and Patel, P. K. 2001.** Biology of chickpea pod borer, *Helicoverpa armigera*. Indian Journal of Entomology, 63(3): 255-259.
- **Blackford, M.J.P., Clarke, B.S. and Dinan, L. 1997.** Distribution and metabolism of exogenous ecdysteroids in the Egyptian cotton leafworm *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera: Noctuidae). Archives of Insect Biochemistry and Physiology, 34:329-346.
- **Błaszczuk, L., Siwulski, M., Sobieralski, K., Lisiecka, J. and Jędryczka, M. 2014.** *Trichoderma* spp.—Application and Prospects for Use in Organic Farming and Industry. Journal of Plant Protection Research, 4: 309-317
- **Borah, S.R. and Dutta, S.K. 2002.** Biology of gram pod borer, *Helicoverpa armigera* (Hub.) on pigeon pea. J Agric Sci Soc North-East India, 15:34–37
- **Brambila, J. 2009.** Dissection instructions for identifying male *Helicoverpa armigera* and *H. zea*. <http://caps.ceris.purdue.edu/dmm/551>
- **Brandsæter, L.O., Netland, J. and Meadow, R. 1998.** Yields, weeds, pests and soil nitrogen in a white cabbage - living mulch system. Biological Agriculture and Horticulture, 16:291-309.
- **Brickle, D.S., Turnipseed, S.G. and Sullivan, M.J. 2001.** Efficacy of insecticides of different chemistries against *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae) in transgenic *Bacillus thuringiensis* and conventional cotton. J. Econ. Entomol., 94 (1): 86–92
- **Brown, E.S. and Dewhurst, C.F. 1975.** The genus *Spodoptera* in Africa and the Near East. Bulletin of Entomological Research, 65:221-262.
- **Brunner, K., Zeilinger, S., Ciliento, R., Woo, S.L., Lorito, M., Kubicek, C.P. and Mach, R.L. 2005.** Improvement of the fungal biocontrol agent *Trichoderma atroviride* to enhance both antagonism and induction of plant systemic disease resistance. Applied and environmental microbiology, 71(7), 3959–3965. doi:10.1128/AEM.71.7.3959-3965.

- **Butler Jr, G.D. and Henneberry, T.J. 1990.** Cottonseed oil and Safer insecticidal soap: Effects on cotton and vegetable pests and phytotoxicity. *Southwestern Entomologist*, 15:257-264.
- **Chandler, D., Bailey, A., Tatchell, M., Prince, G., Greaves, J., Grant, W. 2011.** The development, regulation and use of biopesticides for integrated pest management. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*. 366. 1987-98. 10.1098/rstb.2010.0390.
- **CABI. 2015.** *Mamestra brassicae* (cabbage moth). In: *Crop Protection Compendium*. Wallingford, UK: Commonwealth Agricultural Bureau International (CABI). Accessed May 17, 2016 from: <http://www.cabi.org/cpc/datasheet/8491>
- **CABI. 2018.** *Crop Protection Compendium*. Commonwealth Agricultural Bureau, International. <http://www.cabicompendium.org/>.
- **Cayrol, R.A. 1972.** Famille des Noctuidae. In Balachowsky A.S., *Traité d'Entomologie Appliquée à l'Agriculture. Lépidoptères Zygaenoidea, Pyraloidea, Noctuoidea*. Ed. Masson et Cie, Paris, Tome 2, Vol. 2, p.p. 1255-1520.
- **Champion, D.G., Brettany, B.W., McGinnigle, J.B. and Tailor, L.R. 1997.** The distribution and migration of *Spodoptera littoralis* (Boisduval) (Lepidoptera: Noctuidae), in relation to meteorology on Cyprus, interpreted from maps of pheromone trap samples. *Bulletin of Entomological Research*, 64:339-363.
- **Chen, X., Zhang, W.J., Wong, J., Chun, G., Lu, A., McCutchen, B.F., Presnail, J.K., Herrmann, R., Dolan, M., Tingey, S., Hu, Z.H. and Vlak, J.M. 2002.** Comparative analysis of the complete genome sequences of *Helicoverpa zea* and *Helicoverpa armigera* single-nucleocapsid nucleopolyhedroviruses. *J. Gen. Virol.*, 83, 673-684.
- **Chen, Y., Ruberson, J.R. and Olson, D.M. 2008.** Nitrogen fertilization rate affects feeding, larval performance, and oviposition preference of the beet armyworm, *Spodoptera exigua*, on cotton. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 126:244-255.
- **Chi, H. and Liu, H. 1985.** Two new methods for the study of insect population ecology. *Bull Inst Zool Acad Sin.*, 24:225-240.
- **Chi, H. 1988.** Life-table analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals. *Environ Entomol.*, 17:26-34.

- **Chi, H. 2012.** TWOSEX-MSChart: a computer program for the age-stage, two-sex life table analysis. National Chung Hsing University, Taichung Taiwan. <http://140.120.197.173/Ecology/>.
- **Choma, C., Surewicz, W., Carey, P., Pozsgay, M. and Kaplan, H. 1990.** "Secondary structure of the entomocidal toxin from *Bacillus thuringiensis* subsp. kurstaki HD-73". Journal of Protein Chemistry, 9 (1): 87–94. doi:10.1007/BF01024989. PMID 2340079.
- **Collier, R.H., Blood Smyth, J. and Jarret, P. 1996.** Managing caterpillar pests of Brassica crops. IOBC/WPRS Bulletin, 19: 81-88.
- **Correia A.A, Wanderley-Teixeira V, Teixeira A.A., Oliveira, G.G., Gonçalves, M.G., Cavalcanti, F.A., and Alves L.C. 2013** Microscopic analysis of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) embryonic development before and after treatment with azadirachtin, lufenuron, and deltamethrin. Journal of Economic Entomology. Apr;106(2):747-755. DOI: 10.1603/ec12158.
- **Croft, B.A. 1990.** Arthropod Biological Control Agents and Pesticides. John Wiley and Sons Inc., New York, 723 PP.
- **Darvishzadeh, A., Hosseinaveh, V. and Rizi, S.S. 2014.** Enzymatic activity of  $\alpha$ -amylase in alimentary tract *Spodoptera littoralis* (Boisduval) (Lepidoptera: Noctuidae): characterization and compartmentalization. Arthropods, 3: 138–146.
- **Daryaei, G.M., Darvishi S., Etebari K. and Salehi, M. 2007.** Host preference and nutrition efficiency of the gypsy moth, *Lymantria dispar* L. (Lymantriidae: Lepidoptera), on different poplar clones. Turk. J. Agric., 32: 469–476.
- **Delvare, G. and Aberlenc, H.P. 1989.** Les insectes d'Afrique et d'Amérique tropicale. Clés pour la reconnaissance des familles. Éd. PRIFAS / CIRAD-GERDAT, Montpellier, 302 p.
- **De Leo, F. and Gallerani, R. 2002.** The mustard trypsin inhibitor 2 affects the fertility of *Spodoptera littoralis* larvae fed on transgenic plants. Insect Biochemistry and Molecular Biology, 32: 489-496.
- **Delattre, R. 1973.** Pests and diseases in cotton growing. Phytosanitary handbook. Parasites et maladies en culture cotonnière. Manuel phytosanitaire. Paris, Institut de Recherches du Coton et des Textiles Exotiques, France, 146 P.
- **Deravel, J., Krier, F. and Jacques, P. 2014.** Les biopesticides, compléments et alternatives aux produits phytosanitaires chimiques (synthèse

bibliographique)», BASE [En ligne], 18 (2): 220-232. URL : <https://popups.uliege.be:443/1780-4507/index.php?id=11072>.

- **Dimetry, N.Z., El-Gengaihi, S. and Mohamed, S.M. 1998.** The effect of lipoidal matter of neem fruits and leaves on *Spodoptera littoralis* development and reproduction. *Insect Science and its Application*, 18: 325-332.
- **Dhadialla, S., Carlson, R. and Le, P., 1998.** New insecticides with ecdysteroidal and juvenile hormone activity. *Annu. Rev. Entomol.*, 43: 545-569.
- **Dong Wang, Yong-Ming Wang, Hui-Yuan Liu, Zheng Xin, and Ming Xue. 2012.** Lethal and Sublethal Effects of Spinosad on *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae)," *Journal of Economic Entomology* 106(4), 1825-1831, (1 June 2012). <https://doi.org/10.1603/EC12220>.
- **Dodd, S., Lieckfeldt, E. and Samuels, G., 2003.** *Hypocrea atroviridis* sp. nov., the teleomorph of *Trichoderma atroviride*. *Mycologia*, 95(1): 27-40.
- **Du, L., Ge, F., Zhu, S. and Parajulee, M.N. 2004.** Effect of cotton cultivar on development and reproduction of *Aphis gossypii* (Homoptera: Aphididae) and its predator *Propylaea japonica* (Coleoptera: Coccinellidae). *Journal of Economic Entomology*, 97: 1278-1283.
- **Dunkelblum, E. and Gothilf, S. 1983.** Sex pheromone components of the gamma moth, *Autographa gamma* (L.) (Lepidoptera: Noctuidae). *Zeitschrift für Naturforschung*, 38: 1011-1014.
- **Dunkelblum, E. and Gothilf, S. 1985.** Sex attractant blends for field trapping of *Agrotis segetum* males (Lepidoptera: Noctuidae) in Germany. *Zeitschrift für Naturforschung*, 40: 272-277.
- **Duodo, Y. and Biney, F. 1981.** Growth, food consumption and food utilisation of *Spodoptera littoralis* (Boisduval) (Lepidoptera: Noctuidae) on Four food-plants. *Bulletin of Entomological Research*, 71(4): 655-662. doi:10.1017/S000748530001018X
- **Efron, B. and Tibshirani, R.J. 1993.** An introduction to the bootstrap. New York (NY): Chapman and Hall.
- **El-Aw, M.A. and Hashem, M. 2004.** Effect of different hostplants on development and fecundity of the cotton leafworm, *Spodoptera littoralis* (Boisd.) (Lepidoptera: Noctuidae). *J. Agricand. Envir. Sci.*, 3(2): 60-80.

- **OEPP/EPPO, 1981.** Data sheets on quarantine organisms No. 110, *Helicoverpa armigera*. Bulletin OEPP/EPPO 11.
- **EPPO, 1990.** Specific quarantine requirements. EPPO Technical Documents, No. 1008. Paris, France: European and Mediterranean Plant Protection Organization.
- **EPPO/OEPP, 2003.** OEPP/EPPO, Bulletin OEPP/EPPO Bulletin, 33: 289–295.
- **EPPO, 2009.** New data on quarantine pests and pests of the EPPO Alert List. EPPO Reporting Service no. 007 – 2009 Num. article: 2009/142. European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO).
- **EPPO/OEPP, 2014.** Data sheets on quarantine organisms No. 120, *Spodoptera littoralis*. Bulletin EPPO / EPPO Bulletin 11 (1). <http://www.eppo.int/DATABASES/pqr/pqr.htm>
- **EPPO, 2015.** EPPO standards: EPPO A1 and A2 lists of pests recommended for regulation as quarantine pests (PM 1/2(17)). European and Mediterranean Plant Protection Organisation.
- **El-Saadany G.B. and Hamed, A.B. 1991.** Life table studies of the cotton leafworm, *Spodoptera littoralis* (Boisd.) on three different host plants. 4th Nat. Cont. of pests and Dis. of Veg. and Fruits in Egypt.
- **El-Salamouny, S., Lange, M., Jutzi, M., Huber, J. and Jehe, J.A. 2003.** Comparative study on the susceptibility of cutworms (Lepidoptera: Noctuidae) to *Agrotis segetum* nucleopolyhedrovirus and *Agrotis ipsilon* nucleopolyhedrovirus. Journal of Invertebrate Pathology, 84: 75–82.
- **Efil, L. and Kara, K. 2004.** Tachinid parasitoids (Diptera: Tachinidae) of *Spodoptera exigua* in cotton fields in Diyarbakır, Turkey. Phytoparasitica, 32: 363-366.
- **Erasmus, A., Van Rensburg, J.B.J. and Van Den Berg, J. 2010.** Effects of Bt maize on *Agrotis segetum* (Lepidoptera: Noctuidae): a pest of maize seedlings. Environmental Entomology, 39: 702-706.
- **Esbjerg, P. and Sigsgaard, L. 2014.** Phenology and pest status of *Agrotis segetum* in a changing climate. Crop Protection, 62: 64-71.
- **Eveleens K.G., Van Den Bosch R. and Ehler, L.E. 1973.** Secondary outbreak induction of beet armyworm by experimental insecticide applications in cotton in California. Environmental Entomology, 2:497-503.
- **Faraghaly, D., Asmaa, S., El-Sharkawy, Z., Abbas, A., Horia, A., Abdel-Wahab and Hala El-Mewafy, A. 2015.** Biological aspects and life table parameters of the



cotton leaf-worm, *Spodoptera littoralis* (boisd.), on different vegetable host plants. j. Plant Prot. and Path., Mansoura Univ., 6(4): 597-603

- **Farahani, S., Naseri, B. and Talebi, A.A. 2011.** Comparative life table parameters of the beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera, Noctuidae) on five host plants. J. Entomol. Res. Soc., 13(1): 91-101.
- **Fathipour, Y. and Naseri, B. 2011.** Soybean Cultivars Affecting Performance of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). In: Ng, T. B. (Ed.), Soybean-Biochemistry, Chemistry and Physiology. In Tech, Rijeka, Croatia, pp. 599-630. Available from: <http://www.intechopen.com/download/get/type/pdfs/id/15730>.
- **Fathipour, Y., Chegeni, E. and Moharramipour, S. 2018.** Genotype-Associated Variation in Nutritional Indices of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) Fed on Canola. JAST., 20(1) :83-94. URL: <http://journals.modares.ac.ir/article-23-6332-en.html>
- **Fédière, G., Salah, M., El-Mergawy, R., Masri, M., El-Sheikh, M. A. K., Abd-Alla, M. M. A., Bergoin, M., El-Far, M. and Tijssen, T. 2004.** A new densovirus from the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* Hbn (Lepidoptera: Noctuidae) in Egypt. Arabe Journal of Biotechnology, (2): 289-298.
- **Filippov, N. 1982.** Integrated control of pests of vegetable crops grown in the open in Moldavia. Acta Entomologica Fennica, 40:6-9
- **Finch, S. and Thompson, A.R. 1992.** Pests of cruciferous crops. In: McKinlay RG ed. Vegetable Crop Pests. Basingstoke, UK: Macmillan, p.p. 87-138.
- **Finch, S. and Kienegger, M. 1997.** A behavioural study to help clarify how undersowing with clover affects host-plant selection by pest insects of brassica crops. Entomologia Experimentalis et Applicata, 84(2):165-172.
- **Fite, T., Tefera, T., Negeri, M., Damte, T. and Sori, W. 2018.** Management of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) by Nutritional Indices and Botanical Extracts of *Millettia ferruginea* and *Azadirachta indica*. Advances in Entomology, 6: 235-255. <https://doi.org/10.4236/ae.2018.64019>.
- **Fite, T., Tefera, T., Negeri, M., Damte, T., Sori, W. and Hutchison, W.D. 2019.** Comparative Performance of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) on Chickpea and Faba Bean. International Journal of Biology, 11(1):29-41.

- **Fitt, G.P. 1989.** The ecology of *Heliothis* species in relation to agroecosystem. Annual Review of Entomology, 34:17-52.
- **Fiuza, L.M., Nielsen-Leroux, C., Gozé E., Frutos, R. and Charles, J.F. 1996.** Binding of *Bacillus thuringiensis* Cry1 toxins to the midgut brush border membrane vesicles of *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Pyralidae): Evidence of shared binding sites. Appl. Environ. Microbiol., 62:1544-1549.
- **Fisher, R.A. 1930.** The genetical theory of natural selection. London: Clarendon Press.
- **Flint, M.L., and R. van den Bosch. 1981.** *Introduction to Integrated Pest Management*. New York: Plenum Press. 240 pp.
- **Galvan, T.L., Koch, R.I. and Hutchison, W.D. 2005.** Effects of spinosad and indoxacarb on survival, development, and reproduction of the multicolored Asian lady beetle (Coleoptera: Coccinellidae). Biol. Control 34 (1): 108–114.
- **Geissler, K., Schliephake, E. and Rutsckaja, V. 1991.** Investigations on the insecticidal efficiency of the nuclear polyhedrosis virus of the cabbage moth (*Mamestra brassicae* L.). Archiv fur Phytopathologie und Pflanzenschutz, 27(2):157-161
- **Ghosh, A., Chatterjee, M., Agaman and Roy, A. 2009.** Bio-efficacy of spinosad against tomato fruit borer (*Helicoverpa armigera* Hub.) (Lepidoptera: Noctuidae) and its natural enemies.
- **Goodman, D. 1982.** Optimal life histories, optimal notation, and the value of reproductive value. Am Nat., 119:803–823.
- **Goyal, S.P. and Rathore, V.S. 1988.** Patterns of insect–plant relationship determining susceptibility of different hosts to *Heliothis armigera* (Hübner). Indian J Entomol., 50:193–201.
- **Grabstein, E.M. and Scriber, J.M. 1982.** Host–plant utilization by *Hyalophora cecropia* as affected by prior feeding experience. Entomologia Experimentalis et Applicata, 32: 262- 268.
- **Grafton-Cardwell, E.E., Godfrey, L.D., Chaney, W.E. and Bentley, W.J., 2005.** Various novel insecticides are less toxic to humans, more specific to key pests. Calif. Agric., 59: 29-34.
- **Greenberg, S.M., Sappington, T.W., Legaspi, J.B.C., Liu, T.X. and Setamou, M. 2001.** Feeding and life history of *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) on different host plants. Ann. Entomol. Soc. Am., 94: 566-575.



- **Gundannavar, K.P., Lingappa, S. and Giraddi, R.S. 2004.** Biorational approaches for the management of pod borer in pigeonpea ecosystem. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, 17(3): 597-599.
- **Gunning, R.V., Dang, H.T., Kemp, F.C., Nicholson, I.C. and Moores, G.D. 2005.** New resistance mechanism in *Helicoverpa armigera* threatens transgenic crops expressing *Bacillus thuringiensis* Cry1Ac Toxin. *Applied and Environmental Microbiology*, 71: 2558–2563.
- **Harakly, F.A. 1975.** Biological studies on the loopers *Autographa gamma* (L.) and *Cornutiplusia circumflexa* (L.) (Lep., Noctuidae) infesting truck crops in Egypt. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie*, 78: 285-290.
- **Hardwick, D. F. 1965.** The corn earworm complex. *Memoirs of the Entomological Society of Canada*, 40:1-247.
- **Hatem, A.E., Abdel-Samad, S.S.M., Saleh, H.A., Soliman, M.H.A. and Hussien, A.I. 2009.** Toxicological and physiological activity of plant extracts against *Spodoptera littoralis* (Boisduval) (Lepidoptera: Noctuidae) larvae. *Boletín de Sanidad Vegetal Plagas*, 35:517-531.
- **Hatem, A.E., Laila, E.S. and Hassan, A.T. 2015.** Effects of host plants as larval feeding on the biology *Spodoptera littoralis* (Boisd.) (Lepidoptera: Noctuidae). *Egyptian Journal of Applied Sciences*, 30(3): 81-95.
- **Heath, J. and Emmet, A.M. 1979.** *The Moths and Butterflies of Great Britain and Ireland*. Ed. Harley Books, Colchester, UK, Vol. 9, p.p. 214-215.
- **Hegazi, E.M., Hammad, S.M., Altahtawy, M. and El-Sawaf, S.K. 1973.** Parasites of the larval stage of the cotton leaf-worm *Spodoptera littoralis* (Boisd.) (Noctuidae, Lepidoptera) in Alexandria region. *Journal of Applied Entomology*, 74: 332-336.
- **Hemati, S.A., Naseri, B., Ganbalani, G.N., Dastjerdi, H.R. and Golizadeh, A. 2012.** Effect of different host plants on nutritional indices of the pod borer. *Helicoverpa armigera*. *Journal of Insect Science*, 12:55.
- **Hill, D.S. 1983.** *Agrotis ipsilon* (Hfn.). In: *Agricultural Insect Pests of the Tropics and Their Control*. Ed. Cambridge University Press, Cambridge, p.p. 357-358.
- **Höfte, H. and Whiteley, H.R. 1978.** Insecticidal crystal proteins of *Bacillus thuringiensis*. *Microbiol. Rev.*, 53:242-255

- **Holloway, J.D. 1989.** The moths of Borneo: Family Noctuidae, trifine subfamilies: Noctuinae, Heliiothinae, Hadeninae, Acronictinae, Amphipyriinae, Agaristinae. *Malayan Nature Journal*, 42:57-226.
- **Hwang, S.Y., Liu, C.H. and Shen, T.C. 2008.** Effects of plant nutrient availability and host plant species on the performance of two *Pieris butterflies* (Lepidoptera: Pieridae). *Biochem Syst. Ecol.*, 36:505–513
- **Jallow, M.F.A. and Matsumura, M. 2001.** Influence of temperature on the rate of development of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). *Appl Entomol Zool.*, 36:427-430.
- **Jayashri, U., Sarkate, M.B., Tupat, P.P. and Chavhan, K.R. 2008.** Comparative performance of different insecticides against *H. armigera* and *E. atomosa* damage in pigeonpea (*Cajanus cajan* L.) at harvest. *Crop Research (Hisar)*, 36(1/3): 299-301.
- **Jha, R.K., Chi, H. and Tang, L.C. 2012.** A comparison of artificial diet and hybrid sweet corn for the rearing of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) based on life table characteristics. *Environmental Entomology*, 41(1): 30-39.
- **Jones, D., Jones, G. and Hammock, B.D. 1981.** Growth parameters associated with endocrine events in larval *Trichoplusia ni* (Hübner) and timing of these events with developmental markers. *J. Insect Physiol.*, 27:779-788.
- **Jones, K.A., Irving, N.S., Moawad, G., Grzywacz, D., Hamid, A. and Farghaly, A. 1994.** Field trials with NPV to control *Spodoptera littoralis* on cotton in Egypt. *Crop Protection*, 13: 337-340.
- **Karimi, S., Fathipour, Y., Talebi, A.A. and Naseri, B., 2012.** Evaluation of canola cultivars for resistance of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera:Noctuidae) using demographic parameters. *J. Econ. Entomol.*,105: 2172–2179.
- **Karimi-Malati, A., Fathipour, Y., Talebi, A.A. and Bazoubandi, M. 2012.** Comparative Life Table Parameters of Beet Armyworm, *Spodoptera exigua* (Lep.: Noctuidae), on Four Commercial Sugar Beet Cultivars. *J. Entomol. Soc. Iran*, 32:109-124.
- **Kehat, M. and Gordon, D. 1975.** Mating, longevity, fertility and fecundity of cotton leaf-worm, *Spodoptera littoralis* (Boisd). *Phytoparasitica*, 3:87-102.
- **Kehat, M., Gothilf, S., Dunkelblum, M. and Greenberg, S. 1980.** Field evaluation of female sex pheromone components of the cotton bollworm, *Heliothis armigera*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 27: 188–193.

- **Khafagi, W.E., Hegazi, M. and Neama, A.A. 2016.** Effects of temperature on the development, food consumption and utilization parameters of the last two larval instars of *Spodoptera littoralis* (Boisd.). *Journal of Agricultural Science and Food Technology*, 2 (6): 93-99.
- **Khalifa, A., Iss-hak, R.R. and Foda, M.E. 1982.** Vertical and horizontal distribution of the Egyptian cotton leafworm egg masses in cotton fields in Egypt. *Research Bulletin, Faculty of Agriculture, Ain Shams University*, 1749: 6-8.
- **Khedr, M.A., AL-Shannaf, H.M., Mead, H.M. and Shaker, S.A. 2015.** Comparative study to determine food consumption of cotton leafworm, *Spodoptera littoralis*, on some cotton genotypes. *Journal of Plant Protection Research*, 55 (3): 312–321.
- **Khodaverdi, H., Sahragard, A., Amir Moafi, M. and Mohaghegh Neishabooro, J. 2010.** A Study on the Demographic Parameters of Egyptian Cotton Leafworm *Spodoptera littoralis* (B.) (Lep.: Noctuidae) Fed on Artificial Diet and under Laboratory Conditions. *Iranian Journal of Plant Protection Science*, 41(1).
- **Kim, D.S. and Lee, J.H. 2002.** Egg and larval survivorship of *Carposina sasakii* (Lepidoptera: Carposinidae) in apple and peach and their effects on adult population dynamics in orchards. *Environmental Entomology*, 31:686-692.
- **King, A.B.S. 1994.** *Heliothis/Helicoverpa* (Lepidoptera: Noctuidae) In: G. A. Matthews & J. P. Tunstall (eds), *Insect Pests of Cotton*. Wallingford, UK: CAB International, Wallingford, 39-106.
- **Kirti, J.S. and Dar, M.A. 2013.** Keys for the identification and segregation of noctuid subfamilies. *Insect Environment*, 19: 176-179.
- **Kitching, R.L. and Zalucki, M.P. 1983.** A cautionary note on the use of oviposition records as host plant records. *Aust. Entomol. Mag.*, 10: 64-66.
- **Kouhi, D., Naseri, B. and Golizadeh, A. 2014.** Nutritional performance of the tomato fruit borer, *Helicoverpa armigera*, on different tomato cultivars. *Journal of Insect Science*, 14(102). Available online: <http://www.insectscience.org/14.102>
- **Knowles, B.H. 1994.** Mechanism of action of *Bacillus thuringiensis* insecticidal d-endotoxins. *Adv. Insect Physiol.*, 24: 275-308.
- **Kumar, N.S., Murugan K. and Zhang, W. 2008.** Additive interaction of *Helicoverpa armigera* nucleopolyhedrovirus and azadirachtin. *Bio Control*, 53(6): 869-880.

- **Ladhari, A., Laarif, A., Omezzine, F. and Haouala, R. 2013.** Effect of the extracts of the spiderflower, *Cleome arabica*, on feeding and survival of larvae of the cotton leafworm, *Spodoptera littoralis*. Journal of Insect Science, 13:61.
- **Lanzoni, A., Bazzocchi, G.G., Reggiori, F., Rama, F., Sannino, L., Maini, S. and Burgio, G. 2012.** *Spodoptera littoralis* male capture suppression in processing spinach using two kinds of synthetic sex-pheromone dispensers. . Bulletin of Insectology, 65: 311-318.
- **Lazarevic, J. and Peric-Mataruga, V. 2003.** Nutritive stress effects on growth and digestive physiology of *Lymantria dispar* larvae. Yugoslav Medical Biochemistry, 22: 53-59.
- **Leng P., Zhiming Z., Guangtang P. and Maojun Z., 2011.** Applications and development trends in biopesticides. Afr. J. Biotechnol., 10(86), 19864-19873.
- **Lengai, G.M.W. and Muthomi, J.W. 2018.** Biopesticides and Their Role in Sustainable Agricultural Production. Journal of Biosciences and Medicines, 6: 7-41. <https://doi.org/10.4236/jbm.2018.66002>
- **Leraut, P.J.A., 1992.** Quelques changements dans la nomenclature des lépidoptères de France (Lepidoptera). Entomologica Gallica, 3(2): 78.
- **Leuck, D.B. and Perkins, W.D. 1972.** A method of evaluating fall armyworm progeny reduction when evaluating control achieved by hostplant resistance. Journal of Economic Entomology, 65: 482-483.
- **Liu, Z., Li, D., Gong, P. and Wu, K. 2004.** Life Table Studies of the Cotton Bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae), on Different Host Plants. Environmental Entomology, 33(6):1570-1576.
- **Loka, M.K., Rahoo, G.M. and Rind, A.W. 1993.** Effect of food plants on the development of cutworm species, *Heliothis armigera* (Hübner) and *Spodoptera litura* F. In: Ahmed M, Sakoori AR (eds) Proceedings of Pakistan Congress of Zoology, Publications of Zoological Society of Pakistan, Pakistan, 13: 225-233.
- **Longa CM, Savazzini F, Tosi S, Elad Y, Pertot I. 2009.** Evaluating the survival and environmental fate of the biocontrol agent *Trichoderma atroviride* SC1 in vineyards in northern Italy. J Appl Microbiol. 2009;106(5):1549-1557. doi:10.1111/j.1365-2672.2008.04117.x

- **Lopes, G.S., Lemos, R.N.S., Machado, K.K.G., Maciel, A.A.S. and Ottati, A.L.T. 2008.** Biologia de *Spodoptera frugiperda* (J. Smith) (Lepidoptera : Noctuidae) em folhas de mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz). *Caatinga*, 21(3): 134-140.
- **Lu, Z.Q. and Xu, Y.H. 1998.** The consideration of the incessant outbreak of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera*. *Entomological Knowledge*, 35: 132-136.
- **Mardani-Talaei, M., Nouri-Ganbalani, G., Naseri, B. and Hassanpour, M. 2012.** Life History Studies of the Beet Armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) on 10 Corn Hybrids. *Journal of the Entomological Research Society*, 14(3): 9-18.
- **Mazid, S., Jogen, Ch., Kalita and Ratul Ch. Rajkhowa, 2011.** A review on the use of biopesticides in insect pest management. *International Journal of Science and Advanced Technology*, 1(7): 169-178.
- **Mehrkhou, F., Talebi, A.A., Moharramipour, S., Naveh, V.H. and Farahani, S. 2012.** Development and fecundity of *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) on different soybean cultivars. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 45(1): 90-98. DOI: 10.1080/03235408.2010.484940.
- **Mehrkhou, F., Mousavi, M. and Talebi, A.A. 2015.** Effect of different Solanaceous host plants on nutritional indices of *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of crop protection*, (4): 329-336.
- **Mendoza, J.L.H., Pérez, M.I.S., Prieto, J.M.G., Velásquez, J.D.Q., Olivares, J.G.G. and Langarica, H.R.G. 2015.** Antibiosis of *Trichoderma* spp Strains Native to Northeastern Mexico against the Pathogenic Fungus *Macrophomina phaseolina*. *Brazilian Journal of Microbiology*, (4): 1093-1101.
- **MERTZ, F. P., & Yao, R. C. 1990.** *Saccharopolyspora spinosa* sp. nov. isolated from soil collected in a sugar mill rum still. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 40(1), 34-39.
- **Mironidis, G.K. and Savopoulou-Soultani, M. 2008** Development, survivorship and reproduction of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera, Noctuidae) under constant and alternating temperatures. *Environmental Entomology*, 37: 16-28.
- **Mohamed A.M. Osman, M.A. and Mahmoud, M.F. 2009.** Effects of bio-rational insecticides on selected biological aspects of the Egyptian cotton leafworm *Spodoptera littoralis* (Boisd.) (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Plant Protection Research*, 49(2): 135-140. <https://doi.org/10.2478/v10045-009-0018-0>.

- **Mohapatra, S.D. and Srivastava, C.P. 2002.** Bioefficacy of chemical and biorational insecticides against incidence of legume pod borer, *Maruca vitrata* (Geyer) in short duration pigeonpea. Indian Journal of Plant Protection, 30(1): 22-25.
- **Montezano, D.G., Specht, A., Sosa–Gomez, D.R., Roque–Specht, V.F. and Barros, N.M. 2014.** Immature stages of *Spodoptera eridania* (Lepidoptera: Noctuidae): Developmental parameters and host plants. Journal of Insect Science, 14(238): 1-11.
- **Montezano, D.G., Specht, A., Bortolin, T.M., Fronza, E., Sosa–Gómez, D.R., Roque-Specht, V.F., Pezzi, P., Luz, P.C. and Barros, N.M. 2013.** Immature stages of *Spodoptera albula* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae): Developmental parameters and host plants. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 85(1): 271-284. <https://dx.doi.org/10.1590/S0001-37652013000100013>
- **Nahar, P., Yadav, P., Kulye, M., Hadapad, A., Hassani, M., Tuor, U., Keller, S., Chandele, A.G., Thomas, B. and Deshpande, M.V. 2004.** Evaluation of indigenous fungal isolates, *Metarrhizium anisopliae* M34412, *Beauveria bassiana* B3301 and *Nomuraea rileyi* N812 for the control of *Helicoverpa armigera* (Hubner) in pigeonpea field. Journal of Biological Control, 18(1): 1-7.
- **Nasr, E.S.A. and Nassif, F.M. 1978.** Effect of age of the adult stage of the cotton leaf worm, *Spodoptera littoralis* (Boisd.), on the rate of oviposition, egg-fertility and life span of moths (Lepidoptera: Noctuidae). Bull. Soc. Ent. Egypt, 59:289-294
- **Naseri, B., Fathipour, Y., Moharramipour, S. and Hosseinaveh, V. 2009a.** Comparative life history and fecundity of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera : Noctuidae) on different soybean varieties. Entomol. Sci., 12:147-154.
- **Naseri, B., Fathipour, Y., Moharramipour, S. and Hosseinaveh, V. 2009b.** Life table parameters of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Lep. : Noctuidae) on different soybean cultivars. J. Entomol. Soc. Iran, 29(1):25-40.
- **Naseri, B., Fathipour, Y., Moharramipour, S. and hosseinaveh, V. 2010.** Nutritional indices of the cotton bollworm *Helicoverpa armigera* on 13 soybean varieties. Journal of Insect Science, 10: 1-14.
- **Nathan, S.S., Chung, P.G. and Murugan, K. 2005.** Effect of biopesticides applied separately or together on nutritional indices of the rice leaf older *Cnaphalocrocis medinalis*. Phytoparasitica, 33: 187-195.

- **Omoloye, A.A. and Vidal, S. 2007.** Abundance of 24-methylenecholesterol in traditional African rice as an indicator of resistance to the African rice gall midge, *Orseolia oryzivora* Harris & Gagné. Entomological Science, 10: 249-257. doi:10.1111/j.1479-8298.2007.00221.x
- **Osorio, A., Martinez, A.M., Schneider, M.I., Diaz, O., Corrales, J.L., Aviles, M.C., Smaghe, G. and Pineda, S., 2008.** Monitoring of beet armyworm resistance to spinosad and methoxyfenozide in Mexico. Pest Manag. Sci., 64:1001-1007.
- **Panizzi, A.R. and Parra, J.R.P. 2012.** Insect Bioecology and Nutrition for Integrated Pest Management. CRC Press. 17.
- **Pedgley, D. and Yathom, S. 1993.** Windborne moth migration over the Middle East. Ecological Entomology, 18: 67-72.
- **Phillipson, J. 1981.** Bioenergetic options and phylogeny, pp. 20-45. In Townsend C. R. and Calow P. (eds.). Physiological ecology: an evolutionary approach to resource use. Blackwell Scientific, Oxford.
- **Pinhey, E.C.G. 1975.** Moths of Southern Africa. Descriptions and colour illustrations of 1183 species. Moths of Southern Africa. A.A.Balkema. Rotterdam, The Netherlands, (7) 273.
- **Pinheiro, J.C.A., Pádua, L.E.M., Portela, G.L.F., Branco, R.T.P.C., Reis, A.S. and Silva, P.R.R. 2008.** Biologia comparada de *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) visando ao seu zoneamento ecológico no estado do Piauí. Caatinga, 21(2): 197-203.
- **Poitout, S. and Bues, R. 1982.** The principal injurious noctuids. Phytoma, 337:39-43.
- **Polanczyk, R.A., Silva, R.F.P.D. and Fiuza, L.M., 2000.** Effectiveness of *Bacillus thuringiensis* strains against *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). Brazilian Journal of Microbiology, 31(3): 164-166.
- **Prabhaker, N., Coudriet, D.L., Kishaba, A.N. and Meyerdirk, D.E. 1986.** Laboratory evaluation of neem-seed extract against larvae of the cabbage looper and beet armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). Journal of Economic Entomology, 79:39-41.
- **Prabhakara, M.S. and Srinivasa, N. 1998.** Field persistence of *Bacillus thuringiensis* formulations against pigeon pea pod borer. Indian Journal of Pulses Research, 11(1): 63-67.



- **Prasad, A. and Syed, N. 2010.** Evaluating Prospects of Fungal Biopesticide *Beauveria bassiana* (Balsamo) against *Helicoverpa armigera* (Hubner): An Eco-Safe Strategy for Pesticidal Pollution. *Asian Journal of Experimental Biological Sciences*, 3: 596-601.
- **Price, P.W., Denno, R.F., Eubanks, M.D., Finke, D.L. and Kaplan, I. 2011.** *Insect Ecology: Behavior, Populations and Communities*. Cambridge University Press.
- **Radhakrishnan, Sharmila and Shanmugam, Subramanian. 2017.** Bioefficacy of Entomopathogenic Nematodes against *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) in Bhendi. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, (6): 2314-2319. 10.20546/ijcmas.2017.607.273.
- **Ragab, M.G., El-Sayed, A.A. and Nada, M.A. 2014.** The effect of some biotic and abiotic factors on seasonal fluctuations of *Helicoverpa armigera* (Hub.). *Egyptian Journal of Agricultural Research*, 92: 101-119.
- **Razmjou, J., Naseri, B. and Hemmati, S.A. 2014.** Comparative performance of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) on various host plants. *Journal of Pest Science*, 87. 10.1007/s10340-013-0515-9.
- **Razmjou, J., Moharramipour, S., Fathipour, Y. and Mirhoseini, S.Z. 2006.** Effect of cotton cultivar on performance of *Aphis gossypii* (Homoptera: Aphididae) in Iran. *J. Econ. Entomol.*, 99:1820–1825.
- **Rajapakse, C.N.K. and Walter, G.H. 2007.** Polyphagy and primary host plants: oviposition preference versus larval performance in the lepidopteran pest *Helicoverpa armigera*. *Arthropod Plant Interactions*, 1(1): 17–26.
- **Reddy, G.V.P., Cruz, Z.T. and Guerrero, A. 2009.** Development of an efficient pheromone-based trapping method for the banana root borer *Cosmopolites sordidus*. *J. Chem. Ecol.*, 35: 111–117.
- **Reddy, K.S., Rao, G.R., Rao, P.A. and Rajasekhar, P. 2004.** Life table studies of the capitulum borer, *Helicoverpa armigera* (Hebner) infesting sunflower. *Journal of Entomological Research*, 28: 13-18.
- **Reddy, G.V.P. and Chi, H. 2015.** Demographic comparison of sweetpotato weevil reared on a major host, *Ipomoea batatas*, and an alternative host, *I. triloba*. *Sci. Rep.*, 5: 1-9. doi: 10.1038/srep11871. Available from: <http://www.nature.com/>
- **Refki, E., Sadok, B.M., Ali, B.B., Faouzi, A., Jean, V.F. and Rudy, C.M. 2016** Effectiveness of Pheromone Traps against *Tuta absoluta*. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 6: 841-844.



- **Reigada, C., Guimarães, K.F. and Parra, J.R.P. 2016.** Relative fitness of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) on seven host plants a perspective for IPM in Brazil. *J. Insect Sci.*, 16(1-3): 1-5.
- **Rings, R.W., Arnold, F.J. and Johnson, B.A. 1975.** Host range of the black cutworm on vegetables: A bibliography. *Bulletin of the Entomological Society of America*, 21: 229-234.
- **Robertson, J.L. Russell, R.M., Preisler, H.K. and Savin, N.E. 2007.** Bioassays with Arthropods. Ed. CRC Press, p.p. 26-28.
- **Rosas-Garcia, N.M. 2009.** Biopesticide production from *Bacillus thuringiensis*: an environmentally friendly alternative. *Recent Pat. Biotechnol.*, 3(1): 28-36.
- **Sabbour, M.M. and Sahab, A.F. 2005.** Efficacy of some microbial control agents against cabbage pests in Egypt. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 8: 1351-1356.
- **Saeed, S., Sayyed, A.H. and Ahmad, I. 2010.** Effect of host plants on life-history traits of *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). *J. Pest Sci.*, 83:165-172.
- **Safuraie-Parizi, S., Fathipour, Y. and Talebi, A.A. 2014.** Evaluation of tomato cultivars to *Helicoverpa armigera* using two-sex life table parameters in laboratory. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 17(4): 837-844.
- **Salama, H.S., Dimetry, N.Z. and Salem, S.A. 1971.** On the host preference and biology of the cotton leaf worm *Spodoptera littoralis*. *Zeitung für Angewandte Entomologie*, 67:261-266.
- **Salgado, V.L. 1998.** Studies on the mode of action of spinosad: Insect symptoms and physiology correlates. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 60(2): 91-102.
- **Salgado, V.L., Sparks, T.C., 2005.** The spinosyns: chemistry, biochemistry, mode of action, and resistance. In: Gilbert, L.J., Iatrou, K., Gill, S.S. (Eds.), *Comprehensive Molecular Insect Science*. Elsevier, Oxford, p.p. 137-173.
- **Saour, G. and Causse, R. 1996.** Feeding behavior of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) on tomatoes. *J. Appl. Entomol.*, 120: 87-92.
- **Schmutterer, H. 1990.** Properties and potentials of natural pesticides from neem tree. *Annu. Rev. Entomol.*, 35: 271-298.
- **Schneider, M.I., Smagghe, G., Pineda, S. and Vinuela, E. 2004.** Action of insect growth regulator insecticides and spinosad on life history parameters and absorption in third-instar larvae of the endoparasitoid *Hyposoter didymator*. *Biol. Control.*, 31(2): 189-198.

- **Schroeder, L.A. 1981.** Consumer growth efficiencies: Their limits and relationships to ecological energetic. *Journal of Theoretical Biology*, 93: 805-828.
- **Scriber, J.M. and Slansky, F., 1981.** The nutritional ecology of immature insects. *Annual Review of Entomology*, 26: 183-211.
- **Sheppard, C.A. and Friedman, S. 1990.** Influence of host plant, foliar phenology and larval dietary history on *Lymantria dispar* larval nutritional indices. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 55: 247-255.
- **Singh, O.P., Parihar, S.B.B. 1988.** Effect of different hosts on the development of *Heliothis armigera*. *Bulletin of Entomological Research*, 29:2168-2172.
- **Singh, S.S. and Yadav, S.K. 2006.** Efficacy and economics of some modern insecticides, bioInsecticides and neem-based formulations against pod borer, *Helicoverpa armigera*, in pigeon pea. *Indian Journal of Entomology*, 68(2): 139-143.
- **Slansky, F. and Scriber, J.M. 1985.** Food consumption and utilization. In: Kerkut G.A., Gilbert L.I., editors. *Comprehensive Insect Physiology, Biochemistry and Pharmacology. Vol. 4. Regulation: Digestion Nutrition Excretion*, pp. 87-163.
- **Smaghe, G., Carton, B., Wesemael, W., Ishaaya, I., Tirry, L., 1999.** Ecdysone agonists mechanism of action and application on *Spodoptera* species. *Pestic. Sci.*, 55: 386-389
- **Smaghe, G., Elsen, K., Loeb, M., Gelman, D., Blackburn, M. 2003.** Effects of a fat body extract on larval midgut cells and growth of lepidoptera. *In vitro cellular & developmental biology. Animal.* 39. 8-12. 10.1290/1543-706X(2003)039<0008:EOAFBE>2.0.CO;2.
- **Smith, CW. 1992.** History and Status of Host Plant Resistance in Cotton to Insects in the United States In: Sparks DL. Ed. *Advances in Agronomy*, Academic Press, Sandiego, 48:251-296.
- **Sneh, B. and Gross, S. 2009.** Biological control of the Egyptian cotton leafworm *Spodoptera littoralis* (Boisd.) (Lep., Noctuidae) in cotton and alfalfa fields using a preparation of *Bacillus thuringiensis* ssp. entomocidus, supplemented with adjuvants. *Journal of Applied Entomology*, 95: 418-424.
- **Sparks, C., Thompson, D., Kirst, A., Hertlein, B., Larson, L., Worden, V., Thibault, T., 1998.** Biological activity of spinosyns, new fermentation derived insect control agents, on tobacco budworm (Lepidoptera: Noctuidae) larvae. *J. Econ. Entomol.*, 91: 1277-1283.

- **Sreekanth, M. and Seshamahalakshmi, M. 2012.** Studies on relative toxicity of biopesticides to *Helicoverpa armigera* (Hubner) and *Maruca vitrata* (Geyer) on pigeonpea (*Cajanus cajan* L).
- **Srivastava, M. and Raizada, R. 2007.** Lack of toxic effect of technical azadirachtin during postnatal development of rats. *Food Chem. Toxicol.*, 45(3): 465-471.
- **Stam, P.A. and Elmosa, H. 1990.** The role of predators and parasites in controlling populations of *Earias insulana*, *Heliothis armigera* and *Bemisia tabaci* on cotton in the Syrian Arab Republic. *Entomophaga*, 35: 315-327.
- **Steenberg, T. and Øgaard, L. 2000.** Mortality in hibernating Turnip moth larvae, *Agrotis segetum*, caused by *Tolypocladium cylindrosporum*. *Mycological Research*, 104: 87-91.
- **Stockhoff, B.A. 1993.** Ontogenetic Change in Dietary Selection for Protein and Lipid by Gypsy Moth Larvae. *Journal of Insect Physiology*, 39: 677–686.
- **Stoianova, E.E. 2007.** The effect of the nuclear polyhedrosis viruses (NPVs) of some Noctuidae species on the longevity of *Bracon hebetor* Say (Hymenoptera: Braconidae). *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 13: 197-203.
- **Sunitha, V. Lakshmi, K.V. and Rao, G.V.R. 2008.** Laboratory evaluation of certain insecticides against pigeonpea pod borer, *Maruca vitrata*. *Journal of Food Legumes*, 21(2): 137-139.
- **Talaei, L., Fathipour, Y., Talebi, A.A. and Khajehali, J. 2017.** Performance Evaluation of *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) Larvae on 10 Sugar Beet Genotypes Using Nutritional Indices. *J. Agr. Sci. Tech.*, 19:1103-1112.
- **Tingle, F.C. and Mitchell, E.R. 1977.** Seasonal populations of armyworms and loopers at Hastings, Florida. *Florida Entomologist*, 60:115-122.
- **Theunissen, J., Ouden, H.D. 1980.** Effects of intercropping with *Spergula arvensis* on pests of brussels sprouts. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 27(3):260-268.
- **Theunissen, J., Booij, C.J.H., Schelling, G. and Noorlander, J. 1992.** Intercropping white cabbage with clover. *Bulletin OILB/SROP*, 15(4): 104-114.
- **Thompson, G.D., Michel, H.H., Yao, R.C., Mynderse, J.S., Mosburg, C.T., Wordsen, T.V., Chio, E.H., Sparks, T.C. and Hutchins S.H. 1997.** The discovery of *Saccharopolyspora spinosa* and a new class of insect control products. *Down to Earth*, 52: 1-5.

- **Thompson, G.D., Dutton, R. and Sparks, T.C. 2000.** Spinosad-a case study: an example from a natural products discovery programme. *Pest Manag. Sci.*, 56: 696-702.
- **Torres-Vila, L.M., Rodríguez-Molina, M.C., Lacasa-Plasencia, A. and Bielza-Lino, P. 2002.** Insecticide resistance of *Helicoverpa armigera* to endosulfan, carbamates and organophosphates: the Spanish case. *Crop Protection*, 21: 1003–1013.
- **Tsai, J.H. and Wang, J.J. 2001.** Effects of host plants on biology and life table parameters of *Aphid spiraecola* (Homoptera: Aphididae). *Environmental Entomology*, 30:45-50.
- **Tsutsui, H., Hirai, Y., Honma, K., Tanno, K., Shimada, K. and Sakagami, S.F. 1988.** Aspects of overwintering in the cabbage armyworm, *Mamestra brassicae* (Lepidoptera, Noctuidae) I. Supercooling points and contents of glycogen and trehalose in pupae. *Applied Entomology and Zoology*, 23(1): 52-57
- **Tuan, S.J., Li, N.J., Yeh, C.C., Tang, L.C. and Chi, H. 2013.** Effects of green manure cover crops on *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) populations. *J. Econ. Entomol.*, 107: 897–905.
- **Umbanhowar, J. and Hastings, A. 2002.** The impact of resource limitation and phenology of parasitoid attack on the duration of insect herbivore outbreaks. *Theor. Popul. Biol.*, 62: 259-269.
- **Van Lenteren, J.C. and Noldus, L.P.J.J. 1990.** Whitefly-plant relationship: behavioral and biological aspects. In: Gerling D (ed.) *Whitefly: Their Bionomics, Pest Status and Management*, p.p. 47–89. Intercept, Andover.
- **Venette, R.C., Davis, E.E., Heisler, H. and Larson, M. 2003.** Mini risk assessment silver Y moth, *Autographa gamma* (L.) (Lepidoptera: Noctuidae). Cooperative Agricultural Pest Survey, Animal and Plant Health Inspection Service, US Department of Agriculture.
- **Vidyasagar, G.M. and Tabassum, N. 2013.** Antifungal Investigations on Plant Essential Oils: A Review. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 2: 19-28.
- **Waldbauer, G.P. 1968.** The Consumption and Utilization of Food by Insects. *Advances in Insect Physiology* 5: 229-288.
- **Wang, D. Gong, P., Li, M., Qiu, X. and Wang, K. 2009.** Sublethal effects of spinosad on survival, growth and reproduction of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). *Pest. Manag. Sci.*, 65: 223-227. doi:10.1002/ps.1672

- **Wanner, K.W., Helson, B.V. and Harris, B.J. 2000.** Laboratory and field evaluation of spinosad against the gypsy moth, *Lymantria dispar*. *Pest Manage. Sci.*, 56: 855–860.
- **Wakamura, S. and Takai, M. 1992.** Control of the bet armyworm in open fields with sex pheromone. in N.S Talekar (ed.) *Diamondback Moth and other Crucifer Pests*. Asian Research and Development Center, Taipei, Taiwan, p.p. 115-125
- **Wiech, K. 1996.** Intercropping as possible method of cabbage pest control in Poland. Brighton Crop Protection Conference: Pests & Diseases - 1996: Volume 2: Proceedings of an International Conference, Brighton, UK, 18-21 November 1996, 675-678.
- **Xue, M., Pang, Y.H., Wang, H.T., Li, Q.L. and Liu, T.X. 2010.** Effects of four host plants on biology and food utilization of the cutworm, *Spodoptera litura*. *Journal of Insect Science*, 10(22): 1-14.
- **Yu, L.Y., Chen, Z.Z., Zheng, F.Q., Shi, A.J., Guo, T.T., Yeh, B.H., Chi, H. and Xu, Y.Y. 2013.** Demographic analysis, a comparison of the jackknife and bootstrap methods, and predation projection: a case study of *Chrysopa pallens* (Neuroptera: Chrysopidae). *J. Econ. Entomol.*, 106: 1–9.
- **Yoshida, H.A. and Parrella, M.P. 1992.** Development and use of selected chrysanthemum cultivars by *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). *J. Econ. Entomol.*, 85: 2377-2382.
- **Yamasaki, A., Shimizu, K. and Fujisaki, K. 2009.** Effect of host plant part on larval body-color polymorphism in *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 102: 76-84.
- **Zalom, F.G., Wilson, L.T. and Hoffmann, M.P. 1986.** Impact of feeding by tomato fruitworm, *Heliothis zea* (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae), and beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae), on processing tomato fruit quality. *Journal of Economic Entomology*, 79:822-826.
- **Zalucki, M.P., DGLISH, G., Firempong, S. and Twine, P.H. 1986.** The biology and ecology of *Heliothis armigera*(Hübner) and *H. punctigera* Wallengren (Lepidoptera: Noctuidae) in Australia: what do we know? *Australian Journal of Zoology*, 34: 779-814.
- **Zethner, O. 1977.** Losses caused by cutworms (*Agrotis segetum* SCHIFF.) and approaches to their control in Denmark. *Proceedings 1977 British Crop Protection Conference - Pests and Diseases*, p.p. 271–277.

- **Zhang, Z.J., Wu, Q.J., Li, X.F., Zhang, Y.J., Xu, B.Y. and Zhu, G.R. 2007.** Life history of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae), on five different vegetable leaves. *J. Appl. Entomol.*, 131: 347–350.
- **Liu Z., Li D., Gong P., Wu K. 2004.** Life Table Studies of the Cotton Bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae), on Different Host Plants. *Environmental Entomology*, 33(6): 1570–1576.

# **Annexes**

**Annexe 01.** Stades de développement moyens ( $\pm$  ES) et longévité adulte de *Spodoptera littoralis* sur différentes plantes hôtes

Plant e hôte	Période d'incubat ion	Période larvaire	Période pré- nymphe	Période nymphe	Temps de développe ment	Longévité d'adulte (jours)		Durée du cycle de vie (jour)		Poids des nymphes
						Femelle	Mâle	Femelle	Mâle	
Artic haut	4 $\pm$ 0	29.81 $\pm$ 0.21b	2,25 $\pm$ 0,10b	15.49 $\pm$ 0.34c	49,40 $\pm$ 0,41b	15.79 $\pm$ 0,48a	14.63 $\pm$ 0,74a	59.46 $\pm$ 1,71 b	62.11 $\pm$ 0.96b	0,44 $\pm$ 0,012a
	Chou	38.71 $\pm$ 0,60a	4,46 $\pm$ 0,41a	19.89 $\pm$ 0,46a	62,74 $\pm$ 0,73a	14,23 $\pm$ 0,79b	14.70 $\pm$ 0,58a	69.07 $\pm$ 1.86 a	67.51 $\pm$ 3.37a	0,33 $\pm$ 0,006b
Pom me de terre	4 $\pm$ 0	25.33 $\pm$ 0,26d	2.00 $\pm$ 0,12b	18.35 $\pm$ 0,40b	49,84 $\pm$ 0.48b	13,60 $\pm$ 0,48b	13.34 $\pm$ 0,58b	60,61 $\pm$ 1.38 b	58.60 $\pm$ 3.13bc	0,27 $\pm$ 0,011c
	Toma te	27.67 $\pm$ 0,37c	1,81 $\pm$ 0,11b	14,09 $\pm$ 0,24d	46,1 $\pm$ 0.27c	12,57 $\pm$ 0,14c	13.54 $\pm$ 0.2b	57,53 $\pm$ 2.12 b	55.42 $\pm$ 1.14c	0,27 $\pm$ 0,007c
$R^2$	-	0,747	0,4331	0,6793	0,723	0,267	0,089	0,228	0,1789	0,6247
$F$	NS	114.67	29,53	81,88	100.9	14.10	3.78	11.47	8,4244	64,3667
$P$	NS	<0,000	<0,000	<0,000	<	<0,000	0,0062	<0,000	<0,000	<0,000
		1***	1***	1***	0,0001***	1***	***	1***	1***	1***

Les moyennes suivies de lettres différentes dans les mêmes colonnes sont significativement différentes ( $p < 0,01$ , différence la moins significative)



**Annexe 02.** Stades de développement moyens ( $\pm$  ES) et longévité adulte de *Helicoverpa armigera* sur différentes plantes hôtes

Plante hôte	Période d'incubation	Période larvaire	Période pré-nymphal	Période nymphal	Temps de développement	Longévité (jours)		Durée du cycle de vie (jour)		Poids des nymphes
						Femelle	Mâle	Femelle	Mâle	
Artichaut	4 $\pm$ 0 a	25,34 $\pm$	1,22 $\pm$	24,62 $\pm$	53,63 $\pm$	12,26 +	13,91	63,46 $\pm$	60,93	0,265 $\pm$
		0.21c	0.06c	0.58a	1.87b	1.41b	$\pm$	2.19ab	$\pm$	0.011a
Chou	4 $\pm$ 0 a	33,07 $\pm$	3,62 $\pm$	21,40 $\pm$	56,88 $\pm$	13,38 $\pm$	13,02	65,20 $\pm$	63,41	0,247 $\pm$
		0.53a	0.26a	0.35b	2.13a	1.01a	$\pm$	1.31a	$\pm$	0.005a
Pomme de terre	4 $\pm$ 0 a	27,52 $\pm$	1,95 $\pm$	20,07 $\pm$	50,77 $\pm$	12,31 $\pm$	11,79	62,66 $\pm$	61,43	0,219 $\pm$
		0.78b	0.27b	0.54c	0.97c	0.22b	$\pm$ 0.32b	0.92bc	$\pm$	0.01b
Tomate	4 $\pm$ 0 a	25,10 $\pm$	2,22 $\pm$	18,72 $\pm$	47,75 $\pm$	11,91 $\pm$	11,64	61,31 $\pm$	60,57	0,198 $\pm$
		0.29c	0.08b	0.45d	1.80d	0.28b	$\pm$ 0.26b	0.89c	$\pm$	0.004b
$R^2$	-	0,6106	0,4965	0,4816	0,3116	0,0769	0,1812	0,1206	0,0335	0,2702
$F$	NS	60,6395	38,1352	35,9181	17,5037	3,2207	8,5554	5,3029	1,3383	14,3193
$P$	NS	<	<	<	<	<b>0,0253***</b>	<	<b>0,0018***</b>	<b>0,26</b>	<
		<b>0,0001***</b>	<b>0,0001***</b>	<b>0,0001***</b>	<b>0,0001***</b>		<b>0,0001***</b>		NS	<b>0,0001***</b>

Les moyennes suivies de lettres différentes dans les mêmes colonnes sont significativement différentes ( $p < 0,01$ , différence la moins significative).

### Annexe 03. Données de toxicité du Spinosad

FICHE	<b>Spinosad</b>	<b>Abréviation : SPI</b>
		Type de pesticides : Insecticide, Acaricide
		CAS : 131929-60-7

#### TOXICOLOGIQUE SANTÉ

Les fiches complètes « santé » ont été élaborées en utilisant la démarche de sélection de données et les classifications d'effets développées pour l'indicateur de risque des pesticides du Québec (IRPeQ). Une description détaillée de celles-ci est présentée dans l'[IRPEQ](#)

Critère de toxicité	Valeur ou classe	Référence
<b>DL<sub>50</sub> Orale (mg/kg) (rat)</b>	> 5000	ARLA: Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire, 2001. Note réglementaire REG2001-10: Spinosad, Insecticide Success <sup>MD</sup> 480SC Naturalyte, Insecticide Conserve <sup>MD</sup> 480SC Naturalyte. Santé Canada, 17 août 2001, 86 pages. <a href="http://www.pmra-arla.gc.ca/francais/pdf/reg/reg2001-10-f.pdf">http://www.pmra-arla.gc.ca/francais/pdf/reg/reg2001-10-f.pdf</a>
<b>DL<sub>50</sub> Cutanée (mg/kg) (Lapin)</b>	> 2000	ARLA: Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire, 2001. Note réglementaire REG2001-10: Spinosad, Insecticide Success <sup>MD</sup> 480SC Naturalyte, Insecticide Conserve <sup>MD</sup> 480SC Naturalyte. Santé Canada, 17 août 2001, 86 pages. <a href="http://www.pmra-arla.gc.ca/francais/pdf/reg/reg2001-10-f.pdf">http://www.pmra-arla.gc.ca/francais/pdf/reg/reg2001-10-f.pdf</a>
<b>CL<sub>50</sub> inhalation (mg/L) (rat)</b>	> 5.18	ARLA: Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire, 2001. Note réglementaire REG2001-10: Spinosad, Insecticide Success <sup>MD</sup> 480SC Naturalyte, Insecticide Conserve <sup>MD</sup> 480SC Naturalyte. Santé Canada, 17 août

		2001, 86 pages. <a href="http://www.pmra-arla.gc.ca/francais/pdf/reg/reg2001-10-f.pdf">http://www.pmra-arla.gc.ca/francais/pdf/reg/reg2001-10-f.pdf</a>
<b>Irritation cutanée</b>	Très peu ou pas irritant	ARLA: Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire, 2001. Note réglementaire REG2001-10: Spinosad, Insecticide Success <sup>MD</sup> 480SC Naturalyte, Insecticide Conserve <sup>MD</sup> 480SC Naturalyte. Santé Canada, 17 août 2001, 86 pages. <a href="http://www.pmra-arla.gc.ca/francais/pdf/reg/reg2001-10-f.pdf">http://www.pmra-arla.gc.ca/francais/pdf/reg/reg2001-10-f.pdf</a>
<b>Irritation oculaire</b>	Très peu ou pas irritant	ARLA: Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire, 2001. Note réglementaire REG2001-10: Spinosad, Insecticide Success <sup>MD</sup> 480SC Naturalyte, Insecticide Conserve <sup>MD</sup> 480SC Naturalyte. Santé Canada, 17 août 2001, 86 pages. <a href="http://www.pmra-arla.gc.ca/francais/pdf/reg/reg2001-10-f.pdf">http://www.pmra-arla.gc.ca/francais/pdf/reg/reg2001-10-f.pdf</a>
<b>Sensibilisation cutanée</b>	Non	ARLA: Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire, 2001. Note réglementaire REG2001-10: Spinosad, Insecticide Success <sup>MD</sup> 480SC Naturalyte, Insecticide Conserve <sup>MD</sup> 480SC Naturalyte. Santé Canada, 17 août 2001, 86 pages. <a href="http://www.pmra-arla.gc.ca/francais/pdf/reg/reg2001-10-f.pdf">http://www.pmra-arla.gc.ca/francais/pdf/reg/reg2001-10-f.pdf</a>
<b>Inhibiteur de la cholinestérase</b>	Non	
<b>Classification EPA</b>	III	
<b>Classification OMS</b>	III	

<b>Dose de référence aiguë ARLA(mg/kg/jour)</b>		
<b>Dose de référence aiguë EPA(mg/kg/jour)</b>		
<b>Dose de référence aiguë OMS(mg/kg/jour)</b>		

## Annexe 04 : Données de toxicité du *Bacillus thuringiensis ssp. kurstaki*

Espèce	Voie d'administration, toxicité, dose	Effet
<b>Mammifères</b>		
Humain	Orale, aiguë, trois jours consécutifs	Aucun effet/aucune infectiosité
Rat	Orale, aiguë	DL <sub>50</sub> ≥ 4,7 X 10 <sup>11</sup> spores/kg
Rat	Orale, aiguë	DL <sub>50</sub> ≥ 2,67 g/kg
Souris	Orale, aiguë, 10 000 mg/kg	Aucun effet
Lapin	Orale, aiguë	DL <sub>50</sub> ≥ 2,0 X 10 <sup>9</sup> spores/animal
Chien	Orale, aiguë, 10 000 mg/kg	Aucun effet
Lapin	Cutanée, aiguë (Dipel 6AF®)	DL <sub>50</sub> ≥ 2 000 mg/kg
Rat	Inoculation, aiguë	DL <sub>50</sub> ≥ 3,4 X 10 <sup>11</sup> spores/kg
Lapin	Inoculation, aiguë	DL <sub>50</sub> ≥ 6,9 X 10 <sup>7</sup> spores/kg
Rat	Inoculation, aiguë	DL <sub>50</sub> ≥ 8 X 10 <sup>11</sup> spores/animal
Mouton	Orale, une dose de Dipel D® ou de Thuricide-HP® (environ 10 <sup>12</sup> spores par jour) pendant 5 mois	Aucun effet toxique ni aucun effet significatif lié au traitement (physique ou clinique)
<b>Oiseaux</b>		
Oiseaux	Orale, aiguë	DL <sub>50</sub> = 178 ppm, CSEO = 1 ppm
Colin de Virginie	Orale, aiguë	DL <sub>50</sub> > 10 000 mg/kg
Canard colvert	Orale, aiguë	DL <sub>50</sub> > 2 000 mg/kg
<b>Poissons</b>		
Truite arc-en-ciel	Exposition de 96 heures	CSEO > 1 000 ppm
Truite arc-en-ciel	Exposition de 96 heures	CL <sub>50</sub> > 10 mg/L
Crapet arlequin	Exposition de 96 heures	CL <sub>50</sub> > 95 mg/L
Truite arc-en-ciel, crapet arlequin, <i>Cyprinodon variegatus</i>	30 jours à 100 fois la concentration environnementale prévue aux doses recommandées pour le Dipel	Aucun effet néfaste
Anguille	2 000 fois la concentration environnementale prévue aux doses recommandées pour le Dipel	

**Annexe 05 :** Synthèse des comparaisons multiples par paires pour Traitement (Fisher (LSD) (effet du spinosad sur *Spodoptera littoralis* apres 24h) :

Modalité	Moyenne estimée (Mortalité (%) 24H)	Groupes
Spinsad 0.6	43.343	A
spinosad 0.2	40.000	B
spinosad 0.1	23.333	C
spinosad 0.05	16.663	D
Spinosad 0.025	6.663	E
Control	3.332	F
Spinosad 0.008	0.000	G

**Annexe 06 :** Synthèse des comparaisons multiples par paires pour Traitement (Fisher (LSD) (effet du spinosad sur *Spodoptera littoralis* apres 48h)

Modalité	Moyenne estimée(Mortalité (%) 48h)	Groupes						
Spinsad 0.6	80.333	A						
spinosad 0.2	73.332		B					
spinosad 0.1	65.933			C				
spinosad 0.05	50.167				D			
Spinosad 0.025	16.663					E		
Spinosad 0.008	6.663						F	
Control	3.332							G

**Annexe 07 :** Synthèse des comparaisons multiples par paires pour Traitement (Fisher (LSD) (effet du spinosad sur *Spodoptera littoralis* apres 72h)

Modalité	Moyenne estimée(Mortalité (%) 72h)	Groupes						
Spinsad 0.6	100.000	A						
spinosad 0.2	100.000	A						
spinosad 0.1	76.443		B					
spinosad 0.05	43.553			C				
Spinosad 0.025	26.687				D			
Spinosad 0.008	10.083					E		

Control	6.663						F
---------	-------	--	--	--	--	--	---

**Annexe 08 :** Synthèse pour tous les Y :

	Mortalité (%) 24H	Mortalité (%) 48h	Mortalité (%) 72h
R <sup>2</sup>	0.999	1.000	1.000
F	3952.367	15453.067	17914.310
Pr > F	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Traitement	3952.367	15453.067	17914.310
	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001

**Annexe 09 :** Synthèse des comparaisons multiples par paires pour Traitement (Fisher (LSD)  
(effet du Btk sur *Spodoptera littoralis* apres 24h) :

Modalité	Moyenne estimée(Mortalité (%) 24H)	Groupes
Bt 3	23.322	A
Control	4.160	B
Bt 1	0.000	C
Bt 0.2	0.000	C
Bt 0.5	0.000	C
Bt 2	0.000	C

**Annexe 10:** Synthèse des comparaisons multiples par paires pour Traitement (Fisher (LSD)  
(effet du Btk sur *Spodoptera littoralis* apres 48h) :

Modalité	Moyenne estimée(Mortalité (%) 48h)	Groupes				
Bt 3	46.693	A				
Bt 2	20.333		B			
Bt 1	6.663			C		
Control	4.160				D	
Bt 0.2	0.000					E
Bt 0.5	0.000					E

**Annexe 11:** Synthèse des comparaisons multiples par paires pour Traitement (Fisher (LSD))  
(effet du Btk sur *Spodoptera littoralis* apres 72h) :

	Mortalité (%) 24H	Mortalité (%) 48h	Mortalité (%) 72h
R <sup>2</sup>	1.000	0.999	0.999
F	16670.814	6827.343	9055.158
Pr > F	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Traitement	16670.814	6827.343	9055.158
	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001

**Annexe 12 :** Synthèse pour tous les Y :

Modalité	Moyenne estimée(Mortalité (%) 72h)	Groupes			
Bt 3	60.443	A			
Bt 2	40.083		B		
Bt 1	16.358			C	
Control	4.160				D
Bt 0.2	0.000				E
Bt 0.5	0.000				E

**Annexe 13 :** Synthèse des comparaisons multiples par paires pour Traitement (Fisher (LSD))  
(effet du Spinosad sur *Helicoverpa armigera* après 24h) :

Modalité	stimée(Mortalité)	Groupes					
Spinosad 0.6	43.343	A					
spinosad 0.2	40.000		B				
spinosad 0.1	23.333			C			
spinosad 0.05	17.652				D		
Spinosad 0.025	11.767					E	
Spinosad 0.008 ml	7.143						F
Control	4.160						G



**Annexe 14 :** Synthèse des comparaisons multiples par paires pour Traitement (Fisher (LSD)  
(effet du Spinosad sur *Helicoverpa armigera* après 48h) :

Modalité	stimée(Mortal	Groupes				
Spinosad 0.6	89.280	A				
spinosad 0.2	72.933		B			
spinosad 0.1	70.487			C		
spinosad 0.05	69.733			C		
Spinosad 0.025	64.717				D	
Spinosad 0.008 ml	14.282					E
Control	4.160					F

**Annexe 15 :** Synthèse des comparaisons multiples par paires pour Traitement (Fisher (LSD)  
(effet du Spinosad sur *Helicoverpa armigera* après 72h) :

Modalité	stimée(Mortal	Groupes				
Spinosad 0.6	100.000	A				
spinosad 0.1	100.000	A				
spinosad 0.2	100.000	A				
spinosad 0.05	82.347		B			
Spinosad 0.025	80.952			C		
Spinosad 0.008 ml	35.718				D	
Control	4.160					E

**Annexe 16 :** Synthèse pour tous les Y :

	Mortalité (%) 24	Mortalité (%) 48h	Mortalité (%) 72h
R <sup>2</sup>	0.998	0.999	1.000
F	2571.710	6619.697	19728.747
Pr > F	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001

**Annexe 17:** Synthèse des comparaisons multiples par paires pour Traitement (Fisher (LSD)  
(effet du Btk sur *Helicoverpa armigera* après 24h) :

Modalité	estimée(Mortalité	Groupes			
Bt 3	6.250	A			
Control	4.160		B		
Bt 0.5	0.000			C	
Bt 1	0.000			C	
Bt 0.2	0.000			C	
Bt 2	0.000			C	

**Annexe 18 :** Synthèse des comparaisons multiples par paires pour Traitement (Fisher (LSD))  
(effet du *Btk* sur *Helicoverpa armigera* après 48h) :

Modalité	Mean estimée(Mortalité)	Groupes				
Bt 3	49.533	A				
Bt 2	31.585		B			
Bt 1	18.678			C		
Control	4.160				D	
Bt 0.2	0.000					E
Bt 0.5	0.000					E

**Annexe 19:** Synthèse des comparaisons multiples par paires pour Traitement (Fisher (LSD))  
(effet du *Btk* sur *Helicoverpa armigera* après 72h) :

Modalité	Mean estimée(Mortalité)	Groupes				
Bt 3	56.610	A				
Bt 2	36.803		B			
Bt 1	23.000			C		
Bt 0.5	16.627				D	
Control	4.160					E
Bt 0.2	0.000					F

**Annexe 20 :** Synthèse pour tous les Y :

	Mortalité (%) 24H	Mortalité (%) 48h	Mortalité (%) 72h
R <sup>2</sup>	0.994	0.999	0.999
F	1027.603	6211.625	9231.361
Pr > F	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Traitement	1027.603	6211.625	9231.361
	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001

**Annexe 21** Synthèse des comparaisons multiples par paires entre les Traitements spinosad et Btk (Fisher (LSD)) :

Modalité	Moyenne estimée(24H)	Groupes		
Spinsad	43.343	A		
Btk	6.250		B	
Témoin	4.160			C
Modalité	Moyenne estimée(48H)	Groupes		
Spinsad	89.280	A		
Btk	49.533		B	
Témoin	4.160			C
Modalité	Moyenne estimée(72H)	Groupes		
Spinsad	100.000	A		
Btk	56.610		B	
Témoin	4.160			C
Synthèse pour tous les Y :				
	24H	48H	72H	
R <sup>2</sup>	1.000	1.000	1.000	
F	21730.948	20240.091	254337.427	
Pr > F	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	

