

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
UNIVERSITE ABDELHAMID IBN BADIS DE MOSTAGANEM

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences Agronomiques



Présentée par :

ELOUISSI Mouffok

En vue de l'obtention du

Diplôme de Doctorat en Sciences

Filière : Sciences agronomiques

Spécialité : Protection des Végétaux

Thème

Contribution à l'étude de la bio écologie des populations de la mineuse de la tomate *Tuta absoluta* (Lepidoptera, Gelechiidae) en vue de l'optimisation de son contrôle dans la région de Mascara.

Composition du jury de soutenance :

PRESIDENT	LOTMANI Brahim	Professeur, Université de Mostaganem
DIRECTEUR DE THESE	BERKANI Abdellah	Professeur, Université de Mostaganem
EXAMINATEUR	BELABID Lakhdar	Professeur, Université de Mascara
EXAMINATEUR	BELHADI Abdelkader	Professeur, Université de Mascara
EXAMINATEUR	YOUCEF BENKADA Mokhtar	Professeur, Université de Mostaganem
EXAMINATEUR	BENABDELLI Khelloufi	Professeur, Université de Mascara

Année Universitaire 2015-2016

Dédicaces

À mon très cher regretté, mon père, je dédie ce travail. Tu es absent mais tu resteras vivant dans mon esprit et dans mon cœur.

Je dédie aussi ce travail à :

*Ma Mère qui m'accompagne partout par ses prières que
Dieu me la garde ;*

*Ma femme et mes enfants : Khadidja J., Houcine, Refaida
et Alghalia ;*

Mes frères et leurs familles ;

Toute ma famille ;

Tous mes amis et collègues.

Remerciements

Au terme de ce travail et à travers ces quelques lignes, je tiens à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à l'aboutissement de ce modeste travail.

Qu'il me soit permis d'adresser mes vifs remerciements et ma profonde reconnaissance à mon directeur de thèse : le Professeur **BERKANI A.** (Université de Mostaganem) pour la confiance qu'il a eu en moi en acceptant de diriger mon travail, malgré ses occupations multiples. Je voudrais qu'il trouve ici toute ma reconnaissance pour ses encouragements, ses conseils, ses recommandations, le temps qu'il m'a consacré et sa bienveillance.

Que Monsieur le Professeur **LOTMANI B.** (Université de Mostaganem) trouve ici l'expression de ma profonde gratitude pour l'intérêt qu'il a manifesté à mon travail et surtout de me faire l'honneur de présider le jury. Je l'en remercie infiniment.

Un remerciement bien particulier aux membres du jury : **Pr. YUCEF BENKADA M.** (Université de Mostaganem), **Pr. BENABDELLI K.** (Université de Mascara), **Pr. BELHADI A.** (Université de Mascara) et **Pr. BELABID L.** (Université de Mascara) qui ont bien voulu honorer le jury par leur présence et pour avoir accepté de juger ce travail.

Mes vifs remerciements sont adressés également à mon frère **ELOUISSI A.** (enseignant à l'Université de Mascara) qui a contribué à ma compréhension des problèmes liés aux analyses des données et à la préparation de ce document.

Je remercie aussi tous le personnel de la ferme expérimentale et des laboratoires de la faculté SNV de l'Université de Mascara.

Table des matières

Abstract	i
Résumé	ii
Liste des abréviations	iii
Index des tableaux	iv
Index des photos	vi
Index des figures	vii
Introduction générale	1
CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	
Partie I : Etude de l'hôte végétale : La tomate	
1. Historique et origine de la tomate	5
2. Classification de la tomate	6
2-1. Classification botanique	6
2-2. Classification variétale selon le mode e croissance	6
3. Caractéristiques morphologiques de la tomate	8
4. Cycle de développement de la tomate	10
4-1. La germination	10
4-2. La croissance	10
4-3. La floraison	11
4-4. La fécondation	11
4-5. La fructification et nouaison des fleurs	11
5. Les exigences de la tomate	12
5-1. Les exigences climatiques	12
5-2. Les exigences édaphiques	13
5-3. Les exigences nutritionnelles	14
6. Préparations et plantation	15
7. Pratiques de culture	15
8. Production et importance économique de la tomate	17

9. Valeur nutritionnelle des fruits de la tomate	18
10. Importance médicinale de la tomate	19
11. Pathologie et ravageurs de la tomate	20
11-1. Ravageurs de la tomate	20
11-2. Pathologies de la tomate	24
11-2-1. Pathologies fongiques	24
11-2-2. Pathologies bactériennes	25
11-2-3. Pathologies virales	26
11-3. Pathologies non parasitaires	27
Partie II : Le ravageur de la tomate : <i>Tuta absoluta</i> (Meyrick)	
1. Position systématique	31
2. Origine et aire de répartition géographique de <i>Tuta absoluta</i>	32
2-1. Dans le monde	32
2-2. Au Maghreb	33
2-3. En Algérie	34
3. Description morphométrique de <i>Tuta absoluta</i>	36
3-1. L'œuf	36
3-2. Les stades larvaires	37
3-3. la prénymphe	38
3-4. La nymphe	38
3-5. L'adulte	40
4. Bio-écologie de <i>Tuta absoluta</i>	41
4-1. Cycle de vie	41
4-2. Comportement des larves	43
4-2. Fécondité	44
5. Ecologie de <i>T. absoluta</i>	45
5-1. Action des facteurs climatiques	45
5-2. Intérêt agronomique de <i>T. absoluta</i>	45
5-3. Moyens de dissémination	47
6. Stratégies de lutte	47
6-1. Méthode de surveillance et d'évaluation du risque	47

6-1-1. Installation des pièges à phéromones	48
6-1-2. Observation directe des plants	48
6-2. Méthodes de lutte	49
6-2-1. Méthodes prophylactiques	49
6-2-2. Méthodes biotechniques	50
6-2-3. Les techniques culturales	51
6-2-4. La lutte chimique	51
6-2-5. La lutte biologique	53
6-2-6. La lutte intégrée	55

Partie III : La Bactérie *Bacillus thuringiensis* Kurstaki

1. Aperçu sur la découverte de <i>Bacillus Thuringiensis</i>	56
2. Description de <i>Bacillus Thuringiensis</i>	56
3. Cycle de croissance de <i>Bacillus Thuringiensis</i>	57
4. Classification des delta-endotoxines de <i>B. thuringiensis</i>	58
5. Mode d'action	59
6. Utilisation commerciale des produits à base de <i>BtK</i>	60
7. La persistance de <i>B. thuringiensis</i>	61
8. Effet de <i>B. thuringiensis</i> sur les populations non cible et sur l'homme	62
8-1. Effet sur les populations non ciblées	62
8-2. Effets sur l'homme	63
9. Evolution de la résistance des insectes aux toxines de <i>B. thuringiensis</i>	63

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

Partie I : Présentation de la zone d'étude

1. Caractéristiques géographiques	65
1-1. Situation géographique de la région de Mascara	65
1-2. Situation géographique de la ferme expérimentale	65
2. Caractéristiques climatiques	66
2-1. Les précipitations	67
2-2. Les températures	69

2-3. Les aléas climatiques	70
3. Synthèse climatique	71
3-1. Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnouls	71
3-2. Climagramme d'EMBERGER	72
4. Caractéristiques édaphiques	74

Partie II : Etude entomologique de *T. absoluta*

1. Identification de l'espèce	75
1-1. L'Etude de la nervation alaire	75
1-2. Extraction des génitalia	75
2. Etude de quelques paramètres biologiques de <i>T. absoluta</i> au laboratoire	77
2-1. Durée d'incubation	77
2-2. Durée des stades larvaires	78
2-3. Durée de pupaison : Isolation des chrysalides en boîtes de Pétri	78
2-4. Sex-ratio, fécondité et fertilité	79
2-5. Longévité des adultes	80
3. Dynamique des populations de <i>T. absoluta</i> sous serre	80
3-1. L'hôte végétale : la tomate	80
3-2. Piégeage des adultes	82
3-2-1. Installation des pièges	83
3-2-2. Relevé des pièges	83
3-2-3. Le piège et les trois types de suivi	84
3-3. Interaction <i>Macrolophus sp.</i> – <i>Tuta absoluta</i>	87
4. Analyses statistiques des données	87

PARTIE III :

Essai de traitement biologique (*Bacillus thuringiensis*) sur les populations de *Tuta absoluta*.

1. Matériel	90
1-1. <i>Tuta absoluta</i> (Meyrick)	90
1-2. <i>Bacillus thuringiensis</i> Kurstaki	90
1-3. Installation de la serre expérimentale	91

2. Méthodologie appliquée	91
2-1. Méthodes appliquées pour le prélèvement des larves et des nymphes au laboratoire	92
2-2. Détermination des doses test	92
2-3. Infestation de la serre expérimentale sur les populations de <i>T. absoluta</i>	93
3. Protocole expérimental	93
3-1. Au laboratoire	93
3-2. Sous serre	94
4. Identification de <i>Bacillus thuringiensis</i>	96
4-1. Préparation du milieu Mossel et développement de la bactérie	97
4-2. Etude des caractères généraux de la bactérie	98
4-3. Caractères culturels et morphologiques	98
5. Analyses statistiques	100

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Partie I : Etude entomologique de *T. absoluta*

1. Identification de <i>Tuta absoluta</i>	101
1-1. Aspect général de la famille Gelechiidae	101
1-2. Etude de la nervation alaire	102
1-3. Les Génitalia	103
1-3-1. Génitalia mâle	103
1-3-2. Génitalia femelle	105
2. Etude de quelques paramètres biologiques de <i>T. absoluta</i> au laboratoire	106
2-1. Durées de développement	106
2-2. Mortalité des stades immatures	109
2-3. Relations entre les caractères liés à l'infestation	116
2-3-1. Relation entre l'émergence des chrysalides et celle des adultes	116
2-3-2. Relation entre l'émergence des chrysalides et celle des larves	116
2-3-3. Relation entre l'émergence des adultes et celle des larves	117
2-4. Sex-ratio	118

2-5. Fécondité, fertilité	119
3. Dynamique spatio-temporelle de la population de <i>Tuta absoluta</i>	124
3-1. Dynamique des adultes	124
3-2. Dynamique des stades immatures	128
3-3. Impact significatif du changement des capsules de phéromone	131
3-4. Répartition de l'insecte dans la serre	133
3-5. Répartition des dégâts par étage foliaire des plantes	135
3-6. Répartition de la mineuse <i>Tuta absoluta</i> selon la face de la feuille	139
3-7. Estimation des dégâts sur fruits à la récolte	142
3-8. Interaction <i>Macrolophus sp.</i> - <i>Tuta absoluta</i>	144

Partie II :

Essai de traitement biologique (*Bacillus thuringiensis*) sur les populations larvaires de *Tuta absoluta*

1. Essai d'efficacité de <i>Btk</i> sur les populations de <i>T. absoluta</i> au laboratoire	149
1-1. Résultats	149
1-2. Discussion	151
2. Essai d'efficacité de <i>Btk</i> sur les populations de <i>T. absoluta</i> sous serre	153
2-1. Résultats	153
2-2. Analyse statistique	159
2-3. Discussion	160
2-3-1. Sans tenir compte des stades larvaires	160
2-3-2. En tenant compte des stades larvaires	163
2-3-3. Synthèse relative aux stades larvaires	171
3. Effet de <i>Btk</i> sur la dynamique des populations larvaires de <i>T. absoluta</i>	172
Conclusion générale	174
Références bibliographiques	179

Annexes

Abstract

Tuta absoluta is a devastating pest of *Solanaceae* crops such as tomato or potato. Originated from North America, *T. absoluta*'s larvae can cause 100% yield reduction on crops production. In last years, this microlepidoptera has spread rapidly in Mediterranean countries such as Algeria, causing serious damages. The present study was carried out to investigate the bio-ecology and populations dynamics of *T. absoluta*. Laboratory and greenhouse observations, and field pheromone trapping were undertaken. Moreover, we assessed efficiency of the bacterium *Btk* against *T. absoluta*.

In laboratory study of different biological parameters of *T. absoluta*, we compared development times, mortality rates and sex-ratio at different stages of the insect's growth. Our results revealed some variations we could attribute to the environment conditions such as temperature or substrate. Furthermore, we demonstrated that *T. absoluta* was able to set up a parthogenetic mode of reproduction, qualified to be "optional".

Population dynamics study highlighted the succession of five generations from December to July. Our results revealed that the early damage occurred mostly in the northern and mainly in northwest directions. Moreover, when the trapping level was low, the damage was reduced and mainly located on the lower part of the plants. Then gradually as attack frequency increased, the damage became visible on the upper parts. A polynomial relationship was established between a mirid *Macrolophus* sp and that of *T. absoluta*.

To fight *T. absoluta* we have assessed a basic formulation made of *Bacillus thuringiensis kurtaski* on larval populations of the pest. The *Btk* treatment at 0.5 mg/ml resulted in 36.04% and 53.61% of larvae mortality after two and four days, respectively.

We suggest the conjugation of the efforts of the researchers to find reasonable solutions being able to get through it devastating mattering who threatens the agriculture; the later works will, undoubtedly, try to answer these concerns.

Keywords: *Tuta absoluta* ; Tomato ; Algeria ; Bio-ecology ; Population dynamics ; Mortality ; *Bacillus thuringiensis kurtaski*.

Résumé

Tuta absoluta (Meyrick, 1917) est un insecte ravageur de cultures dont la larve est capable de causer d'importants dégâts sur les plantes infestées, engendrant des pertes pouvant aller jusqu'à 100% de la culture considérée. Son hôte, principalement une Solanacée, peut aussi bien être la tomate, la pomme de terre et même certaines espèces sauvages. Ce microlépidoptère issu d'Amérique du Sud s'est rapidement propagé pour aujourd'hui infester l'ensemble du bassin méditerranéen. C'est dans ce contexte et pour ces raisons que nous avons apporté notre contribution sur l'étude de la bioécologie et la dynamique des populations de *T. absoluta* par les observations au laboratoire et sous serre et le piégeage à phéromones au terrain, ainsi que des essais (tests) d'efficacité de la bactérie *Btk* contre cette mineuse.

Au laboratoire, cette étude nous a permis d'étudier quelques paramètres biologiques de *T. absoluta* en comparant les durées de développement des différents stades de développement de l'insecte ainsi que les taux de mortalité de chaque stade et le sex-ratio. Les variations des résultats peuvent s'expliquer par des conditions environnementales différentes (comme le substrat, la température ou les conditions du milieu ou par les multiples manipulations des individus). Il a été aussi démontré que *Tuta absoluta* est un insecte ravageur de culture bel et bien capable de mettre en place un mode de reproduction parthénogénétique deutérotoque, que l'on qualifiera ici de facultatif.

L'étude de la dynamique des populations a mis en exergue la succession de cinq générations pendant la période d'étude de décembre à juillet. Les premiers dégâts sont apparus en majorité dans les orientations nord et principalement nord-ouest. Il a été observé également que lorsque le niveau de piégeage était bas, les dégâts étaient faibles et principalement localisés sur la partie inférieure des plantes. Puis, au fur et à mesure que la fréquence d'attaque de la culture augmentait, les dégâts devenaient visibles sur l'étage supérieur. Une relation polynomiale a été établie entre un miridé, *Macrolophus sp* et celui de *Tuta absoluta*.

Enfin, nous avons confirmé l'efficacité d'une formulation de base de *Bacillus thuringiensis* kurtaski sur les populations larvaires de la mineuse de la tomate *Tuta absoluta*. Les analyses statistiques montrent que la dose 0.500 mg/l forme seule un groupe avec un taux de mortalité moyen égale 36.04 deux jours après l'application du traitement *Btk* et un autre groupe avec 53.61 % après quatre jours.

Nous suggérons la conjugaison des efforts des chercheurs pour trouver des solutions raisonnables pouvant venir à bout de ce ravageur important qui menace l'agriculture ; les travaux ultérieurs tenteront, sans aucun doute, de répondre à ces préoccupations.

Mots-clés: Mineuse de la tomate, *Tuta absoluta*, cycle de développement, sex-ratio, mortalité, *B. thuringiensis*, dynamique des populations.

Liste des Abréviations

% :	<i>Pourcentage</i>
°C :	<i>Degré Celsius</i>
BtK :	<i>Bacillus thuringiensis kurtasi</i>
cm :	<i>Centimètre</i>
CMV	<i>Cucumber Mosaic Virus</i>
Cry	<i>Crystal</i>
EPPO :	<i>European and Mediterranean plant Protection Organization</i>
F.A.O :	<i>Organisation de l'alimentation et l'agriculture</i>
g :	<i>Gramme</i>
h :	<i>Heure</i>
ha	<i>Hectare</i>
INPV :	<i>Institut national de Protection des Végétaux</i>
J :	<i>Jour</i>
Kg :	<i>Kilogramme</i>
L :	<i>Litre</i>
M :	<i>Mètre</i>
m ³	<i>Mètre cube</i>
min :	<i>Minute</i>
ml :	<i>Millimètre</i>
Mm :	<i>Millimètre</i>
PCA	<i>Potato carrot Agar</i>
PNDA	<i>Plan National de développement agricole</i>
Qx	<i>Quintaux</i>
T :	<i>Tonnes</i>
TYLCV	<i>Tomato Yellow Leaf Curl Virus</i>
UI :	<i>Unité Internationale</i>
V.I.P	<i>Vegetative Insecticidal Prote</i>
VIP	<i>appelé Vegetativ Insecticidal Prote</i>

Index des Tableaux

Tableau 1 : Exigences de la culture de tomate en t°, luminosité et hygrométrie	14
Tableau 2 : Evolution de la tomate maraichère en Algérie entre 2001-2009	17
Tableau 3 : Valeur nutritionnelle moyenne pour 100g de tomate crue	19
Tableau 4 : La durée de cycle de développement de <i>Tuta absoluta</i> en fonction de la température	42
Tableau 5 : Valeurs indicatifs du risque selon les captures sur culture de tomate	48
Tableau 6 : Valeurs indicatifs du risque selon les captures sur culture de tomate	49
Tableau 7 : Principaux produits chimiques utilisés en Algérie contre <i>T. absoluta</i>	53
Tableau 8 : Moyennes des précipitations mensuelles (en mm) de la station Météorologique de Maoussa durant la période de 1990-2010	68
Tableau 9 : Moyennes des températures mensuelles et annuelles (en °C) dans la station météorologique de Matemore de 1990 à 2010.	69
Tableau 10 : Le nombre de jours de la gelée par mois (compagne agricole 1990/2010)	71
Tableau 11 : Analyse physico-chimique du sol de la ferme expérimentale	74
Tableau 12 : Caractéristiques des stades larvaires de <i>T. absoluta</i>	96
Tableau 13 : Durée moyenne de différents stades aux températures 15°, 25°, 30°C	107
Tableau 14 : Taux de mortalité des stades immatures et fréquence des piqûres stériles	109
Tableau 15 : Récapitulatif de l'ANOVA Randomisée (un facteur)	110
Tableau 16 : Taux de mortalité des Stades immatures <i>Tuta absoluta</i> à partir des élevages.	114
Tableau 17 : Taux de femelles/mâles à partir des élevages	118
Tableau 18 : Données de ponte en fonction du type de reproduction	120
Tableau 19 : Relevé du piège à phéromone des adultes males de <i>T.absoluta</i> ...	125
Tableau 20 : Fluctuation temporelle des stades immatures de la mineuse, <i>Tuta absoluta</i> , sur feuilles de tomate.	129
Tableau 21 : Captures cumulés en semaines en fonction du changement de la capsule de phéromone	131
Tableau 22 : Analyses statistiques pour mesurer l'impact du changement des capsules à phéromones.	132

Tableau 23 : Intensité (%) des dégâts selon l'orientation	133
Tableau 24 : Répartition des dégâts par étage foliaire des plantes en fonction du niveau d'attaque de la culture.	135
Tableau 25 : Analyses statistiques pour déterminer mesurer la répartition des dégâts par étage foliaire des plantes	136
Tableau 26 : Estimation du niveau d'attaque de la culture en fonction de l'observation des dégâts (MONTSERRAT DELGADO, 2009).	138
Tableau 27 : Grille d'estimation des dégâts sur les plantes en fonction de la fréquence d'attaque sur l'ensemble de la culture	139
Tableau 28 : Répartition de la mineuse <i>Tuta absoluta</i> selon la face de la feuille	139
Tableau 29 : Taux d'infestation des fruits de tomate	142
Tableau 30 : Evolution des populations de <i>Macrolophus/Tuta</i>	146
Tableau 31 : Résultat des tests d'identification du <i>B. Thuringiensis</i>	149
Tableau 32 : Taux de mortalité des larves de <i>Tuta absoluta</i> en fonction des doses croissantes de <i>B. Thuringiensis</i> au bout de 06 jours (Unité : %)	150
Tableau 33 : Efficacité des doses croissantes de <i>B. Thuringiensis</i> sur les larves L ₁ de <i>Tuta absoluta</i> ; moyenne de 03 répétitions :	154
Tableau 34 : Efficacité des doses croissantes de <i>B. Thuringiensis</i> sur les larves L ₂ de <i>Tuta absoluta</i> ; moyenne de 03 répétitions :	155
Tableau 35 : Efficacité des doses croissantes de <i>B. Thuringiensis</i> sur les larves L ₃ de <i>Tuta absoluta</i> ; moyenne de 03 répétitions :	156
Tableau 36 : Efficacité des doses croissantes de <i>B. Thuringiensis</i> sur les larves L ₄ de <i>Tuta absoluta</i> ; moyenne de 03 répétitions :	157
Tableau 37 : Taux de mortalité par stade en fonction des doses de <i>B. Thuringiensis</i> en mg/l appliquées par pulvérisation foliaire sur les plantes de tomate	158
Tableau 38 : Effet de <i>Btk</i> sur la dynamique des populations larvaires de <i>T. absoluta</i>	172

Index des photos

Photo 1 : Appareil végétatif de la tomate	09
Photo 2 : Différents insectes affectant la tomate	23
Photo 3 : Les maladies bactériennes de la tomate	26
Photo 4 : Les contraintes abiotiques de la tomate	30
Photo 5 : le 1 ^{er} : œuf jaune-orange et le 2 ^{ème} : blanc crème (originale)	37
Photo 6 : Les différents stades larvaires de <i>Tuta absoluta</i> (Originale)	39
Photo 7 : Prénympe de <i>T.absoluta</i> (originale)	40
Photo 8 : Nymphes de <i>T.absoluta</i> hors le cocon de soie (originale)	40
Photo 9 : Individu adulte de <i>T.absoluta</i> (Originale)	41
Photo 10 : Mine de <i>T.absoluta</i> sur feuille de tomate	46
Photo 11 : Dégâts des larves de <i>T. absoluta</i> sur fruits de tomates	47
Photo 12 : <i>B. thuringiensis</i> sporulée	57
Photo 13 : Chrysalide isolée en boîte de Pétri	78
Photo 14 : Boîte de pétri avec feuille de tomate	79
Photo 15 : Piège Delta avec la capsule de phéromone	83
Photo 16 : Serre mise en place pour les tests d'efficacité du Btk.....	91
Photo 17 : Isolement des plants lors de la pulvérisation	95
Photo 18 : Larves de <i>T. absoluta</i> visible à travers les mines sur tomate	96
Photo 19 : Aspect du Milieu Mossel	97
Photo 20 : Gelechiidae type	102
Photo 21 : Adulte Gelechiida	102
Photo 22 : Caractéristiques des nervures alaires de <i>Tuta absoluta</i>	103
Photo 23 :Illustration générale de l'appareil génital mâle de la mineuse de la tomate	104
Photo 24 : Génitalia male de <i>Tuta absoluta</i>	104
Photo 25 : Génitalia femelle de <i>Tuta absoluta</i> Meyrick	105

Index des figures

Figure 1 : Deux types de croissances chez la tomate	08
Figure 2 : Répartition géographique de <i>T.absoluta</i>	35
Figure 3 : Répartition mondiale et propagation de <i>T.absoluta</i>	35
Figure 4 : Direction d'avancement de <i>T.absoluta</i> en Algérie	36
Figure 5 : Cycle biologique de <i>T.absoluta</i>	43
Figure 6 : Schématisation du cycle vital de <i>B. thuringiensis</i>	58
Figure 7 : Mode d'action de Btk au niveau de sa cible initiale et principale, l'épithélium du mésenteron de l'insecte	60
Figure 8 : Mode d'action des Delta-endotoxines de Btk	60
Figure 9 : Situation géographique de la wilaya de Mascara	66
Figure 10 : Variations des moyennes des pluviométries mensuelles de la station météorologique de Matemore (période 1990-2010)	68
Figure 11 : Variations des moyennes des températures mensuelles de la station Matemore (période 1990-2010)	70
Figure 12 : Diagramme Ombrothermique de Gausson et Bagnouls, station d'I.T.A.F.V (Maoussa). (Période 1990-2009)	72
Figure 13 : Climagramme d'EMBERGER de la région de Matemore	73
Figure 14 : Dispositif expérimental des tests d'efficacité du Btk sur les populations larvaire de <i>Tuta absoluta</i> au laboratoire	93
Figure 15 : Dispositif expérimental des tests d'efficacité du Btk sur les populations larvaire de <i>Tuta absoluta</i> sous serre	94
Figure 16 : Aile dominante	102
Figure 17 : Durée de développement (en jours) des différents stades de <i>T. absoluta</i>	107
Figure 18 : Taux de mortalité de <i>Tuta absoluta</i> sous serre	110
Figure 19 : Taux de mortalité des œufs de <i>Tuta absoluta</i> à partir des élevages	112
Figure 20 : Taux de mortalité larvaire chez <i>Tuta absoluta</i> à partir des élevages	113
Figure 21 : Taux de mortalité nymphale chez <i>Tuta absoluta</i> à partir des élevages	114
Figure 22 : Taux de mortalité des stades immatures chez <i>Tuta absoluta</i> à partir des élevages.	115
Figure 23 : Droite de régression entre les chrysalides et les adultes	116
Figure 24 : Droite de régression entre les larves et les chrysalides	117
Figure 25 : Droite de régression entre les larves et les adultes	117
Figure 26 : Taux de mâles et de femelles au stade nymphal de <i>T. absoluta</i>	118

Figure 27 : Sex-ratio de <i>Tuta absoluta</i> à partir des élevages	119
Figure 28 : Taux de femelles ayant effectué une ponte en fonction du type de reproduction	121
Figure 29 : Nombre moyen d'œufs pondus par femelle de <i>T. absoluta</i> en fonction du type de reproduction	121
Figure 30 : Evolution de population de <i>Tuta absoluta</i>	126
Figure 31 : Histogramme des captures des adultes de <i>Tuta absoluta</i> au niveau de la ferme expérimentale de l'Université de Mascara	126
Figure 32 : Fluctuation temporelle des stades immatures de la mineuse, <i>Tuta absoluta</i> , sur feuilles de tomate.	129
Figure 33 : Impact du changement d'une capsule de phéromone	131
Figure 34 : Intensité des dégâts selon l'orientation cardinale	134
Figure 35 : Répartition des dégâts par étage foliaire des plantes en fonction du niveau d'attaque de la culture	135
Figure 36 : Répartition de la mineuse <i>Tuta absoluta</i> selon la face de la feuille	139
Figure 37 : Histogramme de l'évolution du taux d'infestation des fruits de tomate en fonction du temps	143
Figure 38 : Evolution temporelle du taux d'infestation des fruits de tomate	143
Figure 39 : Dessin d'une aile antérieure avec cunéus	145
Figure 40 : Evolution des populations de <i>Macrolophus sp./T. absoluta</i>	146
Figure 41 : Relation polynomiale entre le nombre de <i>T. absoluta</i> et Celui de <i>Macrolophus sp.</i>	147
Figure 42 : Taux de mortalité des larves de <i>T. abosluta</i> au laboratoire en fonction des doses croissantes de <i>Btk</i> (moyenne de trois répétitions par traitement/stade)	150
Figure 43 : Evolution temporelle de la mortalité des larves de <i>T. abosluta</i> au laboratoire soumises au BtK, au laboratoire au bout de 02, 04 et 06 jours.	151
Figure 44 : taux de mortalité cumulatif des larves L ₁ (jours après application) de <i>Tuta absoluta</i> infectées en fonction des doses croissantes de <i>B. Thuringiensis</i>	154
Figure 45 : taux de mortalité cumulatif des larves L ₁ (jours après application) de <i>Tuta absoluta</i> infectées en fonction des doses croissantes de <i>B. Thuringiensis</i>	155
Figure 46 : taux de mortalité cumulatif des larves L ₁ (jours après application) de <i>Tuta absoluta</i> infectées en fonction des doses croissantes de <i>B. Thuringiensis</i>	156
	157

Figure 47 : taux de mortalité cumulatif des larves L ₁ (jours après application) de <i>Tuta absoluta</i> infectées en fonction des doses croissantes de <i>B. Thuringiensis</i>	
Figure 48 : Taux de mortalité global par stade en fonction des doses de <i>B. Thuringiensis</i> en mg/l appliquées par pulvérisation foliaire sur les plantes de tomate	158
Figure 49 : Taux de mortalité des larves L ₁ (jours après application) de <i>Tuta absoluta</i> infectées en fonction des doses croissantes de <i>B. Thuringiensis</i>	163
Figure 50 : Taux de mortalité cumulatif des larves L ₁ (en cumulé) de <i>Tuta absoluta</i> infectées en fonction des doses croissantes de <i>B. Thuringiensis</i>	163
Figure 51 : Taux de mortalité des larves L ₂ (jours après application) de <i>Tuta absoluta</i> infectées en fonction des doses croissantes de <i>B. Thuringiensis</i>	165
Figure 52 : Taux de mortalité cumulatif des larves L ₂ (en cumulé) de <i>Tuta absoluta</i> infectées en fonction des doses croissantes de <i>B. Thuringiensis</i>	165
Figure 53 : Taux de mortalité des larves L ₃ (jours après application) de <i>Tuta absoluta</i> infectées en fonction des doses croissantes de <i>B. Thuringiensis</i>	167
Figure 54 : Taux de mortalité cumulatif des larves L ₃ (en cumulé) de <i>Tuta absoluta</i> infectées en fonction des doses croissantes de <i>B. Thuringiensis</i>	167
Figure 55 : Taux de mortalité des larves L ₄ (jours après application) de <i>Tuta absoluta</i> infectées en fonction des doses croissantes de <i>B. Thuringiensis</i>	169
Figure 56 : Taux de mortalité cumulatif des larves L ₄ (en cumulé) de <i>Tuta absoluta</i> infectées en fonction des doses croissantes de <i>B. Thuringiensis</i>	169
Figure 57 : Taux de mortalité global par stade/durée (jours) en fonction des doses de <i>B. Thuringiensis</i> en mg/l	171
Figure 58 : Effet de <i>Btk</i> sur les populations larvaires de <i>T. absoluta</i>	173

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

La tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) fait partie de la grande famille des solanacées aux côtés de la pomme de terre, de l'aubergine, du poivron et du piment. Considérée comme premier légume après la pomme de terre et deuxième ressource alimentaire mondiale après les céréales, elle est adaptée à des conditions de culture très variées et destinée à la consommation en frais ou à la transformation industrielle (CAUSSE *et al.*, 2002).

Sa culture à travers le monde est principalement commerciale et dont l'importance économique n'est plus à démontrer. Avec près de 130 millions de tonnes produites à travers le monde, soit environ 170 pays concernés, cette culture continue à se montrer des plus prospères dans leur filière respective (CHIRON, 2012).

Compte tenu de son importance économique, elle est l'objet de nombreuses recherches scientifiques servant comme plante modèle en génétique. Elle a donné naissance à la première variété génétiquement transformée autorisée à la consommation commercialisée aux États-Unis dans les années 1990 (ANONYME₁, 2010).

La plante est cultivée en plein champs et sous serre, sur une superficie d'environ 3 millions d'hectares, ce qui représente près de 1/3 des surfaces mondiales consacrées aux légumes (ANONYME₁, 2010). Comme c'est une culture à cycle assez court qui donne un haut rendement, elle a de bonnes perspectives économiques et la superficie cultivée s'agrandit de jour en jour. La tomate a donné également lieu au développement d'une importante industrie de transformation.

La culture de la tomate occupe une place prépondérante dans l'économie agricole algérienne et près de 33 000 ha sont consacrés annuellement à sa culture (maraîchère et industrielle), donnant une production moyenne de 11 millions de quintaux et des rendements moyens d'environ 311 Qx/ha (ANONYME₂, 2009). Malgré les dispositions prises et les techniques utilisées, le rendement reste toujours faible et assez éloigné de ceux enregistrés dans d'autres pays du bassin méditerranéen (Tunisie, Maroc, Espagne, France, Italie) où les rendements varient entre 350 Qx/ha à 1500 Qx/ha (FAO, 2008).

Actuellement, 1/3 de la production agricole mondiale est anéantie d'une année à une autre à cause de différentes maladies (bactériennes, fongiques, etc.) et ravageurs tels que les insectes qui causent d'énormes dégâts, de la culture du semis, jusqu'à leur commercialisation (GUENAOUI, 2008).

Dans un tel contexte, il est évident qu'il se montre nécessaire de porter une attention particulière aux facteurs capables d'endommager les cultures, et d'engendrer des pertes pouvant mener à un déficit de production assez important (ADEOYE *et al.*, 2009). C'est donc dans ce cadre qu'a été mis l'accent sur l'étude des facteurs ayant un impact négatif sur les cultures, et qu'a été étudié un ravageur de cultures particulièrement nocif et répandu, *Tuta absoluta*, un microlépidoptère de la famille des Gelechiidae, originaire d'Amérique du sud.

En Algérie, ce nouveau ravageur a été signalé pour la première fois en Algérie en 2008. Il s'agit d'un microlépidoptère qui a été trouvée au niveau des cultures de tomate sous serre dans les zones côtières (ouest, centre et une partie de la côte est). En effet, il a été observé, sur les cultures de tomates dans la région de Mostaganem (côté ouest de la zone côtière), la présence de galeries inhabituelles sur les feuilles de tomates cultivées sous serres au printemps 2008. Sa dispersion rapide d'Ouest en Est a alerté les autorités phytosanitaires qui ont déclaré cet insecte comme ravageur majeur de la tomate (ANONYME, 2008). C'est au début du printemps 2009, dans la région maraîchère de Mascara que cette mineuse a été signalée pour la première fois. Actuellement, pas moins de 19 wilayas ont été touchées par ce redoutable ravageur.

Dans de bonnes conditions climatiques, *T. absoluta* pourrait même s'attaquer à la culture de pomme de terre (PEREYRA et SANCHEZ, 2006), le poivron (GUENAOUI, 2008), l'aubergine ainsi que des plantes spontanées comme *Solanum nigrum* L. (ESTAY, 2000).

Tuta absoluta peut provoquer une perte de 50 à 100% de la production sur les plants de tomates et sa présence peut également empêcher l'exportation des produits vers divers pays (ANONYME, 2008).

En raison du comportement alimentaire des chenilles qui les protège des applications phytosanitaires et des cas de résistance importants à certains insecticides, la lutte contre ce ravageur s'avère particulièrement difficile (LACORDAIRE et FEUVRIER, 2010). Plusieurs méthodes de lutte ont été appliquées pour lutter contre ce ravageur afin de réduire son impact sur les productions de tomate. Un aperçu sur ces techniques permet de constater qu'il n'y a pas de méthode miracle, car chaque méthode présente des avantages et des inconvénients sans pour autant permettre l'éradication complète du ravageur (SILVA, 2008). Il est important de rappeler que, dans son aire d'origine, *T. absoluta* est résistant à de nombreux produits phytosanitaires. Par ailleurs, l'expérience des pays voisins (Espagne, Tunisie, Maroc, France) touchés avant l'Algérie par les dégâts de *T. absoluta*, montre que le seul recours à la lutte chimique est insuffisant.

Depuis près de huit ans maintenant, sa répartition géographique et sa présence dans la plupart des cultures ont fait de lui le centre d'attention dans l'élaboration de méthodes de contrôle et de lutte. Nombre de techniques de lutte ont déjà été développées, en particulier la lutte biologique déclinée en quatre modes d'utilisation distincts : la lutte microbienne, qui voit l'utilisation de biopesticides à base de microorganismes comme le *Bacillus thuringiensis* ; la lutte parasitoïde qui cherche à utiliser d'autres insectes capables de parasiter l'œuf ou la larve de *T. absoluta* pour empêcher son développement ; la lutte à base de prédateurs naturels ; et enfin la lutte phéromonale utilisée à la fois sous serre et en champs (DESNEUX *et al.* 2010). Cette dernière vise à attirer les individus mâles au moyen de phéromones sexuelles, empêchant de ce fait la reproduction sexuée.

Depuis son apparition, plusieurs travaux ont été réalisés sur *T. absoluta* à travers le monde sur l'effet de la température sur le développement de celle-ci (MARCANO, 2003) et sur la lutte biologique contre cet insecte (BATALLA-CARRERA *et al.*, 2010). En Algérie les études sur la dynamique des populations sont peu nombreuses malgré les travaux sur quelques aspects de la bio écologie et sur la lutte intégrée sous serre.

C'est dans ce contexte et pour ces raisons que nous apportons notre contribution sur l'étude de la bioécologie et la dynamique des populations de *T. absoluta* par les observations au laboratoire et sous serre et le piégeage à phéromones au terrain, ainsi que des essais (tests) d'efficacité de la bactérie *Btk* contre cette mineuse.

Le mémoire est structuré d'une manière classique :

✓ Le premier chapitre est une synthèse bibliographique comportant trois parties : la première est consacrée à la description de la plante hôte (tomate : *Lycopersicon esculentum*), la deuxième est réservée à la description systématique, anatomique et comportementale de *T. absoluta* ; puis la description systématique, anatomique et le mode d'action de la bactérie *Bacillus thuringiensis* seront présentés afin de compléter les données nécessaires à la réalisation de ce travail.

✓ Dans un second temps, l'approche expérimentale (deuxième chapitre) suivra avec la présentation des objectifs définis auparavant ainsi que la description du matériel et des méthodes employées dans la réalisation de ceux-ci. La première partie de ce chapitre consiste en la présentation de la région d'étude avec ses caractéristiques notamment bioclimatiques. Dans la deuxième partie, est présentée l'étude entomologique. La dernière partie de ce chapitre est consacrée aux moyens et méthodes d'étude de la bactérie *BtK*.

✓ Finalement et dans le troisième chapitre, les résultats seront présentés et discutés de façon à pouvoir tirer les conclusions qui en découlent.

Enfin, une conclusion générale clôture ce travail avec une synthèse des principaux résultats obtenus ainsi que les perspectives que nous proposons.

CHAPITRE I
ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

PARTIE I

ETUDE DE L'HOTE VEGETAL

LA TOMATE

PARTIE I :

ETUDE DE L'HOTE VEGETAL : LA TOMATE

Les solanacées constituent une famille de plus de 2500 espèces et d'une centaine de genres issus des régions chaudes tempérées du globe en particulier d'Amérique du sud (PITRAT et FOURY, 2003).

La tomate, considérée comme fruit ou légume, est l'un des produits agricoles le plus consommé dans le monde, soit frais soit après transformation. Il constitue une source non négligeable de minéraux, vitamines et certains composés naturels secondaires ayant un potentiel antioxydant important (FREEMAN et REIMERS, 2010).

L'importance économique de cette espèce repose sur le fait qu'elle s'adapte bien aux abris serres. Elle est cultivée sur un grand nombre d'exploitations à travers l'Algérie, sous toutes les latitudes dans des conditions très variées (climats, modes de production).

1. Historique et origine de la tomate

La tomate (*Lycopersicon esculentum*) est une plante annuelle, appartenant la famille des solanacées, elle fut découverte pour la première fois par Malthiodis en 1519 (ANONYME, 1979). Elle a débordé très largement son cadre climatique original, pour devenir un légume de première importance dans tous les continents.

Originnaire d'Amérique de sud, la tomate fut domestiquée au Mexique. Son introduction en Espagne et en Italie, puis, de là, dans les autres pays européens, remonte à la première moitié au XVIe siècle. A l'origine, elle était cultivée par les aztèques ; son nom provient de «tomatl». La tomate proprement parlé, *Lycopersicon esculentum* était appelée « jitomatl » (YILMAZ, 2001).

Selon LAUMONIER (1979), la tomate, inconnue dans le vieux monde jusqu'au XVI^e siècle et encore très peu consommée au XIX^e siècle, est devenue le légume vedette du XX^e siècle, aussi bien en culture commerciale que dans les jardins familiaux. Elle s'est étendue par la suite en Afrique du Nord au 18^{ème} Siècle, au Maroc, puis en Algérie et enfin en Tunisie (TRONICKOVA, 1986).

2. Classification de la tomate

La tomate est une plante herbacée annuelle à port buissonnant appartenant à la famille des Solanacées. Elle est classée selon des critères différents liés à l'aspect botanique, la composition génétique et le type de croissance (GALLAIS et BANNEROT, 1992).

2-1. Classification botanique

Selon DUPONT et GUIGNARD (2012), la tomate appartient à la classification suivante :

- Règne : *Plantae*
- Sous règne : *Trachenobionta*
- Division : *Magnoliophyta*
- Classe : *Magnoliopsida*
- Sous classe : *Asteridae*
- Ordre : *Solanales*
- Famille : *Solanaceae*
- Genre : *Lycopersicum*
- Espèce : *Lycopersicum esculentum*

2-2. Classification variétale selon le mode de croissance

Les tomates peuvent être classées d'après leurs caractères morphologiques et botaniques. Les variétés sont très nombreuses. A cet effet, ces dernières peuvent être classées selon leur croissance qui peut être du type indéterminé ou du type déterminé (POLESE, 2007).

2-2-1. Les variétés à port indéterminé : sont les plus nombreuses. Elles sont caractérisées par une croissance végétative continue durant toute leur vie c'est-à-dire qu'elles continuent de pousser et de produire des bouquets de fleurs tant que les conditions leur conviennent.

Comme leur développement est exubérant, leur tige doit être attachée à un tuteur sous peine de s'affaisser au sol. Il est également nécessaire de les tailler et de les ébourgeonner régulièrement. Elles ont une production plus étalée et sont plus productives en général que les tomates à port déterminé (NAIKA *et al.*, 2005). Parmi ce type de croissance, il existe :

► **Les variétés fixées** : il existe plus de 500 variétés dont les caractéristiques génotypiques et phénotypiques se transmettent pour les générations descendantes. Elles sont sensibles aux maladies, mais donnent des fruits d'excellente qualité gustative. Les variétés les plus utilisées en Algérie sont la Marmande et la Saint Pierre (POLESE, 2007).

► **Les variétés hybrides** : sont plus d'un millier. Elles sont relativement récentes puisqu'elles n'existent que depuis les années 1960, qui, du fait, de l'effet hétérosis, présentent la faculté de réunir plusieurs caractères d'intérêt (bonne précocité, bonne qualité de résistance aux maladies et aux attaques parasitaires et donc bon rendement). Ces hybrides ne peuvent être multipliés vu qu'ils perdent leurs caractéristiques dans les descendance (POLESE, 2007). Les plus utilisés en Algérie sont ACTANA, AGORA, BOND, NEDJMA, TAFNA et ZAHRA

2-2-2. Les variétés à port déterminé : sont des variétés naines. Ce sont des plants auxquels on ne laisse qu'une seule tige, les bourgeons latéraux étant éliminés, comme c'est souvent pratiqué sous serre. C'est dans ce type de tomate que l'on trouve, le plus souvent, les variétés industrielles de conserverie, cultivées en plein champ. Pour ce type de croissance également, on retrouve des variétés fixées et des hybrides (POLESE, 2007). Parmi les hybrides les plus utilisés en Algérie, on peut citer FAROUNA, JOKER, TOMALAND, TOP 48 et ZERALDA. Tandis que pour les variétés fixées, il y a lieu de citer : la variété AICHA.

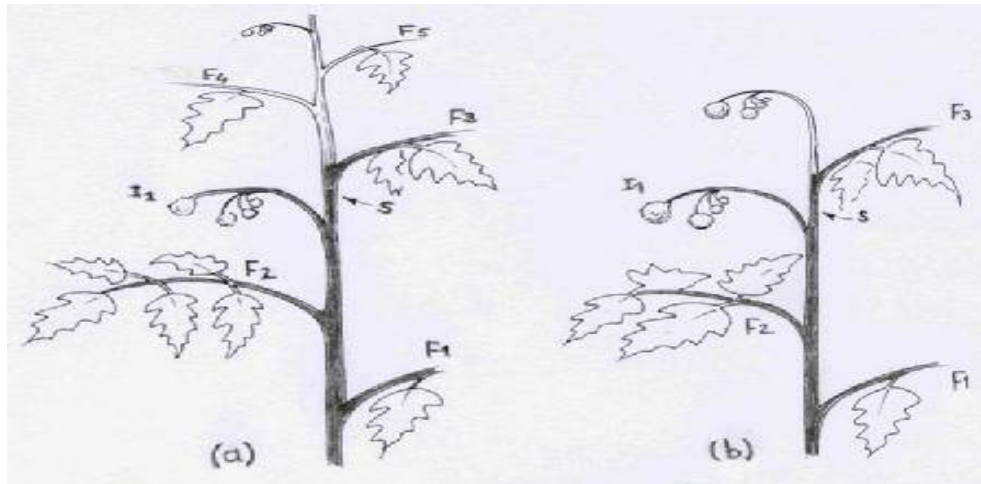


Figure 1 : Deux types de croissances (ATHERTON et HARRIS, 1986) :

(a) indéterminée, (b) déterminée

F1 à F5 : Feuille 1 à 5. I1 : Inflorescence 1. S : Sympode.

3. Caractéristiques morphologiques de la tomate

La tomate est une plante buisant à tige le plus souvent retombante (CLEMENT, 1981). Elle est obtenue à partir de graines de petite taille, poilus à germination épigée. La tige est herbacée et est recouverte ainsi que les feuilles et les jeunes fruits de poils. Cette plante potagère herbacée voit sa taille varier de 40 cm à plus de 5 mètres selon les variétés et le mode de culture (DUMORTIER *et al.*, 2010).

► **Racine** : Le système racinaire est pivotant, très puissant et ramifié sur les trente premiers centimètres. La racine principale produit une haute densité de racines latérales et adventices (Photo 1A) (CHAUX et FOURY, 1994).

► **Tige** : La tige est pubescente, épaisse aux entre-nœuds. Sa consistance est herbacée en début de croissance, puis devient un peu ligneuse en vieillissant. Les rameaux issus des bourgeons axillaires produisent des feuilles à chaque nœud et se terminent aussi par une inflorescence (Photo 1B) (CHAUX et FOURY, 1994). La tige et les feuilles portent deux types de poils : simples ou glanduleux (KOLEV, 1976).

► **Feuille** : Alternes, longues de 10 à 25 cm, sont composées, imparipennées, et comprennent de 5 à 7 folioles aux lobes très découpés. Le bord du limbe est denté. Elles sont souvent reliées en forme de cuillères ou même à bords roulés en dessus (Photo 1C). Ces feuilles sont alternées sur la tige (RAEMAEEKERS, 2001).

► **Fleur** : Les fleurs sont bisexuées. Le pistil est entouré d'un cône constitué d'étamines. La fleur comporte 5 sépales, 5 pétales, 5 à 7 étamines et 2 carpelles soudés formant un ovaire (SHANKARA *et al.*, 2005).

► **Fruit** : C'est une baie charnue de 2 ou 3 loges, à graines très nombreuses, de taille, de forme et de couleur très variées. Le pédoncule du fruit présente une zone d'abscission, de sorte que le fruit mûr se détache en conservant une partie du pédoncule ainsi que le calice. Le fruit à maturité peut se présenter soit rond et régulier ou côtelés (SHANKARA *et al.*, 2005).

► **Graines** : Nombreuses, chaque fruit contient un nombre important de graines qui varie de 80 à 500 graines. Elles sont en forme de rein ou de poire, poilues, beiges, de 3 à 5 mm de long et de 2 à 4 mm de large. L'embryon est enroulé dans l'albumen (SHANKARA *et al.*, 2005). Le cycle de la graine à la graine, est variable selon les variétés et les conditions de culture, il est en moyenne de 3.5 à 4 mois (7 à 8 semaines de la graine à la fleur et 7 à 9 semaines de la fleur au fruit) (GALLAIS et BANNEROT, 1992).

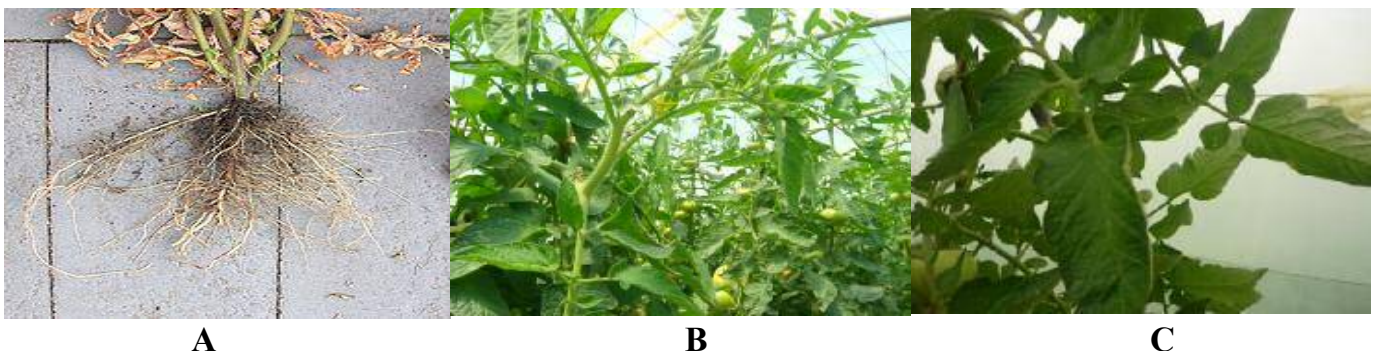


Photo 1 : Appareil végétatif de la tomate (CHAUX et FOURY, 1994) ;

A : Système racinaire ; B : Tige de tomate ; C : Feuille de tomate.

4. Cycle de développement de la tomate

4-1. La germination

La germination est le stade de levée qui mène la graine jusqu'à la jeune plante capable de croître normalement.

Le cycle végétatif dure 4 à 6 mois. L'initiation florale se produit dans les deux semaines suivant le déploiement des cotylédons.

D'après WELTY *et al.* (2007), la première inflorescence apparaît entre le 2^{ème} et le 3^{ème} entre nœud. Ce type de croissance est dit indéterminé. De nouvelles inflorescences se forment sur des ramifications secondaires développées à partir des bourgeons axillaires situés à l'aisselle de feuilles. Certaines variétés montrent une succession plus rapide des inflorescences, une seule ou aucune feuille ne les sépare ; les tiges se terminent par un bouquet.

4-2. La croissance

La croissance d'un végétal est définie par une augmentation irréversible d'une ou de plusieurs de ses dimensions. Cette augmentation se traduit par un changement quantitatif de la plante au cours du temps (MAZLIAK, 1982).

Selon LAUMONIER (1979), la croissance de plant de tomate se déroule en 2 phases et en deux milieux différents.

❶ En pépinière : de la levée jusqu'au cinq feuilles, non encore photosynthétique, avec l'apparition des racines non fonctionnelles et des pré feuilles ;

❷ En plein champ : de l'apparition des feuilles photosynthétiques et des racines qui deviennent fonctionnelles, capables d'absorber de l'eau et des éléments nutritifs. Dans cette phase, la tige s'allonge au fur et à mesure qu'il y a formation des feuilles.

4-3. La floraison

Selon SHANKARA *et al.* (2005), c'est le développement des ébauches florales, par transformation du méristème apical, de l'état végétatif à l'état reproducteur. A un certain moment de la croissance de la plante qui dure environ un (01) mois, la tomate entre en parallèle avec la mise à fleur. Ces fleurs étaient auparavant des boutons floraux. La floraison dépend de la photopériode, de la température et des besoins en éléments nutritifs de la plante.

4-4. La fécondation

Les variétés cultivées sont auto fertiles. D'après PESSON et LOUVEAUX (1984), l'autofécondation est parfaitement réalisée lorsque le style n'émerge pas du tube staminal et lorsque le stigmate est largement saupoudré de pollen.

La fécondation se fait par pollinisation naturelle sous l'influence de plusieurs facteurs tels que la température, le vent et les insectes (REY et COSTES, 1965). En effet, selon PESSON et LOUVEAUX (1984), si la température nocturne est inférieure à 13°C, la plupart des grains de pollen seraient vides, et une faible humidité dessèche les stigmates et de cela résulte la difficulté du dépôt du pollen.

4-5. La fructification et nouaison des fleurs

Après la floraison, c'est le pistil qui se développe pour former le fruit. La paroi de l'ovaire s'épaissit et les ovules qui ont été fécondés se transforment en graines qui contiennent les embryons. Le reste du pistil (style et stigmate) disparaît, ainsi que les pétales et les étamines qui tombent (SHANKARA *et al.*, 2005).

Ce qui peut gêner la mise à fruit : un coup de froid (température maximale inférieure à 12 °C) ou un coup de chaud (température minimale supérieure à 27°C ou température maximale supérieure à 40 °C) au moment de la fécondation (couleur des fleurs).

Ce qui peut favoriser la mise à fruit : des températures pas trop fortes, un peu fraîches mais pas trop froides pendant la pré-floraison. Tout ce qui contribue à augmenter la pollinisation (le vent, les mouvements, le secouage des fleurs).

5. Les exigences de la tomate

Le *Lycopersicon esculentum* Mill a des exigences particulières: sensible au froid, craint beaucoup le gel et les vents chauds. Il est très exigeant en température (POLESE, 2007).

5-1. Les exigences climatiques

5-1-1. La température

La tomate demande un climat relativement frais et sec pour fournir une récolte abondante et de qualité. La température est le facteur le plus déterminant pour la production de la tomate car la culture réagit fortement aux variations thermiques (LAMBERT, 2006). La température optimale pour la plupart des variétés se situent entre 21 et 24°C. Les plantes peuvent surmonter un certain intervalle de températures, mais en dessous de 10 °C et au dessus de 38°C les tissus végétaux sont endommagés. L'équilibre et l'écart entre température, diurne et nocturne, semblent nécessaire pour obtenir une bonne croissance et une bonne nouaison de la tomate (SHANKARA *et al.*, 2005).

Selon NAIKA *et al.* (2005), durant la croissance, la température nocturne a une grande importance puisque la majeure partie de la croissance quotidienne de la tige (70 à 80%) se produit pratiquement à l'obscurité.

Le gel qui survient après la plantation tue les plantes, c'est pourquoi il faut attendre la fin de l'hiver pour la culture en plein champs.

5-1-2. L'eau et l'humidité

La plante est très sensible à l'hygrométrie ; elle ne tolère pas les sols engorgés, ni l'humidité élevée (plus de 80%) et une hygrométrie relativement ambiante de 60% à 65% soit la meilleure pour la fécondation. En effet, lorsque l'humidité est trop élevée, le pollen est difficilement libéré. Il est essentiel de prévoir un apport d'eau suffisant pendant la fructification. Le stress causé par une carence d'eau et les longues périodes arides fait tomber les bourgeons et les fleurs et provoque le fendillement des fruits (MUNRO et SMALL, 1998).

Aux averses très intenses, les risques sont importants. D'après GUENAOUI (2008), les exigences climatiques de la tomate sont malheureusement celles qui favorisent le développement des bioagresseurs de la plante.

5-1-3. La lumière

La lumière est un facteur écologique fondamental qui intervient dans la qualité de la photosynthèse. Elle intervient également sur la croissance et la fructification de la tomate par sa durée, son intensité et sa qualité. La tomate n'est pas sensible au photopériodisme, mais, exigeante en énergie lumineuse. La longueur de l'obscurité est essentielle pour le contrôle de la croissance et le développement de la plante. Un faible rayonnement lumineux réduit le nombre de fleurs par bouquet et affecte la fécondation (CIRAD et GRET, 2002). En outre, l'intensité de la lumière affecte la couleur des feuilles, la mise à fruits et la couleur des fruits.

5-2. Les exigences édaphiques

5-2-1. Le type de sol

La tomate peut être cultivée sur une large gamme de sol. Elle aime les sols profonds, meubles, bien aérés, bien drainés et riches en humus. Une texture sablonneuse ou sablo-lumineuse est préférable (HUAT, 2008). La tomate est classée parmi les plantes à tolérance modérée vis-à-vis de la salinité.

5-2-2. La température du sol

C'est le premier facteur dont dépendent le pourcentage de levée et la vitesse de germination. Les semis doivent être soumis à une température supérieure à 16 °C. La plante croît lorsque la température du sol passe de 13°C à 30°C (ZUANG, 1982). Cette dernière intervient sur la croissance des racines, ainsi que sur l'absorption de l'eau et des éléments nutritifs.

5-2-3. le pH du sol

La tomate tolère des pH variant entre 4.5 et 8.2. Selon ZUANG (1982), un pH de 5,5 à 6,5 est le plus souhaitable pour toute la période de croissance.

Tableau 1 : Exigences de la culture de tomate en température, luminosité et hygrométrie (LAUMONIER, 1979).

	T° du sol	T° atmosphérique		Luminosité (Lux)	Hygrométrie Relative (%)
		Jour	Nuit		
Croissance	15-20 °C	18-20 °C	15 °C	1000-12000	70-80
Floraison	20-25 °C	22-25 °C	13-17° C	Très élevé	65-80
Fructification	20-25 °C	25 °C	18 °C	5000/16h/jour	60-70

5-3. Les exigences nutritionnelles

5-3-1. Les exigences hydriques

La tomate est l'une des cultures les plus exigeantes en eau. D'après BENTVELSEN (1980), les besoins de tomate en plein champ se situent entre 4000 et 5000 m³/ha. L'évolution des besoins en eau de la tomate est fonction de l'environnement, de la plante, mais aussi des stades de développement de celle-ci.

Un manque d'eau pendant la phase de maturation des fruits destinés à la transformation est bénéfique pour leur qualité, qui se traduit par une augmentation du taux d'extrait sec (DOORENBOS, 1975).

5-3-2. Les éléments fertilisants

La tomate nécessite des éléments fertilisants tels que l'azote (N), le phosphore (P), le potasse (K) ainsi que le magnésium (Mg). Une production d'une tonne de tomate requiert environ 2.2 à 2.7 Kg d'Azote, 0.7 à 0.9 Kg de phosphore, 3 à 3.3 Kg de potasse et 0.5 à 1 Kg de magnésium (NAIKA *et al.*, 2005). Il y a lieu de raisonner la fertilisation car les apports en excès qui donnent une végétation importante peuvent induire indirectement une infestation importante de la mineuse de la tomate en particulier.

6. Préparations et plantation

► Préparation du sol

La préparation du sol, selon (SHANKARA *et al.*, 2005) consiste à :

- ✓ Epancher la fumure organique et les engrais de fond. La fumure doit être localisée à une bande d'environ 20 à 30 cm de profondeur ;
- ✓ Désinfecter le sol avec des nématicides ou le bromure de méthyle s'il est nécessaire. Un délai de 15 à 20 jours doit être respecté entre la désinfection et la plantation ;
- ✓ Confectionner les billons ou lignes de plantation ;
- ✓ Installer les rampes d'irrigation à raison de 9 à 10.000 goutteurs par hectare ;
- ✓ Installer le paillage plastique qui a pour but de rehausser la température et l'humidité du sol et de contrôler les mauvaises herbes.

► Semis et repiquage

En générale, l'on repique les tomates car l'on obtient de bien meilleurs résultats lorsque les semis sont levés en pépinière.

Le repiquage des plantules sur le terrain a lieu entre 3 et 6 semaines après l'ensemencement. Les plantules de 15 à 25 cm de haut qui ont entre 3 et 5 feuilles réelles sont les plus appropriées pour le repiquage. Ce travail ne devrait être effectué que pendant l'après-midi ou pendant un jour nuageux afin de réduire le choc de transplantation, et il sera nécessaire d'arroser immédiatement (CHAUX et FOURY, 1994). Les plants repiqués doivent être sains et indemnes de mines de *T. absoluta* en particulier.

7. Pratiques de la culture

► La taille

Il est important de tailler les tomates, surtout pour les variétés qui forment un buisson dense et pour les variétés à croissance indéterminée. La taille permet d'améliorer l'interception de la lumière ainsi que la circulation de l'air.

La taille des gourmands (l'ébourgeonnage) et des extrémités des tiges (l'écimage) se fait par pinçage (POLESE, 2007). Cette action se pratique aussi pour supprimer les feuilles minées par *T.absoluta*.

► La culture protégée

Les serres permettent la protection contre les fluctuations de température. Il est également nécessaire d'assurer une protection contre les rayons intenses du soleil (radiation solaire), la pluie torrentielle, la grêle et les rafales de vent. Selon PILKINGTON *et al.* (2009) cités par FERRERO (2009), il faudra protéger les cultures contre une combinaison des conditions météorologiques. Les serres présentent des avantages non négligeables par rapport aux cultures de plein champ. Elles permettent en premier lieu de pallier les difficultés liées aux fluctuations de température, de lumière et des conditions d'humidité de plein champ, ce qui a pour avantage d'étendre considérablement la période de production (près de 11 mois de cycle).

► La répression des mauvaises herbes

Les mauvaises herbes font la concurrence aux pieds de tomate à l'égard de la lumière, de l'eau et des éléments nutritifs. Parfois elles abritent des organismes qui provoquent des maladies de la tomate et elles réduisent le rendement. Une gestion efficace des mauvaises herbes commence par un labourage profond, la pratique de la rotation des cultures et la pratique des cultures de couverture compétitives (SHANKARA *et al.*, 2005).

► Le tuteurage

Des tuteurs solides sont utilisés pour servir d'appui aux plantes et permettent de maintenir les fruits et les feuilles au-dessus du sol. Le tuteurage augmentera le nombre ainsi que la taille des fruits que donnera la plante. En outre, cela réduira le taux de pourriture des fruits et facilitera le traitement ainsi que la récolte (SHANKARA *et al.*, 2005).

8. Production et importance économique de la tomate

8-1. Dans le monde

L'importance économique de la tomate devient réellement évidente au travers de l'évolution de sa production mondiale au cours du temps. La production mondiale de tomate a progressé régulièrement au cours du XXe siècle et s'est accrue considérablement durant les dernières décennies. Elle est passée de 74 millions de tonnes en 1978 à 89 millions en 1998 et atteint plus de 126 millions en 2007 (ANONYME₁, 2009). Le tiers de cette production est assurée par le Bassin méditerranéen ; mais la Chine occupe le premier rang des pays producteurs avec 25 % de la production mondiale (TESTA, 2014).

8-2. En Algérie

La tomate est l'une des productions maraichères les plus cultivées en Algérie. Elle occupe une place privilégiée dans le secteur maraîcher (FERRERO, 2009). En 1999, la production était de 945,8 milles tonnes. En 2006 et 2007, la production atteint 796,1 milles tonnes. Selon FAOSTAT (2013), la production de tomate en Algérie est de 7,9 millions de tonnes en 2012 et elle est cultivée sur 23500 ha.

Le marché intérieur étant satisfait par la production locale. Sa production est en plein expansion, à la faveur de nombreux programmes mis en place par le Ministère de l'agriculture et du développement rural. A cet effet, de nouvelles techniques de productions sont introduites ces dernières années permettant plus de rendement à l'hectare (Tableau 2) (ANONYME₂, 2009).

Tableau 2 : Evolution de la tomate maraichère en Algérie entre 2001-2009 (ANONYME₂, 2009).

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Superficies Ha	16760	17820	18650	18650	19655	20436	20079	20789	21089
Production/Qx	3735340	4013640	4569330	5121950	5137280	5489336	5673134	5592491	6410343
Rendement Qx/Ha	222,87	225,20	245,00	263,60	243,60	268,60	282,50	284,50	308,40

La restructuration des surfaces agricoles et l'application du plan national de développement de l'agriculture (PNDA) a favorisé l'utilisation de nouveaux moyens de production (Développement des serres, utilisation des semences hybrides à haut rendement, irrigation par goutte à goutte, ...etc).

L'apparition du ravageur invasif de la tomate *Tuta absoluta* a provoqué des pertes de rendement au niveau des serres mais également sur la culture en plein champs (ANONYME₃, 2009).

9. Valeur nutritionnelle des fruits de la tomate

La tomate tient une place importante dans l'alimentation humaine, elle est consommée soit crue, soit cuite, ou comme un produit transformé tels que jus de fruits, sauces, Ketchup et de conserves.

La tomate est un aliment diététique, très riche en eau (93 à 95%), en éléments minéraux et en oligo-éléments (Tableau 3). Parmi les minéraux de la tomate, le potassium domine largement, suivi par le chlore, le phosphore et le magnésium. Parmi les oligo-éléments, on peut noter des teneurs non négligeables en fer et en zinc, ainsi que des traces de cobalt, de nickel, de fluor, de bore et de sélénium. Les vitamines du groupe B sont assez abondantes et toutes représentées y compris la vitamine B8 et l'acide folique (B9). Par contre, ce fruit ne renferme que de faibles quantités de glucides (3%), de protéines (moins de 1 %) et seulement des traces de lipides. De ce fait, elle est pauvre en calories (15 Kcal pour 100 g, soit 63 kJoules) (FAVIER *et al.*, 2003).

Tableau 3 : Valeur nutritionnelle moyenne pour 100g de tomate crue (FAVIER *et al.*, 2003)

Composants de la tomate crue Valeur nutritionnelle pour 100g		
Eau		93,8g
Valeur calorique		19Kcal
Eléments énergétiques	Protides	0,8g
	Glucides	3,5g
	Lipides	0,3g
Vitamines	Provitamine A	0mg
	Vitamine B1	0,06mg
	Vitamine B2	0,05mg
	Vitamine B6	0,08mg
	Vitamine C	18mg
	Vitamine PP	0,6mg
Minéraux	Fer	0,4mg
	Calcium	9mg
	Magnésium	11mg
	Phosphore	24mg
	Potassium	226mg
	Sodium	5mg
	Soufre	11.00mg
	Zinc	0.24mg
	Chlore	40.00mg
Fibres		1,2g
Cellulose		0.60g

10. Importance médicale de la tomate

Dans les dernières décennies, la consommation de tomate a été associée à la prévention de plusieurs maladies comme le cancer ou les maladies cardiovasculaires (SHARONI et LEVI, 2006).

Cet effet protecteur a été principalement attribué à ses précieux composants bioactifs avec propriétés antioxydants comme les carotènes (lycopène qui donne leur couleur rouge aux tomates ainsi que β -carotène), l'acide ascorbique, tocophérol et les composés phénoliques (PERIAGO *et al.*, 2009). BALASUNDRAM *et al.* (2006) notent que aussi que le lycopène a d'autres effets bénéfiques sur la santé tels que l'induction de la communication entre les cellules, la modélisation des hormones du système immunitaire et d'autres voies métaboliques ; alors que les composés phénoliques présentent un large éventail de propriétés physiologiques comme des anti-allergéniques, anti-inflammatoires, anti-microbien, antithrombotique, anti-athérogène et effets cardioprotecteurs et vasodilatateurs.

11. Pathologies et ravageurs de la tomate

Il y a lieu de noter que l'aspect maladies et ravageurs des cultures représente un facteur très important dans leur conduite avec une production économiquement viable et respectueuse de l'environnement et surtout pour la santé humaine. Selon BLANCARD (2009), le nombre des maladies et ravageurs affectant la tomate est important : plusieurs centaines de bioagresseurs, plus de 50 affections non parasitaires, sans compter les nouvelles pathologies émergeant avec une fréquence inquiétante.

11-1. Ravageurs de la tomate

11-1-1. Nématodes

Ce sont de très petits vers (anguillules) qui vivent dans les racines de la plante. Les symptômes caractéristiques sont des galles qui se développent sur les racines des plantes. On peut citer *Meloïdogyne icognita*, *Meloïdogyne arenaria* et *Meloïdogyne javanica*. Les plantes atteintes restent petites de taille et sont sensible aux maladies fongiques et bactériennes transmises par le sol (SHANKARA *et al.*, 2005).

11-1-2. Acariens

En agriculture, certains sont connus sous le nom d'araignées rouges ou jaunes (Tétranyques). Ils causent surtout des dégâts aux feuilles, provoquant des décolorations. Une attaque sévère provoque la chute des feuilles.

➤ **Acariose bronzée de la tomate, *Aculops lycopersici*** : Leurs piqûres donnent aux feuilles et aux tiges un aspect brillant, huileux et une coloration bronzée. Finalement les feuilles durcissent, brunissent et la plante se dessèche. Les fruits peuvent également présenter une couleur bronzée (RECKHAUS, 1997).

➤ **Acariose du cotonnier (Acarien ravisseur), *Polyphagotarsonemus latus*** : Ces acariens se trouvent surtout sur la face inférieure des feuilles. Ils causent une nécrose des parties inférieures des feuilles, qui se plissent progressivement. Les attaques se concentrent sur les jeunes pousses. C'est une espèce d'acarien peu importante sur la tomate (RECKHAUS, 1997).

11-1-3. Insectes

Tous les insectes qui piquent et qui sucent, tels que les thrips, les pucerons, et les mouches blanches, ne provoquent des dommages mécaniques que lorsqu'ils surviennent en grands nombres, mais les virus qu'ils peuvent transmettre, provoquent des dommages bien plus importants (SHANKARA *et al.*, 2005).

➤ **Les Pucerons** : Les pucerons sont de petits insectes (1,0 à 2,5 mm) qui se développent en général en colonies sur la face inférieure des feuilles. Ils attaquent aussi les jeunes pousses et les boutons floraux. Ce sont des vecteurs de viroses importants. A titre d'exemple le puceron du cotonnier (Puceron du melon), *Aphis gossypii* et le puceron vert du pêcher, *Myzus persicae* qui sont des vecteurs de la Mosaïque du concombre et d'autres virus qui peuvent attaquer la tomate (LEBOEUF *et al.*, 2005).

➤ **Les Aleurodes** : Selon RECKHAUS (1997), les aleurodes des serres, ou mouches blanches des serres (*Tialeurodes vaporarium*) sont à redouter dans les cultures sous abri, ainsi qu'une autre espèce apparue plus récemment, l'aleurode du tabac (*Bemesia tabaci*) (Photo 2A). D'après ALABOUVETTE *et al.* (2003), l'aleurode a la capacité de transmettre des virus tels que le TYLCV (le virus de la maladie des feuilles jaunes, en cuillère de tomate).

➤ **Les Thrips** : Thrips de l'oignon, Thrips *tabaci* : Les adultes, de couleur brun-jaunâtre, mesurent 1 mm de long (Photo 2B). Les adultes et les larves sucent les cellules des feuilles en provoquant de petites taches argentées. Souvent les infestations commencent sur les bords du champ à cause de migrations d'adultes provenant d'autres champs ou des mauvaises herbes poussant sur les friches avoisinantes (NAIKA *et al.*, 2005).

➤ **Les Coléoptères**

- *Diplognatha gagates* (Förster) : L'adulte de cette cétoine mesure 20 à 25 mm de long. Il est brun foncé, presque noir et luisant. C'est une espèce assez polyphage. Parmi les cétoines qui attaquent les fruits, cette espèce est la plus dangereuse (RECKHAUS, 1997).

- *Epicauta tomentosa* Mäklin : C'est un coléoptère méloïdé de couleur grisâtre. L'adulte, long de 12 mm et large de 4 mm environ, se nourrit des feuilles de jeunes plantes (RECKHAUS, 1997).

➤ **Les Lépidoptères**

- Les **noctuelles** : Ce sont des ravageurs courants dans les cultures de tomates. Des œufs verts ou bruns sont déposés sur les feuilles et les fruits. Les larves qui sortent des œufs se nourrissent des feuilles, des fleurs, des fruits et même des racines. Alors qu'elles se nourrissent, les chenilles grandissent et traversent un certain nombre de phases de croissance larvaire (LEBOEUF *et al.*, 2005).

- Les **vers gris (Photo 2)** : Ce sont les chenilles de papillons de nuit, de la famille des noctuidées, exemple : espèce : *Peridroma saucia*. Les femelles pondent dans le sol au niveau des tiges. Les larves sont gris brun et ne sortent que la nuit (Photo 2D). Le jour, elles se cachent dans le sol à quelques centimètres sous la surface. Les dégâts occasionnés par le vers gris s'observent généralement au printemps, après la transplantation sur le collet des plantes, mais ces derniers peuvent également s'attaquer aux feuilles, aux fruits ou aux racines (LEBOEUF *et al.*, 2004).

- **La mineuse de la tomate (Photo 2)** : Au sein de la biocénose de la tomate, la mineuse de la tomate (*Tuta absoluta*) semble être la plus importante actuellement (Photo 2C). La larve minuscule (moins de 8 mm de long) de ce lépidoptère de la famille des Gelechiidae attaque les feuilles et les fruits de la tomate, ainsi que d'autres Solanacées. Ce ravageur, originaire d'Amérique du sud, est apparu dans le bassin méditerranéen à partir de 2006 et en Algérie en 2008 (GUENAOU, 2008). La lutte contre ce nouveau ravageur passe, outre les mesures de prophylaxie, par des pièges à phéromones et l'emploi de d'auxiliaires parasitoïdes des œufs et des larves. Cette espèce de ravageur sera abordée dans le chapitre suivant.



A



B



C



D

Photo 2 : Différents insectes affectant la tomate.

A : La mouche blanche ALABOUVETTE *et al.* (2003) ;

B : Adulte du thrips ; C : Adulte de *Tuta absoluta* ; D : Grosse larve de vers gris panaché (LEBOEUF *et al.*, 2004).

11-2. Pathologies de la tomate

11-2-1. Pathologies fongiques

➤ **Le Mildiou**: causé par *Phytophthora infestans*, anciennement classé parmi les mycètes. Cette maladie peut dévaster les cultures de tomates durant les périodes fraîches et pluvieuses. Le mildiou peut s'attaquer à tous les organes aériens de la plante. Il se manifeste par des taches nécrotiques, irrégulières, d'extension rapide, entourées d'une marge livide. Sur les tiges on voit des plages brunes pouvant les ceinturer. Les fruits mildiousés bruns marbrés, irrégulièrement bosselés en surface (MESSAIEN *et al.*, 1991).

➤ **Maladie des taches brunes de la tomate**, *Alternaria solani* Sorauer. Les plantules infectées présentent au niveau du collet et plus haut sur la tige des taches brunes, allongées, légèrement déprimées, qui peuvent présenter des bandes concentriques. Si les plants survivent à l'attaque, les taches s'étendent tout autour de la tige, ce qui provoque une diminution de la croissance et de la récolte, parfois même la mort. Des taches brunes peuvent se développer également sur les tiges et les fruits. Sur les fruits, elles apparaissent généralement au niveau de l'attache et sont souvent déprimées (BLANCARD, 2009).

➤ **Pourriture brune du collet** (Rhizoctone noir), *Rhizoctonia solani* Kühn. Ce champignon peut provoquer une fonte des semis. Avant la levée, il peut tuer le germe ou causer des taches brunes ou rougeâtres sur n'importe quelle partie de la plantule. Après la levée, il provoque une lésion brune, brun-rouge ou presque noire sur la tige au niveau du sol. Selon MESSAIEN *et al.* (1991), sur les plantes plus âgées, une pourriture des racines peut se développer. Les racines présentent des taches distinctes de couleur sombre ou bien une pourriture générale de couleur rougeâtre ou brunâtre.

➤ **Oïdium** : causé par *Oidium neolycopersici* qui provoque des taches sur feuilles assez caractéristiques des oïdiums. Celle –ci sont poudreuses et blanches et couvrent plutôt la face supérieure des folioles de tomate. Les tissus touchés deviennent chlorotiques, brunissent localement et finissent par se nécroser. Des taches comparables peuvent être observées sur la tige. Les fruits ne semblent pas affectés (BLANCARD, 2009).

11-2-2. Pathologies bactériennes

Les bactéries pathogènes ont besoin d'humidité pour se multiplier. Un feuillage mouillé par de la pluie, du brouillard, de la rosée, une forte humidité ou l'irrigation peut fournir aux bactéries un milieu propice à leur prolifération (LEBOEUF *et al.*, 2005).

➤ **Le chancre bactérien** : causé par *Clavibacter michiganensis*. Le chancre bactérien, qui peut faire suite à une infection primaire (systémique) ou à une infection secondaire (foliaire), se manifeste par un éventail de symptômes (Photo 3A). Les infections primaires sont attribuables à des semences infectées ou à l'invasion par les bactéries des tissus vasculaires des plantules. Les symptômes commencent par le flétrissement des feuilles inférieures qui s'enroulent vers le bas. Sur les fruits, peuvent apparaître des taches ocellées relativement petites (LEBOEUF *et al.*, 2005). Dans le cas des infections secondaires, il se forme sur la bordure des feuilles, des taches brun ou noir délimitées par un liséré jaune (chlorotique) étroit.

➤ **La tache bactérienne** : causée par *Xanthomonas campestris pv vesicatoria* est l'une des maladies les plus graves dans de nombreux domaines. Selon UYS *et al.* (1996), les symptômes de cette maladie apparaissent sur les feuilles, les fleurs, les tiges et les pétioles (Photo 3B). Des petites lésions graisseuses et translucides apparaissant au hasard sur les folioles ou en bordure du limbe et donnant lieu à des taches brunes à noires qui finissent par se nécroser et se dessécher. Des lésions comparables sont visibles sur les pétioles, la tige, les pédoncules et les sépales. Sur les fruits des lésions graisseuses de couleur verte à noir donnent lieu à des pustules liégeuses en relief, craquelées, pouvant atteindre 1 cm de diamètre (Photo 3C) (BLANCARD, 2009).

➤ **La moucheture bactérienne** : Cette maladie est causée par *Pseudomonas syringae* pv. *tomato*. Elle est aujourd'hui largement répandue dans les zones de production de la tomate et très destructive dans le monde entier (TAMIETTI et CUGUDDA, 1987). Les lésions de la moucheture bactérienne peuvent apparaître n'importe où sur le feuillage, les tiges ou les fruits.

**A****B****C**

Photo 3 : Les maladies bactériennes de la tomate.

A : Le chancre bactérien ; (LEBOEUF *et al.*, 2005) B : Lésions de la tache bactérienne sur une feuille de tomate ; C : Défoliation et symptômes de la tache bactérienne sur les fruits d'un plant de tomate (BLANCARD, 2009).

11-2-3. Pathologies virales

En général, les symptômes sont un jaunissement marbré, des déformations et un enroulement des feuilles. Quelques viroses causent un rabougrissement sérieux des plantes. Parfois les fruits sont marbrés ou présentent des malformations (NAIKA *et al.*, 2005).

➤ **Tomato Yellow Leaf Curl Virus, TYLCV.** : ou maladie des feuilles jaunes en cuillères de la tomate. C'est un virus qui est transmis par la mouche blanche (*Bemisia tabaci*). Les symptômes sont le rabougrissement, le jaunissement et l'enroulement des feuilles. Les dégâts sont plus sérieux si l'infestation est précoce. Les feuilles sont de tailles réduites et présentent un jaunissement et/ou un enroulement en forme de cuillères (SHANKARA *et al.*, 2005).

➤ **Mosaïque du concombre, Cucumber Mosaic Virus (= CMV).** Les jeunes plantes jaunissent et rabougrissent. En début d'attaque les jeunes feuilles présentent une marbrure ou une mosaïque. Puis les feuilles prennent un aspect filiforme. Ce virus est transmis de manière non-persistante par des pucerons (BLANCARD, 2009).

➤ **ToCV (Tomato Chlorosis Virus)** : transmis par plusieurs espèces d'aleurodes selon le mode de semi- persistant, on peut observer des marbrures chlorotiques irrégulières, un jaunissement et une nécrose du limbe. Des déformations foliaires sont également visibles, notamment un enroulement du limbe. Les plantes affectées précocement sont peu vigoureuses. La production en fruits peut être fortement réduite (BLANCARD, 2009).

11-3. Pathologies non parasitaires

Elles sont nombreuses sur tomate et peuvent concerner les racines et le collet, la tige, le feuillage, aussi bien que les fruits (MESSIAEN *et al.*, 1991). Elles sont généralement provoquées par des carences au niveau des éléments nutritifs et par des conditions climatiques défavorables (SHANKARA *et al.*, 2005).

▶ **L'asphyxie racinaire** : Quand des irrigations trop abondantes ou des pluies excessives amènent le plan d'eau à la surface du sol (MESSIAEN *et al.*, 1991).

▶ **Altérations de la tige** : citons le cas de la maladie de la « **tige boursouflée** » qui atteint les jeunes plantes poussant sous une alimentation azotée excessive. La partie supérieure de la tige s'épaissit de façon irrégulière, avec boursoufflure, fasciation et nécrose interne (SHANKARA *et al.*, 2005).

► **Altérations du feuillage**

✓ **L'enroule physiologique** du feuillage de tomate se manifeste lorsque des plantes très vigoureuses sont tenues très strictement ébourgeonnées et arrêtées à leur sommet. L'aspect des plantes atteintes est très laid (MESSIAEN *et al.*, 1991).

✓ **Les intumescences** : sont la conséquence de l'hypertrophie des cellules sous-épidermiques principalement à la face inférieure des feuilles. L'apparition des intumescences est liée à une évacuation insuffisante de l'eau apportée par la sève brute, que les stomates n'arrivent pas à vaporiser totalement. Les secteurs argentés apparaissent de façon aléatoire, par taches foliaires ou secteurs. Cette argenture conduit à un décollement de l'épiderme de la face inférieure des feuilles. Elle est favorisée par les températures diurnes anormalement basses (inférieure à 18°C) pendant la croissance des plants destinés aux cultures sous abri (MESSIAEN *et al.*, 1991).

► **Altérations des fruits**

✓ **Les coups de soleil** : C'est une maladie causée par un ensoleillement excessif, traduit par une lésion décolorée, en exposition latérale ou supérieure : c'est souvent la conséquence d'un effeuillage excessif (Photo 4A) (BLANCARD, 2009).

✓ **Les fentes de croissance** : Les fentes de croissance se présentent comme des fissures à l'extrémité du pédoncule, d'où elles se propagent de manière concentrique ou radiale (Photo 4B). D'après MESSIAEN *et al.* (1991), selon le cultivar, les fentes peuvent apparaître sur le fruit mature encore vert jusqu'au stade de la pleine maturité. La vulnérabilité varie selon le cultivar. Les fentes de croissance peuvent être causées par des altérations dues taux de croissance ou des fluctuations de l'humidité ou de la température.

✓ **Eclatement des fruits de la tomate:** Les symptômes se manifestent par l'éclatement du fruit en mûrissant (Photo 4C): La cause c'est l'arrosage excessif pendant les périodes sèches. Pour y lutter : Il faut maintenir l'humidité constante pendant le développement des tomates (CHAUX et FOURY, 1994).

✓ **La Nécrose apicale :** Développement à l'extrémité des fruits, au niveau ou à proximité de l'attache pistillaire, de petites lésions humides, assez diffuses dans un premier temps, brunissant et s'étendant progressivement par la suite (Photo 4D). A terme, une large altération brunâtre à noire, plus ou moins concave et bien délimitée, de consistance plutôt sèche, déprécie l'extrémité apicale de un ou plusieurs fruits (Photo 4). Ce symptôme est aussi dénommé trivialement « **cul noir** » par les producteurs. Cette pourriture apicale est provoquée par une carence en calcium (MESSIAEN *et al.*, 1991).

► **Altérations du collet :**

✓ **Collet verdit :** Les symptômes sont : La tomate rougit mais le collet (partie de la queue) reste vert. La cause de cette maladie c'est le manque de potassium et l'excès de soleil. Selon Pour y remédier, il faut ombrager les rayons de tomate et apporter régulièrement de l'engrais, tout au long du développement des tomates (BLANCARD *et al.*, 2009).

✓ **Collet jaunît :** Dans ce cas la tomate rougit aussi, mais le collet (la partie avec la queue) reste jaunît. La cause de cette maladie c'est le manque d'azote, de potassium et la température élevée. Il n'y a qu'un moyen de lutte, il faut y apporter régulièrement de l'engrais (BLANCARD *et al.*, 2009).



A



B



C



D

Photo 4 : Les contraintes abiotiques de la tomate (BLANCARD, 2009).

A : Coup de soleil fruit ;

B : Fentes de croissance sur tomate

C : Eclatement du fruit de tomate

D : Nécroses apicales sur tomate

PARTIE II

LE RAGAGEUR DE LA TOMATE

Tuta absoluta (Meyrick)

PARTIE II :

Le ravageur de la tomate : *Tuta absoluta* (Meyrick)

Tuta absoluta (Meyrick) (*Lepidoptera* : *Gelechiidae*) est un insecte oligophage, appelé couramment mineuse de la tomate, s'attaquant exclusivement aux solanacées (LIETTI, 2005).

Dans de bonnes conditions climatiques *T. absoluta* peut s'attaquer à la culture de pomme de terre (PEREYRA et SANCHEZ, 2006), le poivron (GUENAOUI, 2008), l'aubergine ainsi que des plantes spontanées comme *Solanum nigrum* L. (ESTAY, 2000). La mineuse de la tomate cause des pertes substantielles de rendement de la tomate cultivées aussi bien sous serre, qu'en plein champs (ANONYME, 2008). Les attaques se produisent sur toute la partie aérienne de la plante (feuilles, fleurs, tiges et fruits) (GUENAOUI et GHELAMALLAH, 2008).

La lutte contre ce nouveau ravageur passe, outre les mesures de prophylaxie, par des pièges à phéromones et l'emploi d'auxiliaires parasitoïdes des œufs et des larves.

1. Position systématique

Tuta absoluta, autrefois appelé *Phthorimaea absoluta*, est un microlépidoptère de la famille des *Gelechiidae* découvert par Edward Meyrick en 1917. Comme la systématique a grandement évolué avec les avancées technologiques, la dénomination du genre prit plusieurs formes, d'abord modifiée en *Gnorimoschema* en 1962 par CLARKE, puis en *Scrobipalpula* en 1964 et en *Scrobipalpuloides* en 1987 par POLVONY. Ce n'est qu'en 1994 que ce dernier introduisit le nom de *Tuta absoluta*, définitivement adopté depuis (OEPP/EPPO, 2005).

La position systématique de *T. absoluta* est la suivante (ANONYME₁, 2010) :

- Embranchement : *Arthropoda*
- Classe : *Insecta*
- Ordre : *Lepidoptera*
- Sous Ordre : *Microlepidoptera*
- Super Famille : *Gelechioidea*
- Famille : *Gelechiidae*
- Genre : *Tuta*
- *Nom bionominal* : *Tuta absoluta* **Meyrick, 1917**
- Nom commun : Mineuse de la tomate

2. Origine et aire de répartition géographique de *T.absoluta*.

2-1. Dans le monde

Comme la tomate, ce prédateur est aussi originaire d'Amérique du sud (SIQUEIRA *et al.*, 2000). Connu initialement sous le nom de *Scorbipalpuloidea*, il a été décrit pour la première fois au Pérou par l'entomologiste Meyrick en 1917 (POVOLNY, 1994). L'insecte s'est rapidement propagé sur l'ensemble des pays d'Amérique latine depuis le début des années soixante en devenant le ravageur le plus dévastateur de la tomate. Selon URBANEJA *et al.* (2008), sa présence est signalée dans tous les pays d'Amérique du sud.

C'est à partir du Chili qu'elle a envahit l'Argentine en 1964 (GARCIA et ESPUL, 1982). Au Brésil il a été mis en évidence en 1980 et d'autres pays de la région comme la Colombie, l'Equateur, le Paraguay, Uruguay, Venezuela sont touchés par ce ravageur (SUINAGA, 2004).

NOTZ (1992) laisse supposer que l'insecte n'a pas été signalé dans les Andes à une altitude plus de 1000 m, sans doute à cause des températures basses qui ne permettent pas d'assurer sa survie et son développement. Ce ravageur a été signalé au Japon par plusieurs auteurs, mais sans gravité.

Dans le Bassin Méditerranéen, les populations de *T. absoluta* furent signalées pour la première fois en fin 2006 en Espagne dans la province agricole de castellon ; leur présence s'est élargie le long de la cote méditerranéenne, pour atteindre les Iles Baléares à Ibiza (E.P.P.O, 2008).

En Italie, la présence de *Tuta absoluta* est mentionnée au printemps 2008 dans la province de Cosenza sur la tomate cultivée sous serre. Puis l'espèce s'est propagée vers le Sud de la France en septembre de la même année (FREDON, 2008). Elle est signalée dans d'autres pays de l'Est de l'Europe. En août 2009, les premières larves de *T. absoluta* sont trouvées dans la province d'Izmir en Turquie. En 2009, ce redoutable ravageur a été également signalé au Pays bas dans une station de conditionnement de tomate (HMIMINA, 2009) (Figures 2-3).

Aujourd'hui, on sait avec certitude que les échanges commerciaux entre les continents augmentent les possibilités de propagation du ravageur. Par ailleurs, il a été démontré que *Tuta absoluta* peut parcourir de nombreux kilomètres en volant et en se laissant porter par le vent.

2-2. Au Maghreb

Dans la région du Maghreb, ce ravageur a été observé pour la première fois en Algérie en mai 2008. Au Maroc, la mineuse de la tomate fait sa première apparition en Mai 2008 dans la plaine de Bouaàreg (province de Nador) et a entraîné des dégâts très importants sur la tomate sous serre et de plein champ (HMIMINA, 2009). La Tunisie n'a pas été épargnée par les attaques de ce ravageur, car les premières attaques ont été observées sur tomate fin Octobre 2008. En l'espace de seize (16) mois (de mars 2008 en Algérie jusqu'au juillet 2009), ce ravageur a parcouru toute la côte du Maghreb.

2-3. En Algérie

En 2007, la présence de *Tuta absoluta* s'est élargie le long de la cote méditerranéenne (URBANEJA *et al.*, 2008) pour atteindre les Iles Baléares à Ibiza (E.P.P.O, 2008). A partir de l'Espagne *Tuta absoluta* a envahit l'ouest algérien.

Ce micro lépidoptère fût signalé pour la première fois dans la région maraichère de Mostaganem sur tomate en serres durant le printemps 2008 (GUENAOUI, 2008). Des galeries inhabituelles ont été observées sur les feuilles de tomate cultivée sous serre. Dans un premier temps, elles ont été confondues avec les dégâts causés par la mouche mineuse, mais une observation plus approfondie a révélée la présence de micro lépidoptère. Plus tard, après l'obtention des adultes, à partir des larves collectées et élevées, son identification a été confirmée en avril 2008.

Depuis, il s'est propagé à l'ensemble des serres de la région Ouest de l'Algérie, puis du Centre et de l'Est. D'autres foyers ont également été signalés dans la commune de Hassi Bounif (prés d'Oran). La dissémination de ce ravageur s'est poursuivie d'abord sur tout le littoral et la région sublittoral (Tipaza, Jijel, Bejaia, El taref, Annaba et Alger), puis dans différentes régions intérieures et même dans le sud du pays (Blida, Batna, Ouargla, Adrar).

Dans la région de Mascara, cet insecte a été signalé en mars 2009. Sa dispersion rapide d'Ouest en Est a alerté les autorités phytosanitaires qui ont déclaré cet insecte comme ravageur majeur de la tomate.



Figure 2 : Répartition géographique de *Tuta absoluta* (ANONYME₂, 2010).

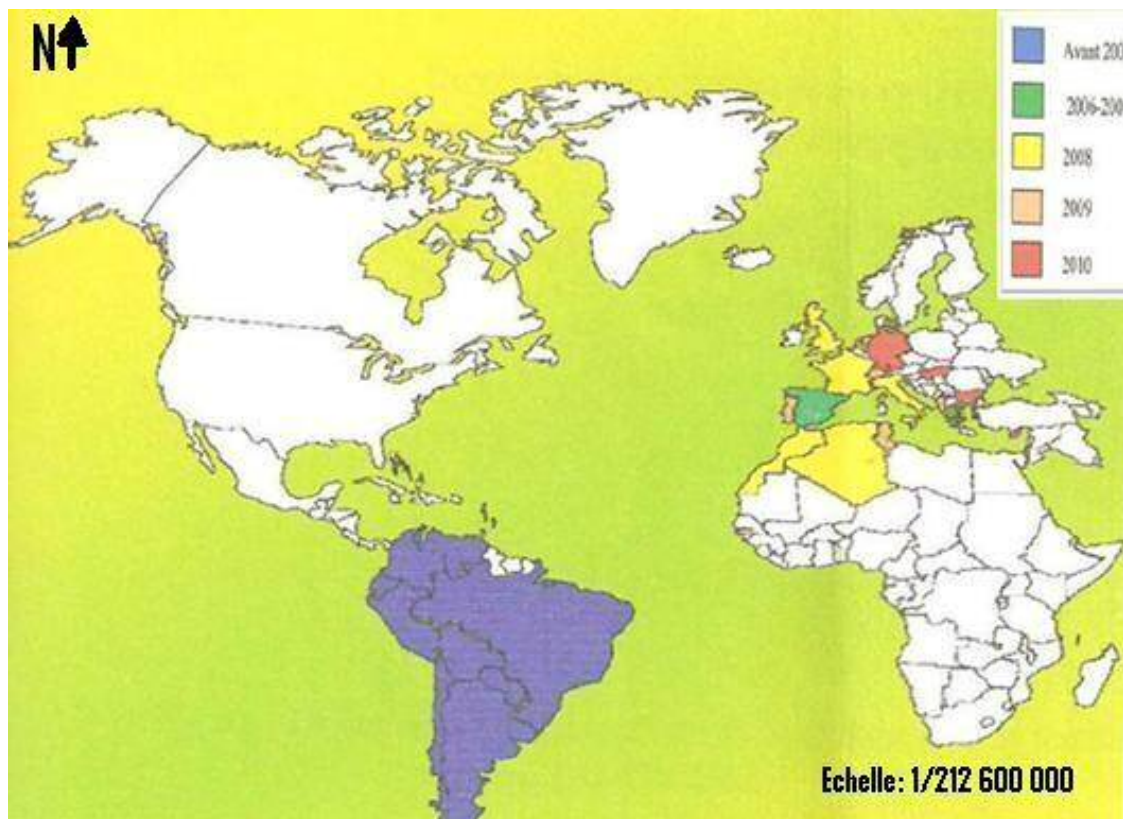


Figure 3 : Répartition mondiale et propagation de *T. absoluta* (RAMEL, 2010).

La direction d'avancement du ravageur à travers le territoire national est illustrée dans la carte ci-dessous (Figure 4).

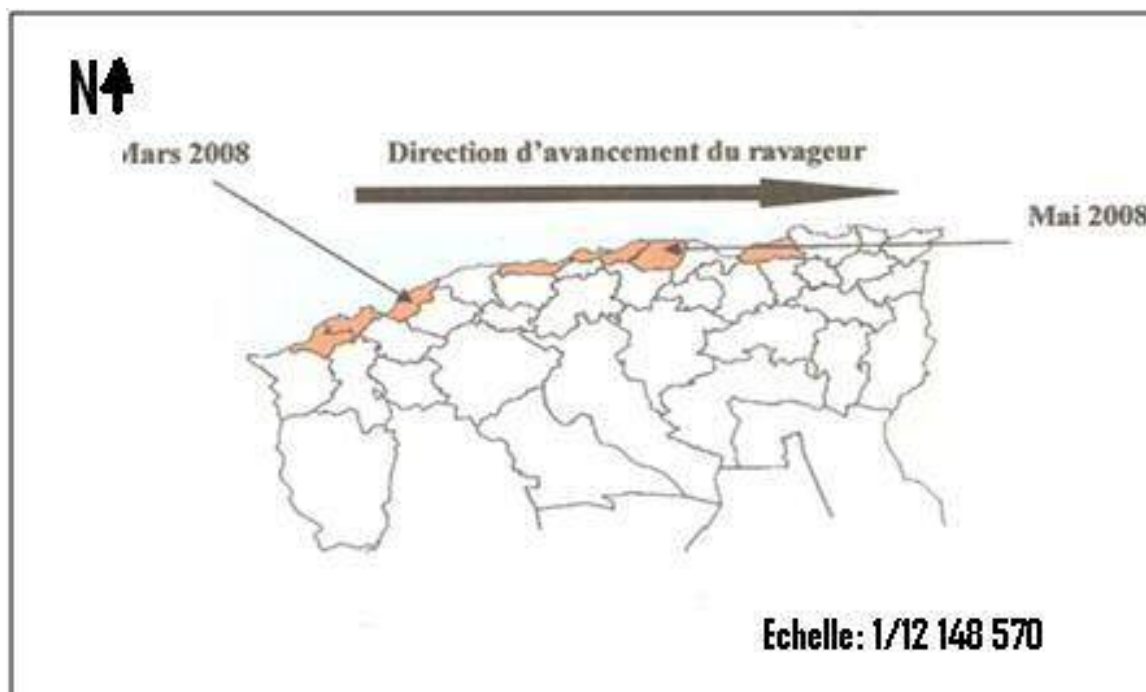


Figure 4 : Direction d'avancement de *T. absoluta* en Algérie (ANONYME, 2008)

3. Description morphométrique de *Tuta absoluta*

3-1. L'œuf

L'œuf, de forme ovale, mesure 0,36 mm de long et 0,22 mm de diamètre environ. De couleur blanc-crème à la ponte, ils deviennent jaune-orange en plein développement et plus foncé à l'approche de l'éclosion (MOLLA *et al.*, 2008).

L'incubation dure de quatre à dix jours selon la température ; elle est de quatre à huit jours lorsque la température est de 22 à 24 °C (GILLIAN, 2009). Les œufs sont généralement déposés individuellement, plus rarement par paquet.

Selon ESTAY (2000), la ponte a lieu le plus souvent à la face inférieure des feuilles, rarement sur les tiges et les nervures et encore moins sur les fruits.

Selon LEBDI GRISSA *et al.* (2010), la fécondité moyenne des femelles accouplées une seule fois est de 110 œufs/femelle alors qu'elle est de 230 œufs/femelle chez les femelles accouplées plusieurs fois ; mais très souvent la ponte réelle est de 50 œufs en moyenne. La fertilité est de 79,6 % et 98,1 % respectivement chez les femelles accouplées une seule fois et celles accouplées à plusieurs reprises.



Photo 5 : le 1^{er} : œuf jaune-orange et le 2^{ème} : blanc crème (originale)

3-2. Les stades larvaires

La durée des stades larvaires varie de 12 à 15 jours selon la température (MARCANO, 2008). De façon caractéristique, les larves sont très actives et se tortillent quand on les touche. Le stade larvaire dure dix jours lorsqu'il fait de 24 à 26°C (GILLIAN, 2009). L'insecte se caractérise par la présence de quatre stades larvaires bien définis et différenciés en taille et en couleur (MOLLA *et al.*, 2008). D'après LEBDI GRISSA *et al.* (2010), les mesures de la longueur de la larve (L) et de la largeur de la capsule céphalique (CC) démontrent la corrélation positive existant entre ses 2 critères et permettent de faire ressortir 4 paliers révélant les 4 stades larvaires de *T. absoluta*. Ainsi, les valeurs de la capsule céphalique varient de 0,1 à 0,6 mm en passant du 1^{er} au 4^{ème} stade larvaire, alors que la longueur de la larve varie de 0,4 à 7,3 mm (la taille de la larve L₄ est en moyenne 10 fois plus longue que la larve L₁).

✓ Durant le premier stade larvaire (L_1), celle-ci arbore une couleur crème, avec une tête sombre mesurant environ 0,6 à 0,9 mm (SILVA, 2008). Elle atteint une taille de 1,6 mm de long à la fin du stade L_1 (MOLLA *et al.*, 2008). Les larves pénètrent entre les deux épidermes de la feuille et commencent à consommer le mésophile formant ainsi les galeries. La couleur vire à la couleur verdâtre par la suite.

✓ Au second stade (L_2), la chenille passe à un jaune tirant sur le vert, une étroite bande noire venant faire son apparition à l'arrière de la tête, sur le pronotum. La taille à la fin de ce stade 2.8mm (MOLLA *et al.*, 2008).

✓ Le troisième stade est caractérisé par une larve de couleur vert uni avec parfois quelques reflets violacés, sa longueur atteignant alors les 3 mm.

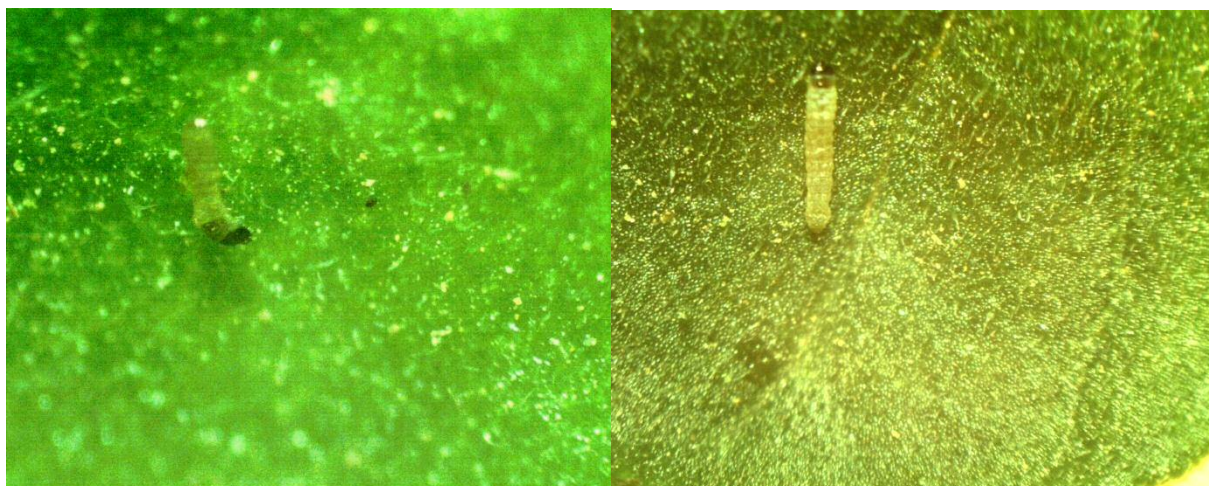
✓ Le quatrième et dernier stade larvaire est caractérisé par une larve plus grande, dont le thorax atteint une couleur rosée, et d'une longueur atteignant les 6 mm, voire 7 mm de long (LEBDI GRISSA *et al.*, 2010).

3-3. La prénymphe

A ce stade, les larves cessent de s'alimenter après avoir atteint leur développement maximal ; elles entament leur métamorphose (MOLLA *et al.*, 2008). La nymphose peut avoir lieu soit dans le sol, soit sur les feuilles ou à l'intérieur des mines. Avant de se métamorphoser, très souvent, la chenille quitte la galerie et se laisse transporter par un fil de soie vers le sol ou se déroulera la nymphose jusqu'à l'émergence. Il arrive que la nymphose se réalise au niveau de la plante, dans une galerie (GUENAOUI et GHELAMALLAH, 2008). Cette préparation à la nymphose peut se dérouler différemment.

3-4. La Nymphe

La nymphe est de forme cylindrique ; de couleur verte au début elle vire au brun foncé à l'approche de l'émergence (ESTAY, 2000). Elle mesure 4,3mm de large et 1,1mm de diamètre. Généralement, elle se recouvre d'un cocon blanc soyeux. Le stade de la pupa dure de huit à 20 jours selon la température (ARNO et GABARRA, 2011).



A : Le stade L₁



B : le stade L₂



C : le stade L₃



D : Le stade L₄

Photo 6 : Les différents stades larvaires de *Tuta absoluta* (Originale).



Photo 7 : Prénympe de *T.absoluta* (originale)



Photo 8 : Nymphes de *T.absoluta* hors le cocon de soie (originale)

3-5. L'adulte

L'adulte de *T. absoluta* mesure environ 7 mm de long et 10 mm d'envergure chez les mâles et 11 mm chez les femelles (MOLLA *et al.*, 2008). La couleur des adultes est brun grisâtre, tacheté de taches brunes. Une bande brune mince en diagonal est visible sur le tiers distal (MARCANO, 2008). Les antennes sont filiformes, ornées d'une bande brune foncée et blanche, longues de 4 à 5mm (Photo 9). Selon PEREIRA (2005), l'insecte actif la nuit, apparait clairement le matin surtout dans les premières heures. Dans la journée, il reste caché en dessous des feuilles de tomate. Les femelles ont un abdomen de couleur marron plus volumineux que chez les males (MOLLA *et al.*, 2008). Cet insecte a une activité matinale et crépusculaire pour l'oviposition (MOLLA *et al.*, 2008). L'adulte vit de sept à neuf jours à une température de 24-26 °C, et environ 23 jours à une température de 13 °C (GILLIAN, 2009).



Photo 9 : Individu adulte de *T.absoluta* (Originale)

4. Bio-Ecologie de *T.absoluta*

Avec un haut potentiel de reproduction, *T. absoluta* apparaît tout au long de l'année ou les larves n'entrent pas en diapause aussi longtemps que la nourriture est disponible (MOLLA *et al.*, 2008). Ce déprédateur peut avoir entre 10 et 12 générations par an selon les conditions climatiques (SILVA, 2008).

Ses plus grandes populations ont été observées durant la saison sèche de l'année, pouvant aller généralement jusqu'au mois de Novembre, alors que, durant la saison des pluies le taux de population diminue à des niveaux faibles (MOLLA *et al.*, 2008). PEREIRA (2005) note que l'insecte reste souvent caché pendant la journée au dessous des feuilles de la tomate, montrant une augmentation de l'activité au crépuscule.

4-1. Cycle de vie

Comme chez tous les Lépidoptères, le développement de *T. absoluta* est caractérisé comme étant holométabole. Il est composé de quatre stades de développement différents : l'œuf, la larve, la chrysalide, et enfin l'imago (Figure 5). La durée de croissance de chacun des stades se montre habituellement constante à une température moyenne donnée.

Le cycle de vie de cet insecte peut durer de 29 à 38 jours selon les conditions environnementales. *T. absoluta* est une espèce polyvoltine. Il peut y avoir de 10 à 12 générations par an. Au laboratoire, le cycle complet de *T. absoluta* varie de 26 à 38 jours, avec un chevauchement des générations (SILVA, 2008). Aussi, BARRIENTOS *et al.* (1998) estiment que le développement complet dure 76,3 jours à 14°C, 39,8 jours à 19,7°C et 23,8 jours à 27,1°C.

Tableau 4 : La durée de cycle de développement de *Tuta absoluta* en fonction de la température (TROTIN CAUDAL *et al.*, 2010).

T (°C)	Œuf (j)	Larve (j)	Chrysalide (j)	Total (j)	Adulte (j)
15	10	36	21	67	30
20	7	23	12	42	17
22	6.1	13.3	10.1	29.5	/
25	4	15	7	27	13
27	3.2	9.7	8.2	21.1	/
30	/	11	6	20	9

La longévité d'un adulte est également influencée par les conditions atmosphériques. ESTAY (2000) note que la durée de vie des femelles est située entre 10 et 15 jours tandis qu'elle est seulement de 6 à 7 jours pour les mâles. D'autres auteurs signalent que la longévité est comprise entre 10 et 22 jours pour les femelles et 10 jours pour les mâles (TORRES *et al.*, 2002). Généralement, les mâles ont une longévité plus courte que les femelles quelque soit les conditions (MOLLA *et al.*, 2008).

Selon PEREIRA (2005), les conditions climatiques ont une influence sur la dynamique des populations de l'insecte. Les facteurs météorologiques (pluviométrie, température) ont une grande influence sur la fluctuation des populations de l'insecte.

Les femelles s'accouplent une fois par jour et elles atteignent jusqu'à 6 accouplements au cours de leur vie (MOLLA *et al.*, 2008).

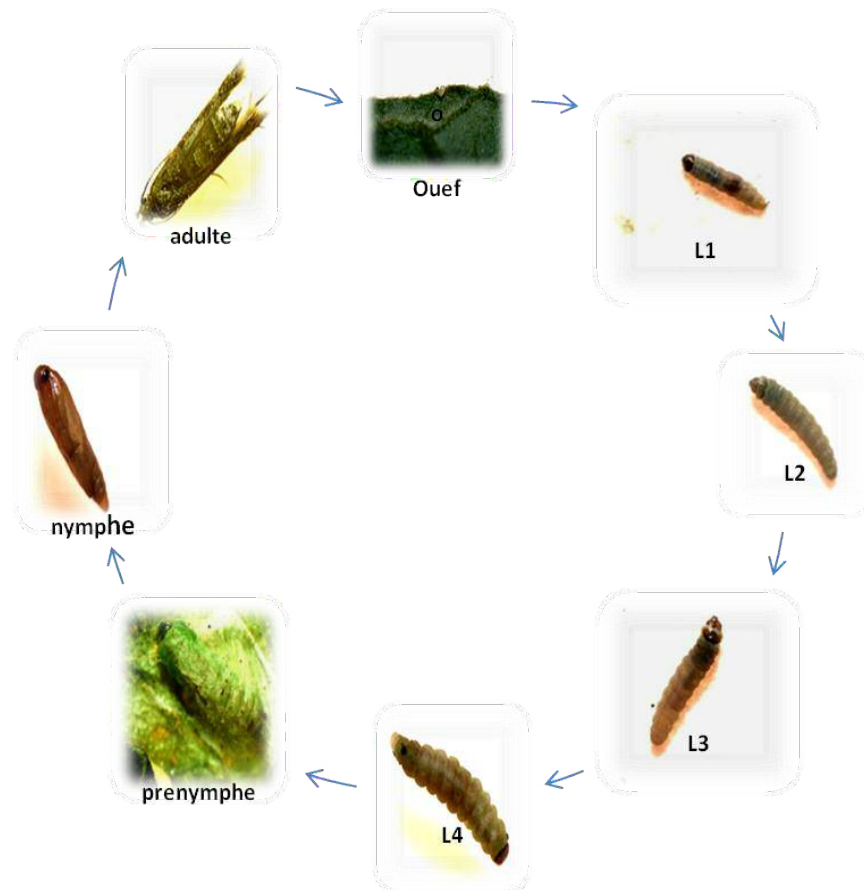


Figure 5 : Cycle biologique de *T.absoluta*

Selon KOPPERT (2013), une diapause n'intervient pas systématiquement lors du développement de cet insecte, et est même absente la plupart du temps tant qu'il subsiste une source de nourriture à proximité de l'individu. Cette diapause peut tout de même survenir à différents moments, que ce soit à l'état d'œuf, de larve ou de chrysalide.

4-2. Comportement des larves

Les larves éclosent 3 à 5 jours après la ponte, et se déplacent pendant plusieurs minutes (20 à 30mn) avant de perforer le parenchyme des feuilles, fruits ou tiges pour se comporter comme une mineuse (GUENAOUI et GHELAMALLAH, 2008). Les larves en consommant le mésophile, creusent une galerie visible par transparence. La chenille passe par quatre stades larvaires, qui se caractérisent entre eux par leur taille et la couleur qui définit l'âge larvaire de l'insecte.

Les larves de différents stades confectionnent des mines caractérisées par la présence d'excréments bruns. La période larvaire dure environ de 11,9 à 14 jours (SILVA, 2008). En fin de cycle, la larve aura consommé 2,8 cm² de la surface foliaire, dont 2,2 cm² par le 4^{ème} stade (BOGORNÍ *et al.*, 2003).

Selon GUISTOLINE *et al.* (2002), les chenilles sont actives et se déplacent dans différentes parties de la plante dans les heures les plus chaudes de la journée principalement pour le troisième et quatrième stade où les dégâts sont plus importants.

Le nombre de larves peut être influencé par plusieurs facteurs tels que l'hérédité, la température, la nutrition et le sexe (GUISTOLINE *et al.*, 2002). Selon ces mêmes auteurs, le nombre de larves augmente en fonction de la température et de la disponibilité de l'alimentation.

Au stade prénymphe, l'insecte cesse de s'alimenter et avant de se métamorphoser, la chenille quitte la galerie et se laisse transporter par un fil de soie sur le sol où se déroule la nymphose jusqu'à l'émergence. La chrysalide reste dans le sol environ 6 à 10 jours avant l'émergence (MOLLA *et al.*, 2008).

4-3. Fécondité

Les femelles déposent leurs œufs sur les feuilles de tomate, préférentiellement sur la face supérieure (TORRES *et al.*, 2002). Certains auteurs évaluent leur fécondité entre 250 et 300 œufs tout au long de leur vie, avec une viabilité de 95 % (MOLLA *et al.*, 2008), alors que d'autres l'estiment entre 60 et 120 œufs (TORRES *et al.*, 2002).

Le choix du site de ponte dépend de plusieurs facteurs ; ils sont liés à l'odorat (chimiques olfactifs) et à la vision (forme, taille et couleur de l'hôte). A ce stade, l'acceptation ou le rejet de la ponte sur le site, implique le système nerveux central, qui induit des impulsions émises par différentes parties du corps : tarse, antennes, proboscis, ovipositeur. En outre, la réaction ne dépend pas uniquement des caractéristiques de la plante, mais aussi, de la présence d'autres insectes, des phéromones et de l'âge des femelles (NAVA *et al.*, 2005).

SILVA (2008) signale que les femelles sont capables du maintien de la croissance des populations, en dépit de la réduction du potentiel de reproduction.

5. Ecologie de *T. absoluta*

5-1. Action des facteurs climatiques

L'adulte de *T. absoluta* a un haut potentiel de reproduction, il apparaît tout au long de l'année où les larves n'entrent pas en diapause aussi longtemps que la nourriture est disponible (MOLLA *et al.*, 2008). *Tuta absoluta* est une espèce multivoltine qui fait son cycle en moins d'un mois, selon les conditions climatiques (RAMEL, 2010).

Selon GUISTOLINE *et al.* (2002), ses plus grandes populations sont observées durant la saison sèche de l'année, pouvant aller généralement jusqu'au mois de novembre ; alors que durant la saison des pluies le taux de population diminue à des niveaux faibles. MOLLA *et al.* (2008) rapportent que l'insecte reste souvent caché pendant la journée au dessous des feuilles de tomate et montre une augmentation de l'activité au crépuscule. Selon PEREIRA (2008), les conditions climatiques ont une influence sur la dynamique des populations de l'insecte.

La distribution de *T. absoluta* sur la plante peut être utilisée comme un élément pour réaliser un échantillonnage qui peut renseigner sur l'action des facteurs abiotiques sur les différents stades de développement (TORRES *et al.*, 2002). Selon GIUSTOLIN *et al.* (2002), le nombre de larves augmente en fonction de la température et la disponibilité de l'alimentation.

5-2. Intérêt agronomique de *T. absoluta*

La mineuse de la tomate s'attaque aux feuilles et aux fruits de la tomate. Les galeries que ses larves creusent à l'intérieur des feuilles sont les lésions les plus communes. Au début, la galerie est longue et étroite, mais elle s'élargit ensuite et prend la forme d'une tache boursouflée.

Vers la fin de leur développement, les larves replient parfois les feuilles en deux ou tissent deux feuilles ensemble, entre lesquelles elles continuent de se nourrir, provoquant l'apparition de larges taches. Lorsque l'infestation est grave, toutes les feuilles sont attaquées, ce qui donne aux plants un aspect « grillé ».

Selon GILLIAN (2009), les plants de tomate peuvent subir des dommages plus directs quand certaines larves âgées rentrent dans les fruits qui se trouvent à leur portée en creusant une galerie au-dessous du calice. L'entrée des galeries est un très petit trou d'épingle qui est marqué par la présence d'un petit tas de « sciure », qui sont les excréments de l'insecte. Les entrées des galeries situées sous le calice sont très discrètes et peuvent passer facilement inaperçues au moment de la mise en conserve.

Il arrive aussi que les larves creusent des galeries dans les flancs des tomates lorsque l'infestation est forte.

Sur tomate, après un premier stade baladeur, la larve peut pénétrer dans tous les organes, quelque soit le stade de la plante :

► **Sur feuille** : l'attaque se caractérise par la présence de plages décolorées nettement visibles. Les larves dévorent seulement le parenchyme en laissant l'épiderme de la feuille. Les folioles attaquées se nécrosent entièrement (Photo 10).



Photo 10 : Mine de *T. absoluta* sur feuille de tomate (ANONYME₂, 2010).

► **Sur tige ou pédoncule** : la nutrition et l'activité de la larve perturbent le développement des plantes.

► **Sur fruits** : les tomates présentent des nécroses sur le calice et des trous de sortie à la surface. Les fruits sont susceptibles d'être attaqués dès leur formation jusqu'à la maturité. Une larve peut provoquer des dégâts sur plusieurs fruits d'un même bouquet (Photo 11) (ANONYME₂, 2010).



Photo 11 : Dégâts des larves de *T. absoluta* sur fruits de tomates (ANONYME₂, 2010).

5-3. Moyens de dissémination

La dissémination de *T. absoluta* peut avoir lieu via la circulation des fruits et des plants infestés ainsi que par les caisses de récolte, les moyens de transport contaminés, par le vent et à travers ses vols. Alors que la dissémination dans le temps, d'un cycle à l'autre, se fait par les chrysalides présentes dans le sol. La présence des mauvaises herbes, les cultures avoisinantes et le restes des cultures après l'arrachage présentent également une source et un réservoir de ré infestation (SILVA, 2008)

6. Stratégies de lutte

La stratégie de lutte contre *T. absoluta* doit s'inscrire dans le cadre d'un programme de protection intégrée combinant toutes les mesures disponibles et applicables à savoir la prophylaxie, la surveillance des différents stades de développement de l'insecte, la reconnaissance de ses ennemis naturels, les traitements chimiques raisonnés, les méthodes biotechniques et l'utilisation des agents de lutte biologique. Cette approche doit être collectivement assimilée et appliquée par l'ensemble des producteurs.

6-1. Méthode de surveillance et d'évaluation du risque

Le programme de lutte contre *T. absoluta* doit se baser principalement sur la surveillance des différents stades de développement de la mineuse, et l'évaluation du risque pour une bonne prise de décision. La surveillance doit être appliquée au niveau :

- ⌘ Des pépinières ;
- De tout le cycle de production ;

Du conditionnement.

6-1-1. Installation des pièges à phéromones

Les pièges utilisés sont des pièges sexuels. Ils renseignent sur la présence du ravageur et permettent d'évaluer le risque potentiel d'infestation au niveau de la parcelle. Les normes utilisées en Espagne peuvent être prise à titre indicatif, comme base d'interprétation des captures :

Tableau 5 : Valeurs indicatifs du risque selon les captures sur culture de tomate (MONSERRAT DELGADO, 2009).

Nombre de captures/semaine	Risque
0 Pas de risque	Pas de risque d'attaque sauf en cas de présence de femelles dans la parcelle : <ul style="list-style-type: none"> - Poursuivre les prospections sur les plantes ; - Introduction éventuelle des auxiliaires.
1-3	Risque faible d'attaque <ul style="list-style-type: none"> - Poursuivre les prospections sur les plantes - Traitement préventif (<i>Bacillus thuringiensis</i> chaque semaine) - Nettoyage manuel en cas de détection des larves ; - Introduction éventuelle des auxiliaires.
4-30	Risque modéré d'attaque <ul style="list-style-type: none"> - Nettoyage manuel ; - Traitement préventif (Btk chaque semaine) - Introduction éventuelle des auxiliaires.
30-100	Risque élevé d'attaque Renforcer le programme de lutte avec des produits de choc compatibles avec les auxiliaires
Plus de 100	Risque extrême Renforcer le programme de lutte avec des produits de choc compatibles avec les auxiliaires

6-1-2. Observation directe des plants

Les symptômes d'attaque caractéristiques sont les mines avec des larves vivantes au niveau des jeunes feuilles et des jeunes pousses.

Il est recommandé de faire un comptage des plants infestés tous les 7 jours. Le niveau d'attaque doit conditionner le renforcement des équipes d'intervention

chimique (Tableau 6). Le niveau de tolérance peut être élevé selon le degré d'installation des auxiliaires sur la culture.

Tableau 6 : Valeurs indicatifs du risque selon les captures sur culture de tomate (MONSERRAT DELGADO, 2009).

Niveaux d'infestation	Pourcentage des plants affectés
Niveau 0	0 %
Niveau 1	Pourcentage des plants affectés
Niveau 2	Niveau bas : 5-25 % des plants avec une mine active
Niveau 3	Niveau modéré : 25-50 % des plants avec une mine active
Niveau 4	Niveau élevé : plus de 50 % des plants avec une mine active.
Niveau 5	Niveau très élevé : plus de 50 % des plants avec une plus d'une mine active.

6-2. Méthodes de lutte

La protection efficace et durable contre ce fléau doit combiner plusieurs méthodes de lutte (ANONYME₃, 2010).

6-2-1. Méthodes prophylactiques

► **Avant la plantation** :, une liste des précautions est à préconiser :

- ✓ Empêcher les papillons de pénétrer dans la serre en fermant toutes les ouvertures à l'aide de filets. Ceux utilisés pour lutter contre les pucerons (6 par 9 fils par cm²) sont assez fins pour prévenir les entrées de *Tuta absoluta* ;
- ✓ Réparer tous les trous dans les parois et sur le toit ;
- ✓ Installer une double porte à l'entrée de la serre. Les entrées ne doivent pas être dans le sens du vent dominant ;
- ✓ Utiliser des plants sains, sans signe de présence de *Tuta absoluta* et installer des pièges contenant des phéromones Pherodis pour le monitoring hebdomadaire ;
- ✓ Respecter un délai de vide sanitaire d'environ 6 semaines entre l'arrachage d'une culture infestée et la plantation. L'emploi du paillage intégral du sol est vivement souhaité ;

- ✓ Protéger les ouvertures des serres avec des filets insect-proof qui empêchent l'entrée des insectes (maille minimale : 9*6 fils/cm²). Il est important d'aménager un système de double port pour les serres soient bien isolées.

► Au cours de la production

- ✓ Réparation de toutes les ouvertures ou trous possibles au niveau des abris serres ;
- ✓ Entretien régulier du filet et ajout de silicone ou peinture sur les coutures ;
- ✓ Elimination des feuilles, tiges et fruits présentant des mines en utilisant des sacs en plastiques hermétiquement fermés.;
- ✓ Destruction des débris végétaux résultant de l'effeuillage, de l'ébourgeonnage et l'arrachage en fin de campagne ;
- ✓ Elimination du feuillage sénescant et les adventices à l'extérieur des serres ;
- ✓ L'introduction de la caisserie dans les serres doit être faite après lavage tout en respectant les règles d'hygiène fondamentales.

6-2-2. Méthodes biotechniques

C'est la mise en place des piègeages massifs, à raison d'un piège Delta ou à eau par serre et 20 à 25 pièges à eau en plein champ. Ces méthodes, capitales pour la réduction des populations des mâles de *T. absoluta*, sont un moyen de contrôle direct de ce ravageur par la réduction des accouplements. Cette technique est d'autant plus efficace qu'elle est adoptée précocement lorsque le niveau de population est encore faible, 15 jours avant la plantation.

Selon WANG *et al.* (1998), l'entretien des pièges doit être assuré régulièrement par :

- ✓ Le renouvellement des plaques engluées dès leur saturation dans le cas des pièges Delta ;
- ✓ Le remplissage des bacs à eau jusqu'à la limite supérieure ;

- ✓ Le changement des capsules à phéromones chaque 4-6 semaines.

6-2-3. Les techniques culturales

La lutte par les techniques culturales, autrement appelée « contrôle cultural » est l'ensemble des adaptations du système de culture mis en place en vue de limiter le développement des populations de bio-agresseurs.

Cela couvre une gamme très large de procédés allant de la succession des cultures à l'implantation de cultures intermédiaires ou à l'association d'espèces différentes dans le même espace.

Il ya également des modifications de dates et de densités de semis, l'ajustement des doses et des dates d'apport de fertilisants et bien d'autres pratiques utiles pour la lutte prophylactique contre les ravageurs (LIETTI, 2005). Dans le cas de *T. absoluta*, l'utilisation des engrais azotés doit se faire rationnellement car ils peuvent stimuler le développement des larves du ravageur (VALLADARES, 2007).

La destruction des résidus des plantes des récoltes attaquées, par incinération et enfouissement, peut aider à la réduction des populations du ravageur et ainsi à la protection des prochaines cultures (LIETTI, 2005).

On peut aussi lutter contre les mauvaises herbes qui constituent un foyer secondaire de contamination (VALLADARES, 2007).

LIETTI (2005) recommande la rotation des cultures avec d'autres familles des solanacées car elle permet de réduire le taux d'infestation.

D'autres travaux, notamment ceux de LIETTI *et al.* (2001), visent à utiliser certains caractères de résistances chez des variétés de tomates comme moyen pour réduire les dégâts occasionnés par ce ravageur.

6-2-4. La lutte chimique

La lutte chimique contre les insectes fait appel aux insecticides dont l'utilisation a connu un essor très important avec les progrès de la chimie de synthèse. Elle est basée sur l'application de molécules détruisant ou limitant les populations de bio-agresseurs.

GIMENEZ (2008) montre que des études réalisées en 2008 sur des insecticides à base d'Imidaclopride utilisés en immersion à 7% et en pulvérisation à 3.5% dans des conditions de cultures sous serre ont donné des résultats satisfaisants. L'Imidaclopride se caractérise par son mode d'action systémique et de contact, et un mécanisme agissant différemment par rapport aux autres insecticides de façon à empêcher le phénomène chez l'insecte

Des exemples concrets de l'application de certaines molécules insecticides (Abamectine, Cartap, perméthrine, Méthamidophos) ont été rapportés par SUINAGA *et al.* (2004). Ces derniers notent que l'inefficacité de ces molécules a conduit les agriculteurs à des applications intensives (36 pulvérisations par saison). Ceci peut, selon PEREIRA (2008), engendrer des phénomènes de résistance chez *T. absoluta*, en plus de l'augmentation du cout de production et de la destruction de la faune auxiliaire utile. On constate que l'utilisation irraisonnée de ces insecticides engendre un danger réel de pollution de l'environnement. De plus, les résidus toxiques dans les fruits récoltés causent un sérieux problème de santé humaine.

Tenant compte du cycle de vie de ce ravageur, dont la larve passe une grande partie de sa vie en endophyte, VALLADARES (2007) recommande l'utilisation d'huile végétale comme complément, ou bien l'application de nouveaux insecticides translaminaires (cyromacina et Abamectine). Il préfère l'utilisation raisonnée des insecticides sélectifs vis-à-vis des parasitoïdes de *T. absoluta*.

L'application ne repose sur aucune stratégie et les agriculteurs ne tiennent pas compte du mode d'action du produit et du stade du ravageur, ceci malgré le développement de l'utilisation des pièges à phéromones comme moyens de surveillance.

ANONYME (2011) note que, depuis l'apparition de ce redoutable ravageur en Algérie, les agriculteurs ont eu recours en priorité à l'usage de produits chimiques car

l'invasion a été très rapide. Ce qui n'a pas permis de mettre en œuvre d'autres moyens de lutte moins polluants. Malheureusement, la lutte chimique n'a pas permis d'éradiquer l'insecte.

Le tableau 7 recense les différentes molécules actives utilisées pour la lutte contre *T. absoluta*.

Tableau 7 : Principaux produits chimiques utilisés en Algérie contre *T. absoluta* (ANONYME, 2011).

Famille chimique	Matière active
Tracer	Spinosad
Vertimec	Abamectine
Avermectine	Abamectine
Nomolt	Teflubenzuron
Decis	Deltamethrine
Ultracide	Methidathion
Karate	Labacyhalthrine
Comfidor	Imidaclopride

6-2-5. La lutte biologique

La lutte biologique s'appuie sur une stratégie de défense écologique et durable qui vient corriger certaines lacunes que rencontrent les autres méthodes de lutte. Les organismes vivants utilisés, alors appelés auxiliaires, antagonistes ou agents de lutte, peuvent être des parasitoïdes, des prédateurs (insectes, acariens, nématodes), ou des pathogènes (Virus, bactéries, champignons).

Les prédateurs et parasitoïdes appartenant aux insectes constituent en général le groupe le plus important qui cause la mortalité larvaire de la mineuse (MIRANDA *et al.*, 1998). Ils ont une fonction clé dans le contrôle des populations de ce ravageur.

TORRES *et al.* (2002) signalent que l'action du prédateur *Podisus nigrispinus* (Heteroptera, Pentatomidae) a montré un potentiel important sur les stades larvaires soit à l'intérieur ou à l'extérieur des mines. GHONEIM (2014) rapporte que

Retisymphiesis phthorimaea (Hemiptera, Eulophidae) est considéré comme un ectoparasite des larves de 2^{ème} et 3^{ème} stade de *T. absoluta*. Le parasitoïde *Pseudapanteles dignus* (Hemiptera : Braconidae) est aussi un ennemi potentiel s'attaquant aux larves de *T. absoluta* (LUNA *et al.*, 2007).

Dans le bassin méditerranéen, des chercheurs ont identifié en Espagne l'espèce *Necremnus artynes* Wallker (Hemiptera : Eulophidae) comme parasitoïde des larves de *T. absoluta* (MOLLA *et al.*, 2008). En 2008, URBANEJA *et al.* (2008) ont identifié deux autres prédateurs de la mineuse qui sont *Macrolophus pymaeus* Rambur et *Nesidiocoris tenuis* Reuter (Hem : Miridae), prédateurs des œufs et des larves.

GUENAOUI *et al.*, (2011) notent que l'activité prédatrice de 03 espèces de punaises Miridés autochtones (*Nesidiocoris tenuis* (*Nesibug*), *Macrolophus caliginosus* et *Dicyphus tamanini*) laissent entrevoir une possibilité de lutte biologique par une multiplication de leur effectif, en vue d'assurer des lâchers à des périodes propices en fonction de la situation dans chaque exploitation.

ARNO et GABARRA (2011) ont identifié *Trichogramma acheae* comme un parasitoïde des œufs de *T. absoluta* qui est actuellement utilisé comme un agent de lutte biologique potentiel dans les cultures de tomates commerciales sous serre. En plus des parasitoïdes, d'autres espèces auxiliaires peuvent s'attaquer à *T. absoluta*, notamment les acariens prédateurs et les entomopathogènes. OLIVEIRA *et al.* (2007) rapportent que les acariens sont considérés parmi les stratégies de contrôle biologique prometteuses, notamment l'acarien *Pyemotes tritici* (Acari : pymotidae) qui attaque les larves et les adultes en les paralysant par injection de toxines ; en plus, il possède de nombreuses caractéristiques, tels que le cycle de vie court et un large éventail d'hôtes.

Les champignons entomopathogènes sont parmi les premiers agents biologiques à être utilisés en tant que moyen de lutte contre les ravageurs. Ces micro-organismes peuvent infecter les insectes directement, par pénétration à travers la cuticule (RODRIGUEZ *et al.*, 2006). Parmi les espèces les plus étudiées et utilisées contre *T. absoluta*, on peut citer *Beauveria bassiana* (Bals.)

LEBDI GRISSA *et al.* (2010) montrent l'efficacité de *Bacillus thuringiensis* vis à vis de *Tuta absoluta*. La population larvaire de la mineuse de la tomate a été réduite à 100% 13 jours après un traitement par le *Bt*.

6-2-6. La lutte intégrée

C'est sans doute la seule stratégie durable. Il est nécessaire de procéder à une lutte intégrée de façon à permettre la conservation des insectes auxiliaires dans les cultures. Différentes combinaisons sont possibles entre traitements, auxiliaires et autres moyens de lutte disponibles. Il est donc recommandé d'intégrer diverses méthodes de lutte à savoir :

- ✓ Piégeage massif, avant la plantation, pour capturer le maximum de mâles de *Tuta absoluta* ;
- ✓ Traitement avec les pesticides sélectifs si la présence du ravageur est observé ;
- ✓ Recommandation de réalisation des traitements en combinant les biopesticides avec les insecticides chimiques de synthèse pour réduire les méfaits ;
- ✓ Lutte biologique (utilisation d'un ennemi naturel).

Combinés, les moyens de lutte cités précédemment permettent de limiter le ravageur, mais la protection reste assez coûteuse. Il est donc nécessaire de trouver une méthode fiable, rentable et respectueuse de l'environnement.

PARTIE III

LA BACTERIE

Bacillus thuringiensis Kurstaki

PARTIE III : **La Bactérie *Bacillus thuringiensis* Kurtaki**

1. Aperçu sur la découverte de *Bacillus Thuringiensis*

Bacillus Thuringiensis est une bactérie ubiquiste qui a été isolée à partir des cadavres d'insectes, des sols ou des graines ainsi que des surfaces végétales. Elle a été reconnue en 1901 lorsque des épizooties touchant le ver à soie *Bombyx mori*, furent signalées au Japon ; mais c'est en 1911 que le biologiste allemand Berliner l'a nommé après sa mise en évidence sur des cadavres d'*Ephestia kuehniella* (YOUNG *et al.*, 1998).

Bacillus Thuringiensis est une bactérie qui fait naturellement partie de la flore du sol et possède la capacité de tuer les insectes. Elle est utilisée largement comme insecticide depuis les années 1950. Elle représente de nos jours plus de 90% du marché total des biopesticides. C'est aujourd'hui donc, le premier agent de lutte biologique contre les ravageurs des cultures, en particulier les chenilles des Lépidoptères. Selon YOUNG *et al.* (1998), bien que cette bactérie et la toxine qu'elle fabrique aient été étudiées depuis de nombreuses années, le mécanisme d'action reste assez mal connu. L'hypothèse communément admise suppose que la toxine perce les cellules intestinales de l'insecte, conduisant à la lyse de ces cellules, et à la mort de l'insecte qui s'arrête de se nourrir. Dans certains cas la mort est provoquée par une infection généralisée par la bactérie (VASSAL, 2004).

2. Description de *Bacillus Thuringiensis*

B. thuringiensis est une bactérie Gram positive, aérobie facultative, sporulante, ayant des propriétés de résistance à la chaleur et à la déshydratation. Ceci lui confère un caractère ubiquiste dans des environnements naturels et une répartition cosmopolite. Selon FREDERIKSEN *et al.* (2006), elle est aisément isolée du sol, d'eau, de feuillage des végétaux, des arbres conifères, des herbes et des habitats d'insectes.

A l'état végétatif, *B. thuringiensis* à la forme d'un bâtonnet de 5µm de long sur 1µm de large, elle est pourvue de courts flagelles ciliés (SARA HERNANDEZ *et al.* 2004). Elle se distingue de *Bacillus cereus* et de *Bacillus anthracis*, par sa capacité de produire, au cours de la sporulation, des inclusions cristallines parasporales (Photo 12) dotées de pouvoir entomopathogène (SCHNEPF *et al.*, 1998).

3. Cycle de croissance de *Bacillus Thuringiensis*

Selon YOUNG *et al.* (1998), au cours de leur croissance, les bactéries de *B. thuringiensis* sont présentes sous deux formes (Figure 7) :

① La première est la forme végétative. Elle est observée lorsque les conditions du milieu sont favorables à la multiplication des bacilles. Dans ce cas, la bactérie se multiplie de façon exponentielle par scissiparité. Elle synthétise pendant cette phase une exotoxine thermosensible appelé Vegetative Insecticidal Prote in ou V.I.P. (VASSAL, 2004) ;

② Une phase stationnaire qui se présente lorsque les nutriments essentiels du milieu se raréfient. Elle se caractérise par une différenciation des cellules bactériennes, aboutissant à la formation des spores. C'est aussi, au cours de cette phase, qu'intervient la synthèse des delta-endotoxines, substances protéique conférant à la bactérie un pouvoir pathogène vis-à-vis de certains insectes. Ces protéines s'accumulent dans la cellule bactérienne pour former un cristal qui ensuite libéré dans le milieu (MENON et DEMESTRAL, 1985).

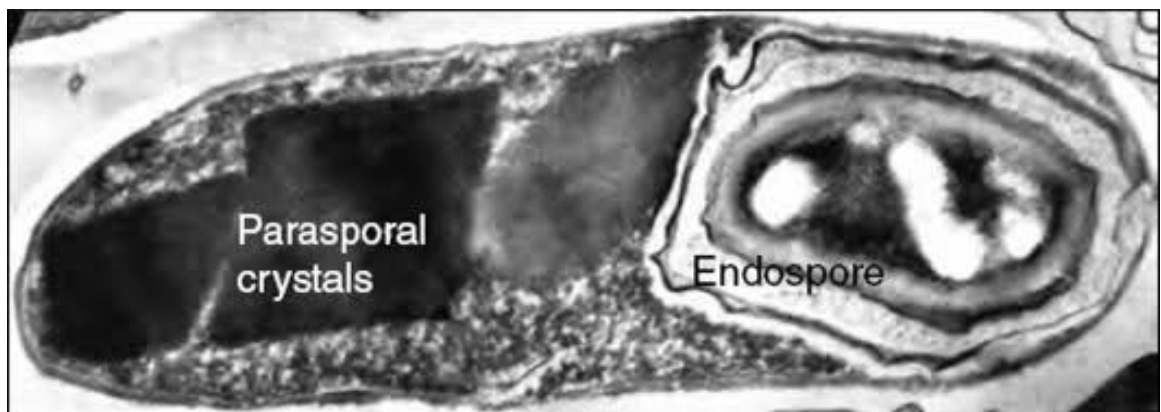


Photo 12 : *B. thuringiensis* sporulée (VASSAL, 2004)

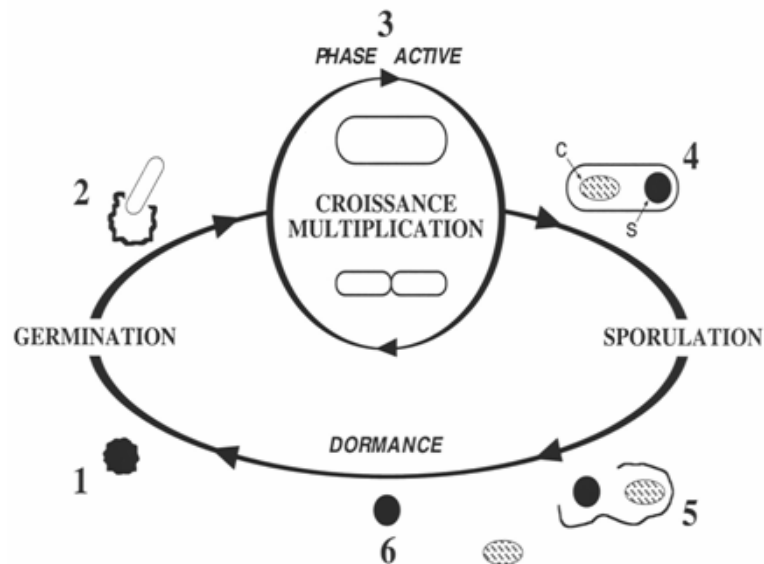


Figure 6 : Schématisation du cycle vital de *B. thuringiensis*.

4. Classification des delta-endotoxines de *B. thuringiensis*

HOFTE et WHITELEY (1989) ont classifié les delta-endotoxines de *B. thuringiensis* (appelées Cry (venant de crystal), selon leur spécificité insecticide en cinq groupes :

- ¶ CryI, ce sont des toxines spécifiques aux Lépidoptères; les cristaux ont une forme bipyramidale ;
- CryII, les toxines sont spécifiques aux Lépidoptères et aux Diptères; les cristaux ont une forme cubique;
- ⌋ CryIII, spécifiques aux Coléoptères, les cristaux sont rhomboédriques;
- ¹ CryIV, les toxines ont pour cibles les Diptères et les cristaux ont une forme sphérique;
- ° CryV, efficaces contre les Lépidoptères et les Coléoptères. Les cristaux ont une forme bipyramidale.

CRICKMORE *et al.* (1998) ont révisé la nomenclature des delta-endotoxines en prenant en compte, en plus de leur spécificité, l'homologie des séquences en acides aminés des protéines. Cette nouvelle classification permet de regrouper les toxines étroitement apparentées et élimine la nécessité de soumettre chaque nouvelle toxine à des essais biologiques contre une série sans cesse croissante d'organismes. Cette nouvelle nomenclature établie a été plus rationnelle.

Basée uniquement sur le pourcentage d'identité de structure primaire des gènes, cette nomenclature a abandonné l'annotation romaine au profit du système arabe (par ex. CryIVA est devenue Cry4A). THOMAS et ELLAR (1983) notent, qu'en plus des delta-endotoxines, *B. thuringiensis* synthétise une autre famille de protéines de petite taille ayant une action cytolytique non spécifique appelée Cyt.

5. Mode d'action

Les delta-endotoxines ne sont pas des insecticides de contact (VASSAL, 2004). C'est suite à une ingestion par les insectes sensibles que la toxine agit. D'après plusieurs études physiologiques et immunologiques, les cellules de la paroi de la portion médiane du tractus digestif constituent le site initial de l'action toxique. D'après BRAVO *et al.* (2007), plusieurs étapes sont nécessaires avant que la toxine acquière son pouvoir insecticide (Figures 7-8).

➤ **Solubilisation et activation** : Comme on a vu précédemment, une fois ingérées, les protéines cristallines sont solubilisées dans l'intestin de l'insecte à un pH basique (10-12). Les protéines libérées sont par la suite transformées en toxines actives après une lyse partielle par les enzymes du tube digestif (BRAVO *et al.*, 2005).

➤ **Liaison sur le site récepteur** : La toxine activée traverse la membrane péri-trophique et elle se fixe sur des récepteurs spécifiques, présents à la surface des microvillosités des cellules épithéliales de l'intestin moyen de l'insecte (SCHNEPF *et al.*, 1998).

➤ **Formation des pores** : L'interaction toxine-récepteur aboutit à la formation d'un pore dans la cellule cible (BRAVO *et al.* 2005). Cela entraîne une perturbation des échanges ioniques, une modification du pH intestinal, puis la lyse de la cellule épithéliale de l'intestin. Cette lyse provoque une paralysie du tube digestif de l'insecte qui cesse de s'alimenter et meurt affamé un à trois jours après l'ingestion du cristal (WHALON et McGAUGHEY, 1998).

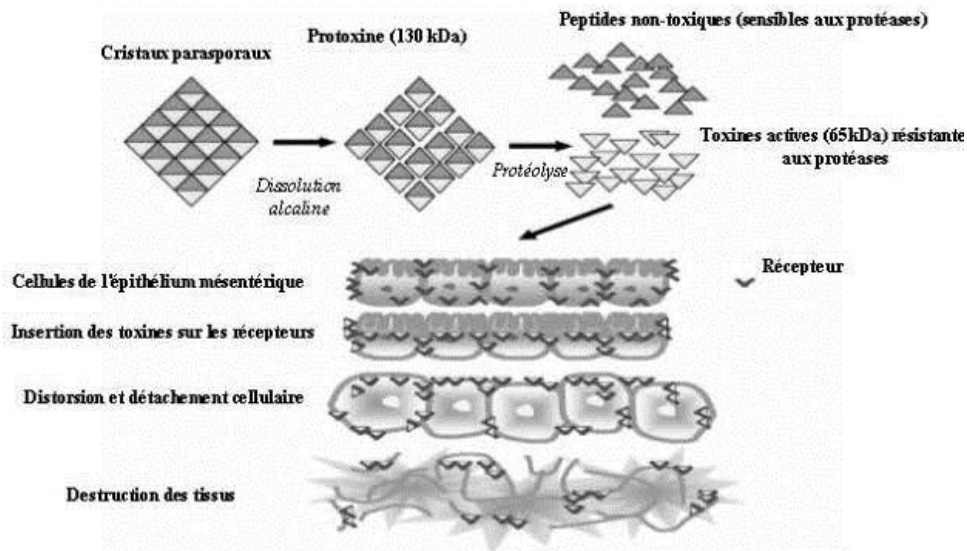
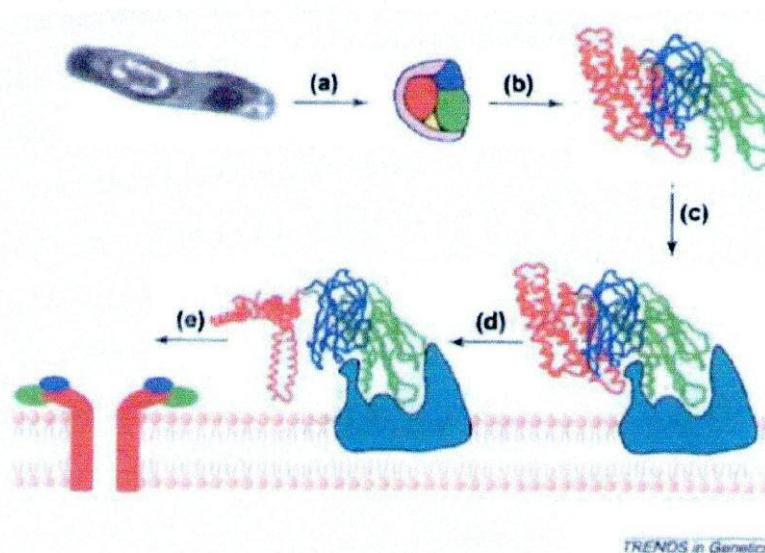


Figure 7 : Mode d'action de BtK k au niveau de sa cible initiale et principale, l'épithélium du mésenteron de l'insecte (d'après KOTIRANTA *et al.*, 2000).



Source : VASSAL (2004).

Solubilisation ; (b) : Activation; (c) et (d) : Liaison avec le site récepteur ;

(e) : Formation des pores.

Figure 8 : Mode d'action des Delta-endotoxines de BtK k (d'après VASSAL, 2004).

6. Utilisation commerciale des produits à base de BtK

C'est la mise au point de la méthode de fermentation liquide aérobie en cuve profonde qui, en permettant la production de préparations de spores et de cristaux, a rendu possible sa commercialisation à grande échelle au cours des années 1950.

Les premières formulations commerciales de *BtK* ont été mises à l'essai au champ aux États-Unis en 1958. A l'heure actuelle, la liste des sous-espèces de *BtK* homologuées inclut *kurstaki*, *aizawai*, *israelensis* et *tenebrionis*, dont l'activité insecticide s'exprime de façon prédominante contre les Lépidoptères, les Diptères et les Coléoptères, respectivement. En application topique, le *BtK* présente une demi-vie brève parce qu'il est rapidement inactivé par les rayons ultraviolets, et de nombreuses recherches ont été consacrées à la mise au point de nouvelles stratégies de distribution.

Depuis 1971, l'utilisation de ces dernières variétés contre les insectes ravageurs n'est plus approuvée.

7. La persistance de *B. thuringiensis*

La persistance du *BtK* dans l'environnement est importante tant du point de vue écologique que commercial.

➤ **Sur le feuillage :** La persistance du *BtK* sur le feuillage dépend de plusieurs facteurs environnementaux. Selon LEONG *et al.* (1980), les principaux facteurs responsables de la dégradation de l'endospore sont l'exposition au soleil, la température et le déficit hygrométrique. En effet, PINNOCK *et al.* (1971) ont démontré qu'en l'absence d'humidité, les spores se dégradent rapidement lorsqu'ils sont exposés au rayonnement solaire, et elles sont donc très vulnérables en présence de conditions très sèches.

➤ **Dans le sol :** La forme végétative du *BtK* n'est généralement pas bien adaptée au sol, et sa survie dépend de sa capacité d'atteindre l'habitat spécialisé que constituent les insectes vulnérables. Les endospores du *BtK* peuvent toutefois survivre dans la majorité des types de sol, quoique leur croissance soit inhibée à des valeurs de pH inférieures à 4,8 (SALEH *et al.*, 1970). Des applications répétées de *BtK* n'entraînent aucune accumulation de la bactérie (DULMAGE et AIZAWA, 1982). Le devenir du *BtK* dans le sol dépend vraisemblablement de l'intensité de la compétition avec les autres formes microbiennes.

➤ **Dans l'eau :** MENON et DEMESTRAL (1985) ont détecté la présence du *BtK* dans des cours d'eau et dans l'eau de réservoir jusqu'à 8 à 12 jours après les traitements. Ces mêmes auteurs ont démontré qu'environ 30% des cellules de *BtK* étaient encore vivantes 70 jours après avoir été placées dans l'eau du robinet ; en revanche, dans l'eau salée, 90% des cellules de *BtK* étaient déjà mortes après 30 jours, et moins de 10% étaient encore vivantes après 40 jours. De même, il a été démontré que *Bacillus thuringiensis* ne pénètre pas profondément dans les sols et donc, il ne pose pas de risque de contaminer les eaux souterraines.

8. Effet de *B. thuringiensis* sur les populations non cible et sur l'homme

Sans doute, le plus marquant des avantages issus de l'usage de *B. thuringiensis* est sa spécificité extrêmement marquante, lui rendant actuellement une des alternatives curatives contre bon nombre d'insectes ravageurs.

Cependant, l'usage de cette bactérie présente ses limites, dont le principal est la courte durée de persistance dans l'environnement et sa non-systémicité. Les delta endotoxines sont particulièrement sensibles aux facteurs physiques et sont ainsi facilement détruites par la lumière solaire, les pluies et les vents, ce qui conduit à une augmentation du rapport spores/cristaux. Enfin, il est à noter la lenteur à l'égard de la mortalité des insectes (1-7 jours) (AGAISSE et LERECLU, 1996).

8-1. Effet sur les populations non ciblées

Les organismes non ciblés peuvent être exposés au *BtK* soit directement, par ingestion de feuilles contaminées ou au contact de la litière ou de la couche superficielle de sol, soit indirectement, par ingestion de chenilles infectées par la bactérie. Bien que le *BtK* présente une demi-vie de 12 à 32 heures, son activité insecticide persiste une semaine, parfois davantage (USDA, 1995). En conséquence, seule la génération de chenilles présente au moment de la pulvérisation devrait être affectée par le *BtK*.

Il apparaît peu probable que l'application de *BtK* puisse provoquer des changements permanents parmi les populations de Lépidoptères non ciblées, sauf dans les habitats abritant de petites populations d'espèces très sensibles au *BtK*.

Aucun effet néfaste n'a été signalé parmi les colonies d'abeilles à la suite de traitements foliaires au *BtK* ou de l'exposition des abeilles à la bactérie en présence de conditions naturelles ou simulées.

Les invertébrés parasites et prédateurs qui se nourrissent d'insectes infectés par le *BtK* peuvent présenter des chutes de populations temporaires. Toutefois, selon GIROUX *et al.* (1994), cette diminution résulte de la disparition de la source de nourriture, et non pas de la toxicité du *BtK*.

8-2. Effets sur l'homme

Outre les toxines du *B. thuringiensis* utilisées comme matière active, d'autres ingrédients entrent dans la préparation du produit final. Ces adjuvants incluent normalement de l'eau et des adhésifs qui permettent à la formulation de bien adhérer aux feuilles ou aux aiguilles des arbres que l'on cherche à protéger. Des études réalisées dans divers pays ont montré qu'aucun des ingrédients entrant dans la fabrication des insecticides à base de *B. thuringiensis* ne présente de risque significatif pour la santé humaine.

Très peu d'expériences avec le *B. thuringiensis* ont été réalisées chez les humains (OTVOS et VANDERVEEN, 1993). La littérature médicale mentionne des symptômes se traduisant par de légères irritations de la peau et des yeux chez les agriculteurs ne portant pas de tenue de protection suite à l'application de cet insecticide.

9. Evolution de la résistance des insectes aux toxines de *B. thuringiensis*

Au début de son utilisation, plusieurs chercheurs ont cru par erreur que les insectes ne développeraient pas de résistance à *B. thuringiensis*. Mais, selon MENG *et al.* (2004), il apparaît maintenant que la résistance à *BtK* peut se développer rapidement sous les situations de pression de sélection extrême, dans le laboratoire ou dans le champ.

La résistance au delta endotoxines de *B. thuringiensis* a été remarquée pour la première fois au laboratoire en 1985 chez un lépidoptère *Plodia interpunctella*. Cet insecte est devenu résistant au Dipel (produit commercialisé formulé à partir de *B. thuringiensis* var. *kurstaki*, *BtK*). Ainsi en 15 générations, les individus survivants étaient 100 fois plus résistants que les témoins. Par la suite d'autres cas de résistance ont été signalés chez des Lépidoptères, des Coléoptères et des Diptères (NESTER *et al.*, 2002).

Selon AKHURST *et al.* (2001), 26 espèces de ravageurs, appartenant aux ordres des lépidoptères, Coléoptères et des Diptères, ont montré des capacités de développer une résistance aux toxines de *B. thuringiensis*.

En réponse à l'action nocive des insecticides, plusieurs mécanismes de résistance ont été développés par les insectes :

➤ **Modification du comportement** : Dans ce cas, l'insecte devient résistant en évitant simplement les produits ; mais, ROUSH et TABASHNIK (1990) notent que peu d'informations existent sur le déterminisme de ce mécanisme.

➤ **Modification de la cible** : Elle empêche l'intégration de la substance active dans le processus de transfert de l'information nerveuse (HEAD *et al.*, 1998). FERRE et VAN RIE (2002) montrent que la majorité des études sur la résistance est due à une modification de l'affinité des toxines pour la bordure en brosse des intestins moyens chez des larves d'espèces résistantes avec ou sans modification du nombre de sites de fixation, traduisant ainsi une altération qualitative des récepteurs.

➤ **Métabolisation des produits dans l'organisme ou détoxification** : Elle altère la structure de la substance active et la rend inoffensive pour l'insecte (HEAD *et al.*, 1998). Les enzymes impliquées dans ces réactions sont des estérases, des mono-oxygénases et les glutathions-transférases. GUNNING *et al.* (1999) notent que si l'activité d'une de ces enzymes augmente, cela peut entraîner le développement d'une résistance.

CHAPITRE II
MATERIEL ET METHODES

PARTIE I

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

PARTIE I :

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

1. Caractéristiques géographiques

1-1. Situation géographique de la région de Mascara

Le territoire test de Mascara cadre dans une espace délimitée par 2°, 11 de longitude et 35°, 26 de l'altitude, Nord-Ouest de l'Algérie.

Elle fait partie intégrante de la région du Tell qui s'étend sur une superficie de 5889.11 Km². Elle est à vocation agricole et divisée en quatre zones homogènes en fonction des données physiques naturelles qui sont :

- ¶ Les plaines de Sig et de Habra au nord, couvrent 25 % du territoire de la Wilaya ;
- ② Les monts des Beni-Chougrane en amont, couvrent 32 % du territoire de la Wilaya;
- ⋄ La haute plaine de Ghriss au centre, couvrent 27 % du territoire de la Wilaya ;
- ¹ Les monts de Saïda au sud, couvrent 16 % du territoire de la Wilaya.

1-2. Situation géographique de la ferme expérimentale

Notre expérimentation a été réalisée à la ferme expérimentation de l'Université de Mascara. Elle se trouve au bord de la route nationale n° 14 reliant Mascara à Maoussa près de la station Météorologique (Figure 9) entre 35°60' de latitude Nord et 0°15' de longitude Est. Elle est située à une altitude de 474 mètres et couvre une superficie de 50 hectares.

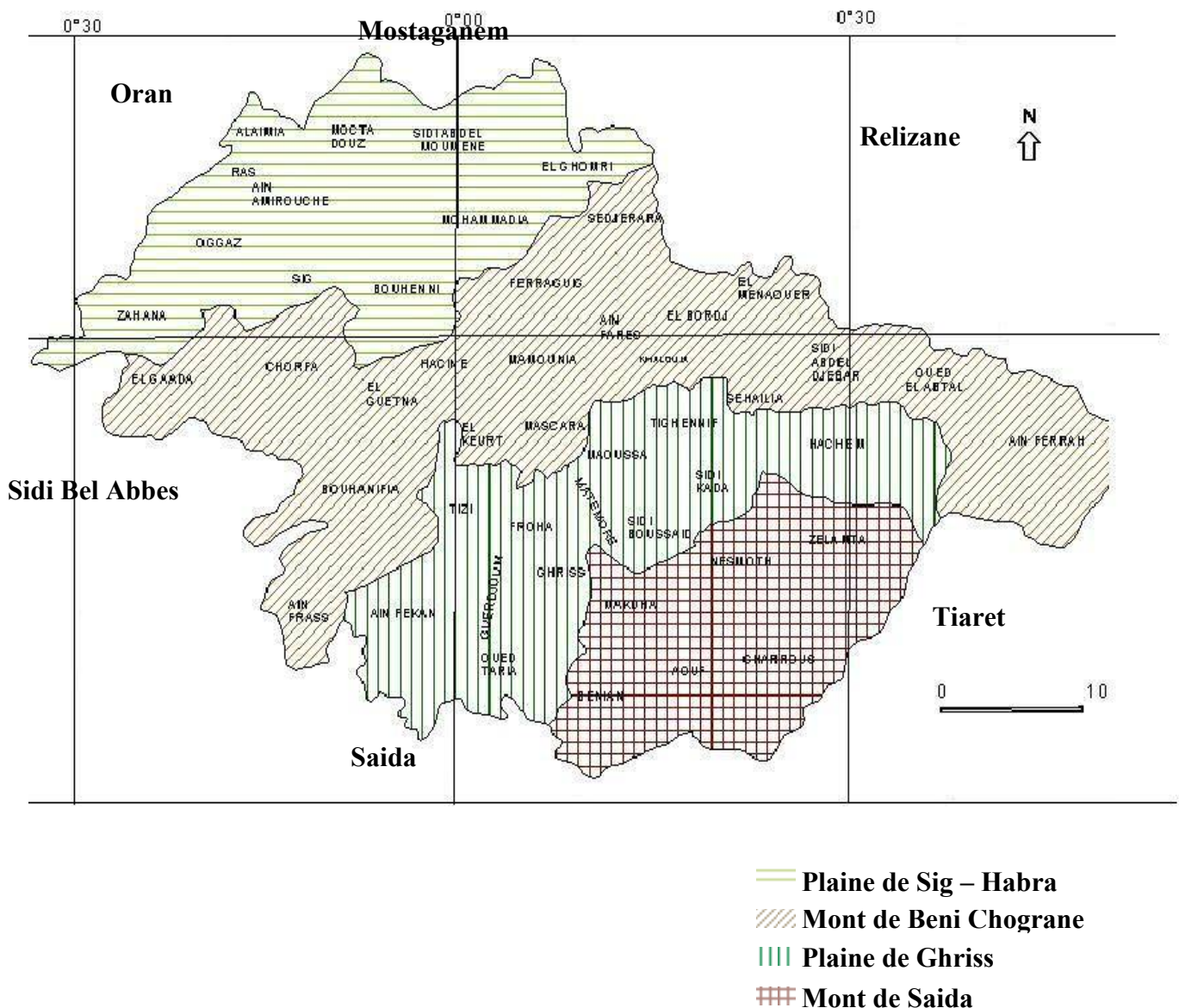


Figure 9 : Situation géographique de la wilaya de Mascara

2. Caractéristiques climatiques

Le climat est un facteur déterminant qui se place en amont de toute étude relative au fonctionnement des écosystèmes écologiques.

Dans l'ensemble, le climat de l'Afrique du nord est caractérisé par l'opposition de deux saisons bien tranchées, surtout en ce qui concerne la température et les précipitations : une saison relativement froide et pluvieuse et une chaude et pratiquement sans pluie (CHAUMENT, 1971).

La semi aridité du climat actuel du Tell Oranais est due particulièrement, à l'écran de la péninsule Ibérique et celui du Rif.

Notre étude climatique est basée essentiellement sur les points suivants :

- Déterminer l'étage bioclimatique de la zone d'étude à partir du diagramme pluviométrique d'Emberger (1963) ;
- Déterminer la période sèche en utilisant le digramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls (1953).

Cette étude climatique est réalisée à partir des données des températures et des précipitations météorologiques fournies par la station météorologique de l'Office Nationale de la Météorologie (ONM) de Matemore, qui est la plus proche de la zone d'étude (moins de 2 km) et la plus représentative de notre terrain d'étude.

Pour mieux comprendre le fonctionnement du système climatique de la région d'étude, des moyennes sur une période de 20 ans (1990-2010) ont été retenues.

2-1. Les précipitations

La pluviométrie constitue un facteur écologique d'importance fondamentale pour le fonctionnement et la répartition des écosystèmes terrestres (RAMADE, 1984). La répartition annuelle des précipitations est donc importante aussi bien par son rythme que par sa valeur volumique absolue.

Généralement, le climat méditerranéen se caractérise essentiellement par sa douceur et des précipitations faibles, mais surtout mal réparties et irrégulières d'une année à l'autre, avec une moyenne qui ne dépasse pas 300mm par an.

Dans la région de Mascara, les valeurs minimales paraissent au centre de la plaine de Ghriss, tandis que les valeurs maximales sont mesurées sur les reliefs dans les monts de Beni-Chougrane. Il est à noter que les précipitations sont concentrées en un nombre restreints de jours, entrecoupées de longues périodes sèches ; encore que ces pluies ne dure généralement que quelques heures et constitue presque souvent des pluies torrentiels.

Les valeurs des précipitations mensuelles, de la période 1990-2010 (Station Matemore), sont consignées dans le tableau 8.

Tableau 8 : Moyennes des précipitations mensuelles (en mm) de la station de Matemore durant la période de 1990 à 2010 (Source: ONM Matemore. Mascara).

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aoû.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
Moy.	65.63	31.89	38.03	34.26	26.79	4.34	1.59	5.05	17.3	28.72	48.44	36.94

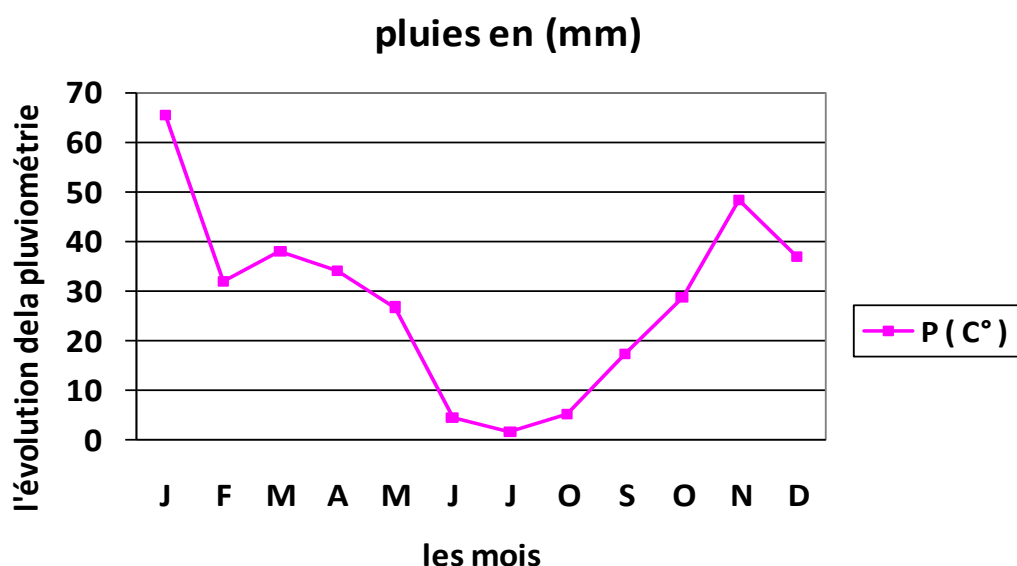


Figure 10 : Variations des moyennes mensuelles des pluviométries (1990-2010)

Sur une période de 20 ans d'observation (1990-2009), la pluviométrie moyenne annuelle est de 301.18 mm le total de précipitation a gravement chuté, soit une réduction de presque 60 % : entre 1913 -1938, la pluviométrie était en moyenne de 511 mm (SELTZER, 1946).

Les moyennes mensuelles montrent clairement que le mois de janvier est le plus arrosé alors que le mois le plus aride est le mois de juillet.

On remarque aussi que l'année 1998 a connu le plus faible taux des chutes de pluie (181.5 mm) alors que l'année 2009 qui était très exceptionnelle de point de vue de chute de pluie à travers tout le territoire national, on a enregistré le taux le plus élevé de la station de Matemore de 414.6 mm.

D'après la figure 10, nous remarquons que :

- ✓ Les précipitations moyennes sont irrégulières et insuffisantes ;
- ✓ La période pluvieuse s'étale de septembre à avril, avec un maximum qui se situe en janvier (65.63 mm) ;
- ✓ La saison sèche s'étale de mai à août avec un minimum au mois de juillet (1.59 mm).

2-2. Les températures

Les températures, second facteur climatique, sont importantes et conditionnent en grande partie la répartition des végétaux et le cycle de développement des animaux.

Les valeurs des températures mensuelles de la période 1990-2010 (Station Matemore) sont regroupées dans le tableau 9.

Tableau 9 : Moyennes des températures mensuelles et annuelles (en °C) dans la station météorologique de Matemore de 1990 à 2010.

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
Moy.	9.12	12.13	12.94	14.65	19	23.77	27.36	27.53	23.31	20.55	13.24	9.87

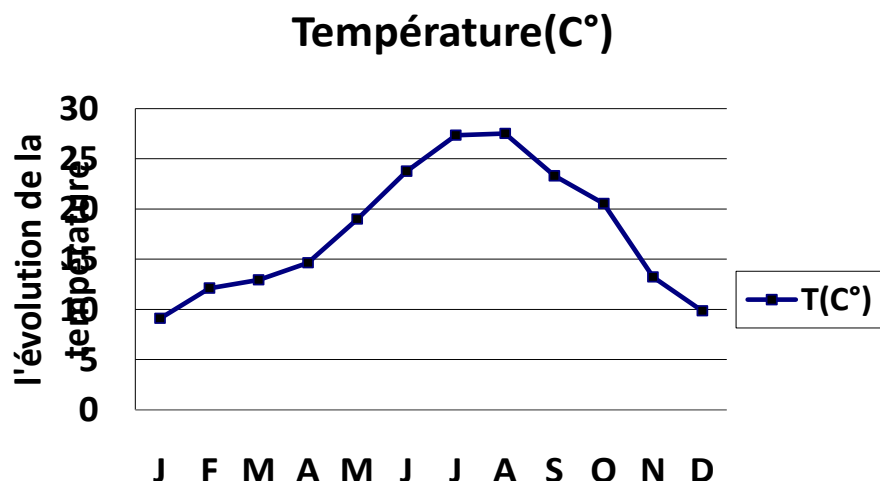


Figure 11 : Variations des moyennes mensuelles des températures (1990-2010).

En effet, ces températures sont relativement élevées et soulignent l'existence de deux saisons qui sont :

- **Une saison froide** : elle s'étend sur six mois, de novembre jusqu'à avril, qui enregistre les minima les plus bas allant jusqu'à 3.6°C en 2004 et - 0.3°C en janvier 2005 ;
- **Une saison chaude** : elle se situe entre mai et octobre où la température maxima a dépassé 37.5 °C en 2004.

Il en ressort aussi que :

- ✓ Juillet-Août sont les mois les plus chauds ;
- ✓ Janvier est le mois le plus froid.

2-3. Les aléas climatiques

➤ **La gelée** : La gelée s'étale surtout de novembre jusqu'à la fin de mai. Elle est à craindre pendant le printemps car elle cause beaucoup de dégâts surtout aux bourgeons en croissance. Le tableau 10 ci-dessous présente le nombre de jours de gelée durant la campagne agricole 2009/2010.

Tableau 10 : Le nombre de jours de la gelée par mois (campagne agricole 2009/2010)
(Source: Station météorologique de Matemore).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
Nombre de jours	00	00	00	03	02	01	02	00	00	00	00	00	08

➤ **Le vent** : Le vent souffle souvent selon une direction dominante du nord vers l'ouest à une vitesse variant entre 1.8 à 2.9m /s. En été, le vent se caractérise par un souffle chaud appelé sirocco ayant une durée moyenne d'environ 21 jours. Le sirocco, vent chaud sec desséchant, souffle du Sahara. Il se manifeste particulièrement en été (juillet-août) sur l'ensemble de la région. Le nombre de jours de sirocco est de 15 à 20 jours par an ce qui provoque le dessèchement du feuillage des arbres et des vignes surtout lorsqu'ils ne sont pas suffisamment irrigués pendant l'été et plantés selon la direction Est-Ouest.

3. Synthèse climatique

On note qu'en été la température doublée de précipitations, entraînent une aridité assez forte et plus particulièrement une dessiccation complète du sol.

3-1. Diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls (1953)

Le diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls permet de définir la période sèche. Pour cela, nous avons placé les valeurs moyennes des précipitations et des températures en double ordonnées ou l'échelle des précipitations est égale au double de l'échelle des températures ($P=2T$), et les mois de l'année en abscisse.

L'intersection des deux courbes divergentes des températures et des précipitations (Figure 12) de la région d'étude permet de révéler l'existence d'une période humide de 6 mois s'étalant de la fin du mois d'octobre jusqu'à la fin du mois d'avril et d'une période sèche de 6 mois allant de la fin du mois d'avril jusqu'à la fin d'octobre.

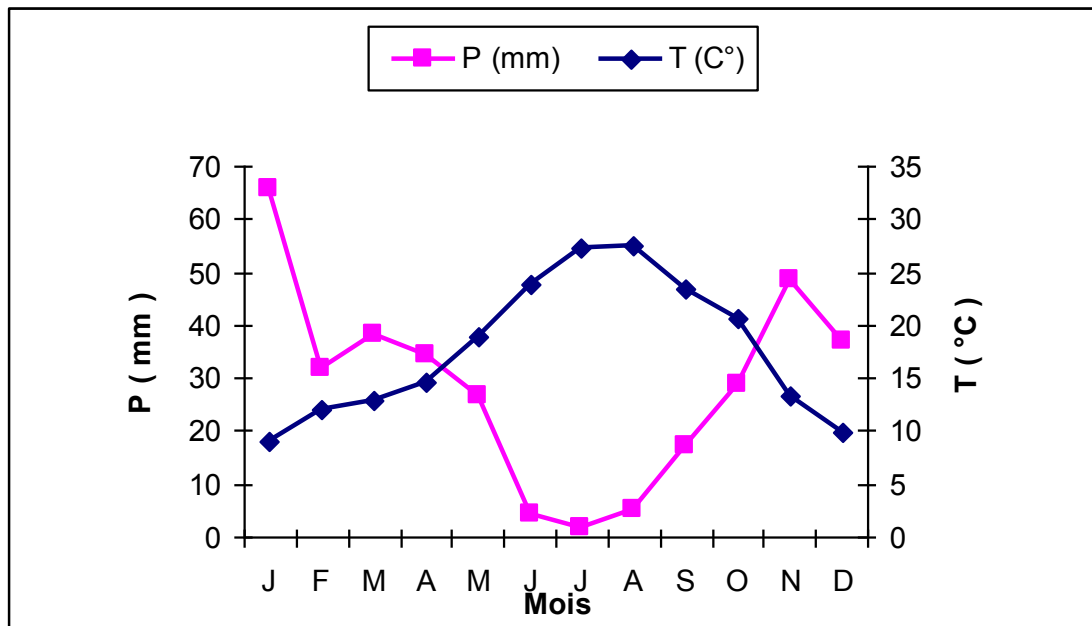


Figure 12 : Diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls de la Station de Matemore (1990-2010)

3-2. Climagramme d'EMBERGER

Selon MUTIN (1977), le climagramme d'Emberger est défini par un quotient pluviométrique qui permet de faire la distinction entre les différentes nuances du climat méditerranéen. Il permet de situer la région d'étude dans l'étage bioclimatique qui lui correspond. Cet indice, couramment utilisé, tient compte de la température et de la pluviométrie, qui se calcule par la formule suivante:

$$Q_2 = 3.43 * P / M - m$$

P : précipitations moyennes annuelles.

M : moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en °K.

m : moyenne des températures minimales du mois le plus froid en °K.

M-m : amplitude thermique moyenne en °K.

Avec des précipitations annuelles P de **301.18 mm**, le quotient pluviométrique de la zone d'étude est égal à 30,67. Il permet de situer notre aire d'étude dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver frais sur le climagramme d'Emberger (Figure 13).

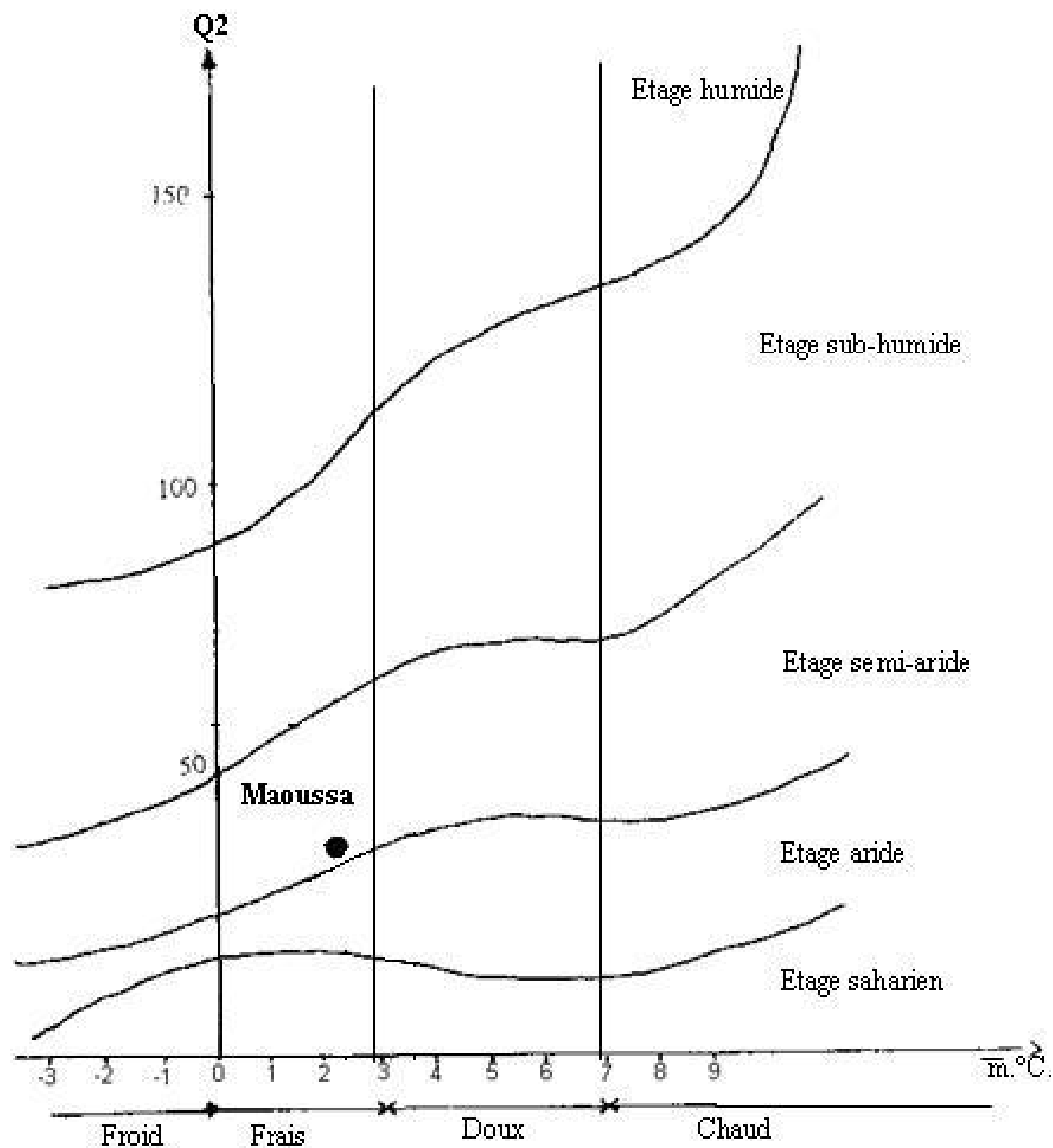


Figure 13 : Climagramme d'EMBERGER de la zone d'étude.

4. Caractéristiques édaphiques

Pour caractériser le sol de notre parcelle expérimentale, une analyse physico-chimique du sol de la ferme expérimentale a été réalisée au laboratoire de pédologie de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université de Mascara et a donné les résultats suivants :

Tableau 11 : Analyse Physico-chimique du sol de la ferme expérimentale.

Elément en %	Moyenne
PH	8.24
C/N	28.28
Matière Organique	2.54
Caco3 total	7.86
Caco3 actif	4.48
P2O5 assimilable	0.064.
N Total	0.140
N assimilable	0.07
Argile	59.77
Sable	35.07
Limon	5.16

PARTIE II
ETUDE ENTOMOLOGIQUE

PARTIE II :

Etude entomologique de *Tuta absoluta* Meyrick

1. Identification de l'espèce

L'étude de la systématique et l'identification de ce ravageur repose sur :

- L'étude de la nervation alaire ;
- L'extraction de génitalia.

1-1. L'Etude de la nervation alaire

La préparation des ailes s'est faite comme suit :

- ✓ Extraction des ailes à leur base ;
- ✓ Nettoyage des ailes de leurs écailles sur les deux faces avec un pinceau, noyées dans une goutte de benzène ;
- ✓ Mise en place entre lames et lamelles.

1-2. Extraction des génitalia

Après l'étude de la nervation alaire, l'identification certaine du genre et de l'espèce exige la dissection et la préparation microscopique des génitalia mâles et femelles.

Il est à rappeler que les génitalia sont les pièces sclérotinisées de l'appareil reproducteur mâle et femelle. Les extractions des génitalia sont des processus morphologiques de plus en plus utilisées en systématique, au niveau de l'espèce essentiellement et ils sont parfois les seuls critères possibles de détermination. Ils jouent un rôle primordial dans l'identification des espèces et dans la systématique des lépidoptères en général (TRAN VINH LIEM, 1977).

A partir d'échantillons collectés, un montage des genitalia a été réalisé au laboratoire d'Entomologie de la Faculté SNV de l'Université de Mascara.

Les individus provenant d'un élevage ont été laissés vivre au moins 24 heures avant de les utiliser, afin que leur chitine soit complètement durcie et que leurs graisses soient complètement métabolisées.

Pour cette étude, il a été nécessaire de suivre les étapes suivantes, selon la méthode de CERAYON (1969) cité par TRAN VINH LIEM (1977) :

- ✓ L'abdomen du papillon est détaché, en le soulevant délicatement du reste du corps, par en-dessous à l'aide d'une paire de pinces courbées ;
- ✓ L'organe (l'abdomen) ainsi dégagé est macéré dans une solution aqueuse de potasse (KOH) à une concentration de 10 % ;
- ✓ L'ensemble est chauffé pendant 5 à 8 mn pour dégraissage ;
- ✓ Le contenu de l'abdomen est repoussé à l'extérieur, par l'extrémité antérieure, à l'aide du pinceau, et les écailles sur l'abdomen sont enlevées. Ces opérations sont effectuées dans l'éthanol à 30% ;
- ✓ Une fois l'abdomen partiellement nettoyé, les genitalia sont séparés de l'abdomen en coupant la membrane qui relie les deux, généralement à l'extrémité du huitième segment abdominal chez les mâles et du sixième ou septième chez les femelles ;
- ✓ Quelquefois, un nouveau bain d'éthanol à 30% des parties macérées est nécessaire, afin d'y voir clair et de compléter le nettoyage de l'abdomen et des genitalia. Plusieurs lavages sont ensuite nécessaires ;
- ✓ Le nettoyage complété, l'édéage est séparé du reste des genitalia chez les mâles ; pour les femelles, la bourse est vidée de leur contenu, en coupant une entaille ;
- ✓ Pour monter les dissections, le baume du Canada est utilisé. Toutefois, les pièces disséquées sont trempées dans un bain de xylène avant le montage, pour assurer une bonne compatibilité chimique entre celles-ci et le baume.
- ✓ Enfin, l'observation sous microscope après montage entre lame et lamelle.

2. Etude de quelques paramètres biologiques de *T. absoluta* au laboratoire

L'élevage de *T. absoluta* a été établi au niveau du laboratoire d'Entomologie de la Faculté SNV de l'Université de Mascara à partir des feuilles échantillonnées dans des cages recouvertes des quatre côtés par de la tulle pour empêcher les futurs adultes de s'envoler. La surface de chaque cage a été couverte du sable pour permettre l'enfouissement des prénymphe. Une éponge mouillée est aussi placée à l'intérieur de chaque cage pour assurer une certaine hygrométrie nécessaire au développement des différents stades de développement de l'insecte.

Ces cages sont régulièrement entretenues, de même que leur contenu : les plantes sont renouvelées en moyenne tous les deux jours, lorsque la grande majorité des feuilles a été consommée par les larves et qu'elle commence à nécroser et à sécher. De même, le sol des cages est régulièrement débarrassé des déchets de feuilles, tiges, et du terreau accumulé.

L'émergence des adultes est contrôlée quotidiennement pour les dénombrer. Les imagos ainsi émergés sont séparés dans des bouteilles en plastiques et nourris par une substance sucrée (coton imbibé du sucre).

Ces élevages ont également permis de connaître la durée de développement des différents stades et les taux de mortalité.

2-1. Durée d'incubation

Une fois les adultes émergés, cinq couples ont été mis dans des bouteilles en plastiques (01 couple/bouteille). La présence ou l'absence d'œufs est observée, ainsi que la quantité pondue dans chaque boîte. La date et le nombre de nouveaux œufs sont référencés chaque jour jusqu'à l'éclosion, ceux-ci étant le point de départ de la génération.

Pour suivre la ponte des femelles, des feuilles de tomate ont été placées dans les bouteilles qui sont renouvelées chaque jour. Le renouvellement des feuilles s'effectue après le 1^{er} jour de ponte. Les feuilles présentant des pontes sont isolées et mises dans des récipients avec des couvercles bien ajustés et scellés.

2-2. Durée des stades larvaires

Dès éclosion, la date ainsi que le nombre de larves obtenues dans chaque bouteille sont notées. Les larves sont isolées une à une dans des boîtes de pétri après environ deux jours. Pour ce faire, la feuille dans laquelle se trouve la larve est découpée autour de celle-ci et le tout est placé sur une nouvelle feuille. De cette façon, une fois que le morceau découpé a nécrosé, la larve va tout naturellement se diriger vers la nouvelle feuille, nouvelle source de nourriture. Chaque nouvelle boîte contient donc un papier filtre humidifié, une feuille fraîche de tomate, et un morceau de feuille contenant une larve de deux jours. Cinq (05) lots de 05 larves ont été testés pour évaluer la durée du stade larvaire.

2-3. Durée de pupaison : Isolation des chrysalides en boîtes de Pétri

Les pupes de *T.absoluta* sont récupérées soit directement des plantes au champ soit à partir de chenilles d'élevage. Ces larves lorsqu'ils s'apprêtent à tisser leur cocon ne se nourrissent plus du tout et commencent leur grand travail de tissage.

L'installation consiste donc en une boîte de Pétri transparente de 55 mm de diamètre, dans laquelle est placé un papier filtre sur lequel est posée la chrysalide (Photo 13).



Photo 13 : Chrysalide isolée en boîte de Pétri

Les chrysalides ont été mises en élevage. Chaque chrysalide est placée dans sa boîte de pétri.

Chaque boîte en elle-même est installée dans un phytotron, sous un éclairage artificiel provenant d'un néon à LED procurant une photopériode de 16h de lumière et 8h d'obscurité maintenue à une température constante avoisinant les 28°C.

L'entretien des boîtes diffère selon le stade de développement des individus de *T. absoluta* présents, ainsi :

✓ Lors du début de la mise en place, aucun entretien particulier n'est nécessaire, la chrysalide n'ayant besoin ni de nourriture ni d'eau. La boîte est donc surveillée chaque jour afin de noter la date d'émergence de l'adulte.

✓ Une fois l'adulte sorti, il est nécessaire de lui fournir un support de ponte en plaçant dans la boîte une feuille de tomate, ainsi qu'un peu d'eau afin d'humidifier le filtre et de prévenir l'assèchement précoce de la feuille (Photo 14). A partir de ce moment, de l'eau est fournie tous les deux jours et une nouvelle feuille introduite au besoin (manque de place pour de nouvelles pontes ou assèchement de la feuille).



Photo 14 : Boîte de pétri avec feuille de tomate

A partir de cette expérimentation, il a été nécessaire de séparer chaque individu et/ou couple d'individus, de sorte à en effectuer le suivi de façon optimale.

2-4. Sex-ratio, fécondité et fertilité

➤ **Sex-ratio** : Après l'émergence des chrysalides, le sex-ratio est déterminé comme étant le rapport entre le nombre de mâles et le nombre de femelles.

➤ **Fécondité des femelles** : Les adultes ainsi récupérés sont ensuite mis dans des bouteilles en plastique coupé pour suivre la fécondité des femelles de *T. absoluta*. La fécondité est déterminée à partir du nombre moyen d'œufs pondus par femelle.

➤ **Fertilité** : A également été établi le taux de femelles fertiles, qui est le pourcentage de femelles ayant effectué une ponte par rapport au nombre total de femelles ayant atteint le stade adulte.

2-5. Longévité des adultes : La longévité des adultes est un paramètre important à prendre en considération dans l'étude du cycle biologique. Ce paramètre a été aussi étudié au laboratoire.

3. Dynamique des populations de *T. absoluta* sous serre

L'objectif de cette étude consistait à suivre l'évolution des fluctuations des populations de *T. absoluta*, de détecter le premier vol des adultes ainsi que le nombre de générations pouvant être accomplie par ce nouveau ravageur dans son nouvel habitat. Pour ce faire, Une (01) parcelle de tomate sous serre a été mise en place au niveau de la station expérimentale de l'Université de Mascara qui couvre une superficie totale de 50ha de terres agricoles distinguées aux différents travaux de pédagogie et d'expérimentation.

3-1. L'hôte végétale : la tomate

➤ **Choix et Préparation du terrain** : Le choix de la parcelle d'étude s'est basé sur plusieurs critères notamment le précédent cultural, la nature du sol et l'installation de la serre. Ce choix est essentiel ; celui-ci doit être bien aéré, installé de préférence dans un lieu isolé des autres cultures et de toute source de contamination, désinfecté et désherbé. La pépinière a été réalisée au niveau de la station expérimentale de l'Université de Mascara Il s'agit d'un abri serre destiné spécialement à la pépinière.

Avant l'installation de la serre, plusieurs opérations ont été effectuées :

- Labour profond (sur au moins 30 cm) ;
- Le passage de cover-crop (pour avoir un sol meuble et bien aéré) ;
- Le nivellement.

➤ **Le Semis** : en pépinière (3,70 m sur 1,80 m). Le fumier a été mélangé au sable à une quantité de 50% de chaque composant.

➤ **Le suivi dans la pépinière** : La bonne qualité de la production maraichère dépend de la qualité physiologique, mais surtout de l'état phytosanitaire des plants utilisés. Le nettoyage et le désherbage ont été effectué régulièrement au niveau de la pépinière ainsi que son entourage voisin afin d'assurer le développement normal et sain des plantules de tomate.

Des observations et des contrôles portant sur l'état sanitaire des plantules ont été noté régulièrement en mentionnant toute anomalie due aux attaques fongiques, virales ou d'insectes ainsi que des carences physiologiques, et surtout une éventuelle présence de la mineuse de tomate.

➤ **Le repiquage** : En pépinière, on peut sélectionner les plantules en fonction de leur taux de croissance et de leur état de santé avant de les repiquer sur le terrain (NAIKA *et al.*, 2005).

Après avoir installé la serre, un labour profond a été effectué quinze jours avant le repiquage des plants de tomate pour aérer le sol et éliminer les éventuelles chrysalides des ravageurs de culture. Ensuite, la parcelle a été irriguée trois jours avant le repiquage.

➤ **L'entretien de la parcelle expérimentale** : Après un mois de repiquage, nous avons pratiqué le binage et l'amendement d'engrais pour la culture à base de N, P, K. (15, 15, 15) et de l'Urée (46,2%). Le binage, le buttage et le déchaumage qui consistent à travailler superficiellement le sol et minimiser le risque de développement des adventices sont appliqués chaque fois que cela s'avère nécessaire.

En plus du travail du sol, nous avons effectué un désherbage régulier manuellement sans utilisation d'herbicides.

➤ **La protection phytosanitaire de la serre :** Pour préserver l'aspect de la plante, nous avons réalisé un traitement aphicide (ACEPLAN) par pulvérisation avec une dose de 0,01kg/10L. Un programme de traitement visant le mildiou a été également effectué à base d'un fongicide de contact (ANTRACOL) et d'un fongicide systémique (curtine) (deux applications d'Antracol et deux autres à base de curtine). Toutes les applications ont été réalisées par pulvérisation foliaire.

3-2. Piégeage des adultes

Dans toute étude de l'infestation, il est indispensable de connaître la date des premières captures d'adultes, ce qui permet aussi d'appliquer avec efficacité les traitements phytosanitaires nécessaires.

L'installation d'un réseau de piégeage peut servir à :

- confirmer ou informer la présence du ravageur ;
- déterminer les époques d'activité ;
- apprécier l'importance des populations.

Parmi les différents types de pièges qui peuvent être utilisés, le piège de type delta est utilisé dans cette étude pour la capture des adultes de *Tuta absoluta*. Il est du type I.N.R.A. Il est constitué par une tente en carton (forme delta) avec un carton englué mobile au fond, muni d'une capsule chargée de phéromone. Ce sont principalement les mâles qui sont attirés (Photo 15).



Photo 15 : Piège Delta avec la capsule de phéromone.

3-2-1. Installation des pièges

L'installation adéquate des pièges est très importante pour assurer l'efficacité du piégeage des papillons de *Tuta absoluta*.

Pour évaluer la population de *Tuta absoluta*, un piège a été installé le 09/12/2010 au niveau de la serre avec la culture de tomate au niveau de la ferme expérimentale.

Ce piège est positionné dans le bas du feuillage (environ 1m du sol) pour éviter qu'il soit recouvert par la végétation. Il est installé dans le sens du rang pour avoir un courant d'air qui traverse et la capsule est posée horizontalement (la diffusion des phéromones est meilleure).

3-2-2. Relevé des pièges

L'objectif de ce piège est de détecter la possible présence du ravageur et d'évaluer le risque potentiel pour la parcelle.

Pour pouvoir suivre l'évolution des populations, les observations des pièges ont été réalisées de façon hebdomadaire et le nombre de papillons est comptabilisé. Les individus capturés sont comptés et retirés pour éviter d'être recomptés au prochain relevé.

Les capsules de phéromones ont été renouvelées toutes les quatre (04) semaines. Les plaques engluées des pièges étaient changées régulièrement pour éviter leur saturation.

3-2-3. Le piège et les trois types de suivi

Les observations ont été réalisées de façon hebdomadaire, trois types de suivi ont été menés :

- ✓ Un suivi des pièges Delta englué ;
- ✓ Un suivi global dans la culture faiblement infestée au début ;
- ✓ Un suivi précis dans la culture fortement infestée.

La réalisation de ces suivis dépendait de différents facteurs préalablement établis et définis selon les critères bien précis mentionnés ci-dessous.

➤ **Suivi des pièges delta** : La première année de l'étude, toutes les semaines, le piège a été contrôlé afin de dénombrer les mâles piégés. Dès l'installation du piège, il y a présence de papillons piégés ce qui a nécessité un suivi rapide global de la culture.

➤ **Suivi rapide et global de la culture** : Dès le premier adulte de *T.absoluta* piégé dans la serre, cinq (05) rangs pris au hasard étaient observés dans celle-ci le jour même puis toutes les semaines. Les plantes attaquées par au moins une mine étaient comptabilisées.

Le but de ce suivi rapide global était d'évaluer d'une part la **répartition des dégâts** dans la culture et d'autre part de déterminer la **fréquence d'attaque** (nombre de plantes avec dégâts-avec au moins une galerie sur feuille- sur le nombre de plantes total). Une fois la fréquence d'attaque constatée par le suivi rapide étant supérieure à 5 %, un suivi précis est réalisé.

➤ Suivi précis

✓ Sur feuilles

Le suivi précis consistait donc à observer de manière hebdomadaire 25 plantes prises au hasard au niveau de la serre. Les 25 plantes prises au hasard étaient réparties de façon aléatoire selon les quatre points cardinaux : 5 au nord, 5 au sud, 5 à l'est, 5 à l'ouest et 5 plantes au centre de la serre de manière à obtenir une vision la plus représentative de l'ensemble de la culture. Cette méthode consiste à prélever aléatoirement des feuilles de tomate qui sont mises dans des sachets en matière plastique, étiquetées et mises au frais, pour éviter leur dessèchement et sur lesquels sont notées les principales caractéristiques. Ce prélèvement est réalisé chaque semaine. Pour chaque plante observée, le rapport du nombre de feuilles attaquées sur le nombre de feuilles total donnait **l'intensité d'attaque** exprimé en pourcentage.

L'observation des échantillons au laboratoire, sous la loupe binoculaire, a permis de déterminer et de dénombrer les différents stades de développement de l'insecte :

- ✓ Compter les œufs éclos ou non et les larves présents sur les deux faces, supérieure et inférieure ;
- ✓ Déterminer les stades larvaires : ouvertures des mines pleines, à l'aide d'une épingle entomologique, pour faire apparaître les larves dont la séparation se fait selon la taille et la couleur. Le comptage concerne également, les mines vides.

Par ailleurs, des notations portaient sur trois étages de feuilles délimités auparavant sur les plantes : l'étage supérieur, l'étage intermédiaire et l'étage inférieur. Les observations ont eu lieu d'une façon hebdomadaire. A chaque étage, une feuille était prise de manière aléatoire et le nombre de galeries, la présence de larves, leur nombre et le nombre de pupes étaient notés selon la méthode de REGO (1992).

Les feuilles basales du plant de tomate ont été évitées car elles vieillissent rapidement et sont plus sujettes aux attaques par les champignons et les mouches mineuses; ce qui contraint les agriculteurs à les effeuiller régulièrement. Les feuilles sont, par la suite, examinées au laboratoire sous loupe binoculaire.

✓ **Sur fruits**

L'évaluation des fruits attaqués a été évaluée lors des récoltes. A partir du 06/05/2011, les prélèvements d'échantillons furent hebdomadaires, jusqu'à la récolte. Durant cette période, 10 échantillons de fruits ont été enlevés. Chaque échantillon est composé de 50 fruits.

Nous avons pris la précaution de prélever les fruits dans chaque coté de la parcelle pour éviter que les résultats ne soient biaisés par ce paramètre. Cette homogénéité relative explique pourquoi les données ont été regroupées pour tester l'influence des autres facteurs, quelque soit l'orientation.

Les plantes de la tomate ont globalement la même hauteur au niveau de la parcelle puisqu'ils ont été plantés la même date. La collecte a englobé aussi bien les fruits sur plant et ceux tombés au sol.

Les attaques de *Tuta absoluta* sont étudiées en fonction de plusieurs paramètres. Les facteurs considérés sont en relation directe avec les infestations de l'insecte. La méthode d'échantillonnage aléatoire est à la base de l'étude de l'estimation du taux d'infestation des fruits.

Les échantillons prélevés ont été rapportés au laboratoire, puis examinés et le taux d'infestation a été estimé.

3-3. Interaction *Macrolophus* sp. – *Tuta absoluta*

Cet essai vise à évaluer l'action complémentaire d'auxiliaires autochtones s'il y en a dans la culture. Il s'agit souvent de mirides prédatrices. Mais la recherche de ces parasitoïdes de *Tuta absoluta* est un objectif qui sera pris en compte dans ce suivi puisque *Macrolophus* sp., seul parasitoïde de *Tuta*, a été observé mais durant une période très courte seulement (mars-avril). Une attention particulière sera donc portée à l'observation de ce parasitoïde naturel en culture.

Dès l'apparition de ce miridé *Macrolophus* sp., le Dénombrement des adultes était relevé. Nous avons essayé de suivre l'évolution des populations du ravageur en présence du miride prédateur, *Macrolophus* sp. durant la période de sa présence.

4. Analyses statistiques des données

Les résultats obtenus ont été testés par plusieurs analyses statistiques qui semblent être les plus adéquates pour ce type d'étude.

Les lots de données, différenciés selon le stade analysé, sont d'abord soumis à un test de normalité de manière à vérifier si la distribution de ces données suit une loi normale. Celles-ci sont considérées normales si la valeur de p est inférieure à la valeur α du test. Si les données ne sont pas normales, il n'est pas possible de réaliser correctement une analyse de la variance par une ANOVA (ANalysis Of VAriance) à un facteur, et un autre test, non paramétrique, est réalisé.

➤ **L'analyse de la variance (ANOVA) randomisée (ou ANOVA un facteur pour échantillons non appariés)**

C'est un test paramétrique (exige que les distributions étudiées suivent la loi Normale) utilisé pour comparer entre plusieurs (>2) échantillons quantitatifs non appariés. Il teste l'hypothèse de l'égalité des moyennes (en H_0) contre la différence d'au moins l'une d'entre elles.

Ce type d'analyse permet seulement de montrer s'il existe ou non des différences entre les échantillons étudiés. Mais dans le cas où des différences existent, nous ne pouvons pas savoir quels traitements se différencient.

C'est donc dans ce but de compléter l'ANOVA qu'ont été développées un grand nombre de procédures de comparaisons multiples, dits tests « *a posteriori* » ou « *post-hoc* ». Le plus répandu parmi ces tests est le test LSD (Least Significant Difference) de Fisher.

➤ **L'analyse de la variance (ANOVA) répétée (ou ANOVA pour échantillons non appariés ou ANOVA deux facteurs avec ou sans répétitions)**

L'ANOVA à deux facteurs permet d'étudier l'effet séparé ou conjugué de deux facteurs sur une variable d'étude. Elle est plus naturelle que l'ANOVA à un facteur car en pratique les phénomènes sont liés à plusieurs causes probables.

C'est l'étude simultanée d'un facteur **A** à **p** modalités et d'un facteur **B** à **q** modalités.

➤ **Corrélation et régression**

✓ **Coefficient de corrélation linéaire** : pour savoir s'il existe une relation entre les larves et les adultes, les larves et les pupes et les adultes, nous avons calculé les coefficients de corrélation linéaire, deux à deux.

Pour établir une relation indépendante X et Y, il suffit de calculer le coefficient de corrélation. Si F_{obs} est supérieur à F_{th} , la corrélation entre les deux variables est jugée significative ; il existe alors une dépendance statistique entre elles.

✓ **Droite de régression** : S'il existe une corrélation significative entre les variables X et Y, on peut établir une droite de régression. Elle permet d'estimer les valeurs de Y connaissant certaines valeurs de X ce qui nous permet de prédire l'évolution ou l'effectif de l'un des stades en connaissant ceux de l'autre, si r est positif.

➤ **LSD de Fisher**

(Procédure de "*least significant difference method*" de Fisher) est utilisé pour tester l'hypothèse nulle que toutes les moyennes de la population sont égales. Lorsque les résultats de l'ANOVA sont significatifs, on peut comparer les moyennes des groupes 2 à 2 en utilisant un test de t.

Nous avons traité nos données avec le logiciel Microsoft Excel 2007.

PARTIE III

ESSAI DE TRAITEMENT BIOLOGIQUE (*Bacillus thuringiensis*) SUR LES POPULATIONS DE *Tuta absoluta*.

PARTIE III :

Essai de traitement biologique (*Bacillus thuringiensis*) sur les populations de *Tuta absoluta*.

Il est important de rappeler que *Tuta absoluta* est résistant, dans son aire de répartition, à de nombreux produits phytosanitaires. Le seul recours par les agriculteurs à la lutte chimique, le plus souvent de façon massive et irréfléchie, est insuffisant. C'est la combinaison de l'ensemble de méthodes lutte qui pourrait le contenir. C'est pourquoi la lutte intégrée par l'utilisation d'insecticide, les lâchers d'auxiliaires, la lutte biotechnique et la lutte physique est à privilégier. Ainsi et pour contribuer à trouver des solutions de lutte biologique, nous envisageons de tester l'efficacité d'une formulation commerciale de *Bacillus thuringiensis Kurstaki* sur les populations larvaires de la mineuse de la tomate *Tuta absoluta*. Les bio tests se déroulent au laboratoire et sous serre à l'Université de Mascara. Une série de doses sera testée afin d'en retenir celle qui donne les meilleurs résultats de mortalité.

L'objectif principal de cette étude préliminaire consiste à évaluer l'entomopathogénécité de *Bacillus thuringiensis K.* vis-à-vis des populations de la mineuse de la tomate.

Cette étude se justifie d'une part par l'ampleur des dégâts de cette mineuse sur la tomate au cours de ces dernières années et d'autre part, par l'utilisation abusive et exclusive des insecticides.

Pratiquement, notre expérimentation s'est déroulée en trois étapes distinctes à savoir :

- ✓ Echantillonnage sur terrain et élevage des populations de *T. absoluta* ;
- ✓ Etude de l'efficacité de *Bacillus thuringiensis K.* sur les stades larvaires et nymphaux de *T. absoluta M.* au laboratoire ;
- ✓ Etude de l'efficacité de *Bacillus thuringiensis K.* sur les stades larvaires de *T. absoluta M.* sous serre.

1. Matériel

1-1. *Tuta absoluta* (Meyrick)

Des échantillons de plants de tomate infestés par la mineuse de la tomate sous serre ont été récoltés à plusieurs reprises au niveau de la ferme expérimentale de l'Université de Mascara.

Ces échantillons ont été ramenés au laboratoire d'entomologie de l'Université de Mascara pour le prélèvement des différents stades biologiques de *T. absoluta* (Œufs, larves et nymphes) qui seront utilisés pour la conduite des élevages de populations dans les conditions de laboratoire.

Le matériel suivant est utilisé :

- Loupe binoculaire
- Boîte de pétri
- Pince
- Feuilles fraîches de tomate
- Bouteilles en plastique de 1.5 l
- Gravier
- Toile à mailles fines
- Tube à essai
- Sucre et coton.

1-2. *Bacillus thuringiensis* Kurstaki

L'échantillon de *Bacillus thuringiensis* K., utilisé dans cette étude, est un insecticide biologique commercialisé et disponible sur le marché algérien.

Il se présente sous une formulation en poudre mouillable conditionnée dans un sac de 1.02 kg. La concentration est de 32000 UI/mg.

Il est homologué en Algérie pour la lutte contre plusieurs ravageurs (chenille processionnaire, Bombyx, pyrales...etc).

1-3. Installation de la serre expérimentale

Une petite serre a été mise en place au niveau de l'Université de Mascara (pôle Mustapha stambouli) d'une superficie 15 m² (5m de longueur et 3 m de largeur). Pour sa confection, nous avons utilisé un film plastique jaune, du fil de fer et du fil d'attache. A l'intérieur de la serre 18 pots contenant les plants de tomate ont été mis en place. Ces plants de tomate ont été ensuite infestés par les larves de *T. absoluta* M. prélevées des échantillons (Photo 16).

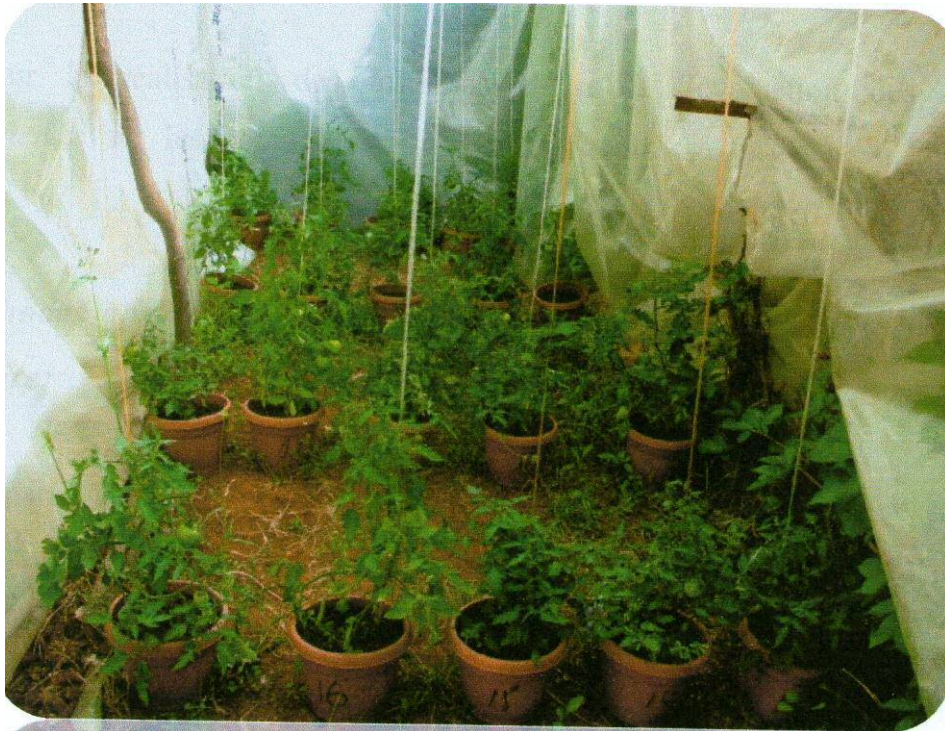


Photo 16 : Serre mise en place pour les tests d'efficacité du Btk

Cette serre a servi pour les tests d'efficacité de *Bacillus thuringiensis* K. sur les populations larvaires en fonction des stades et du temps.

2. Méthodologie appliquée

La démarche suivante a été suivie pour la réalisation des tests nécessaires à l'évaluation des effets de *Bacillus thuringiensis* K. sur les populations de *T. absoluta*.

2-1. Méthodes appliquées pour le prélèvement des larves et des nymphes au laboratoire

A partir des échantillons ramenés de la ferme expérimentale de l'Université de Mascara, nous avons prélevés au laboratoire, à l'aide de loupe binoculaire, les larves (tous stades confondus) et les nymphes contenues dans les feuilles minées.

Les larves ainsi prélevés sont mises, en fonction de leurs stades, dans un premier temps, dans des boites de pétri contenant des feuilles fraîches de tomate comme support alimentaire et du coton imbibé d'eau distillé. Les feuilles de tomate et le coton sont renouvelés chaque fois que c'est nécessaire. Ces larves sont soumises aux conditions ambiantes de laboratoire. Ces larves, élevées au niveau du laboratoire, ont été divisées en deux (02) lots, le premier pour l'infestation des plants de tomate au niveau de la serre ; le second pour les essais d'efficacité de *Bacillus thuringiensis* K. au laboratoire.

Les nymphes récupérées sont également placés dans des boites de pétri et mises à l'intérieur d'une étuve à une température de 28°C. Le suivi des émergences se fait quotidiennement.

2-2. Détermination des doses test

Il a été opté, dans nos essais d'expérimentation, pour l'utilisation de cinq (05) doses avec trois (03) répétitions et un témoin.

Pour le choix des doses, nous nous sommes basés sur la dose recommandée contre les lépidoptères, soit 0.500 g/litre d'eau. En se basant sur cette dose référence, des essais préliminaires ont été réalisés pour déterminer les différentes doses à expérimenter. En effet, nous avons soumis les larves de différents stades à la dose recommandée et aussi à une dose minimale de 0.150 g/l. Par conséquent, en estimant les taux de mortalité obtenus, une série de cinq (05) doses progressives a été retenue : 0.200, 0.350, 0.500, 0.650 et 0.800 g/l.

2-3. Infestation de la serre expérimentale sur les populations de *T. absoluta*

L'infestation des plantes de tomate s'est faite par des larves de différents stades. L'opération est répétée plusieurs fois jusqu'au déclenchement des tests d'efficacité par le *Bacillus thuringiensis*. Les adultes obtenus de l'élevage de laboratoire ont également été lâchés à l'intérieur de la serre. Signalons que les traitements ont été réalisés au démarrage d'une nouvelle génération de papillons (suivant la capture des adultes au niveau des pièges à phéromones sexuelles) correspondant à 30-50 % de feuilles attaquées dans la serre. Le produit a été appliqué jusqu'au point de ruissellement à l'aide d'un pulvérisateur manuel.

3. Protocole expérimental

Les tests d'efficacité de *Bacillus thuringiensis* sur les populations larvaires de *T. absoluta* se sont déroulés en deux phases, l'une au laboratoire et l'autre sous serre.

Au laboratoire, les larves mises en boîte de pétri, sont soumises aux feuilles de tomates pulvérisées par les différentes doses de *Btk* ; alors que sous serre, ces pulvérisations sont effectuées sur le feuillage des plantes de tomate en présence des mines de différents stades biologiques.

3-1. Au laboratoire

Pour l'ensemble des tests (y compris le témoin), nous avons utilisés 36 larves pour chaque stade larvaire, soit au total 144 larves tous stades confondus (Figure 14).

	L1						L2						L3						L4					
	D1	D2	D3	D4	D5	T	D1	D2	D3	D4	D5	T	D1	D2	D3	D4	D5	T	D1	D2	D3	D4	D5	T
R1																								
R2																								
R3																								

L : Larve 1, 2, 3, 4 R : Répétition T : témoin
 D : dose (1=0,200 g/l ; 2=0.350 g/l ; 3=0.500 g/l ; 4=0.500 g/l ; 5=0.800 g/l)

Boite de pétri + feuille traitée + 2 larve Boite de pétri + feuille non traitée + 2 larve

Figure 14 : Dispositif expérimental des tests d'efficacité du Btk sur les populations larvaires de *Tuta absoluta* au laboratoire

Une série de cinq (05) doses croissantes avec trois (03) répétitions a été effectuée. Le dispositif expérimental mis en place comprend quatre (04) lots, soit un lot par stade larvaire, de 18 boîtes de pétri chacun (15 pour les applications du *B. thuringiensis* et 03 pour le témoin). Chaque boîte de pétri contient 02 larves de même stade, du coton imbibé d'eau distillée et des feuilles de tomate fraîches.



















Sachant que la bactérie agit par ingestion, les larves, objet de tests d'efficacité, subissent des pulvérisations de *B. thuringiensis* directement sur les feuilles de tomate. Les témoins reçoivent des pulvérisations d'eau distillée.

La lecture des résultats se fait toutes les 48 heures pendant 8 jours en notant le comportement des larves ainsi que la mortalité.

3-2. Sous serre

Les plants de tomate des 18 pots disposés à l'intérieur de la serre ont été suspendus, en hauteur, à partir de la tige par de la ficelle pour permettre leur croissance végétative. L'entretien des plants est assuré par des irrigations opportunes et par la fertilisation minérale. Aucune application chimique n'est effectuée.

Les pots sont rangés en six (06) lignes de trois (03) pots chacune à équidistance ; cinq (5) lignes servent au traitement et une (01) au témoin (Figure 15).

	Dose 1	Dose 2	Dose 3	Dose 4	Dose 5	Témoin
R1						
R2						
R3						

R : Répétition

T : témoin

D : dose (1=0,200 g/l ; 2=0.350 g/l ; 3=0.500 g/l ; 4=0.500 g/l ; 5=0.800 g/l)



Pot + plante traitée



Pot + plante non traitée

Figure 15 : Dispositif expérimental des tests d'efficacité du *Btk* sur les populations larvaire de *Tuta absoluta* sous serre

Les mêmes doses (cinq) appliquées au laboratoire sont retenues. Le traitement consiste en une pulvérisation foliaire de chaque plant de tomate par le *Btk*. Les applications du *Btk* s'effectuent en isolant chaque pot, à l'aide d'un carton d'emballage (Photo 17), afin d'éviter le doublement des pulvérisations sur un plant et de fausser les résultats prévisibles pour chacune des doses appliquées. Chaque dose est répétée trois (03) fois, soit trois répétition par dose. Les pots témoins reçoivent quant à eux des pulvérisations d'eau distillée.



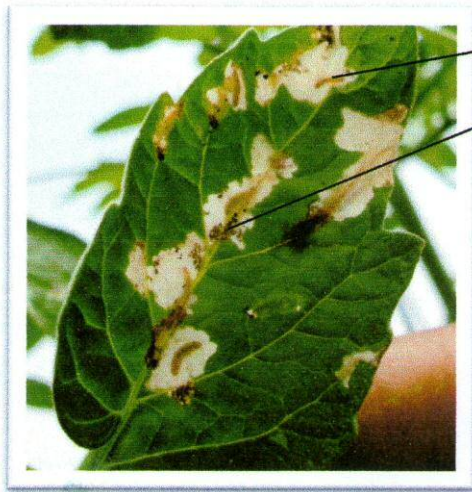
Photo 17 : Isolement des plants lors de la pulvérisation

Après avoir pulvérisé les plants par l'une des doses, nous procédons à une lecture minutieuse des résultats tous les deux (02) jours pendant une semaine soit la période correspondante à la durée théorique d'efficacité du *Btk*. Le premier relevé est réalisé 48 heures après chaque traitement. Ce relevé consiste à noter la mortalité larvaire par stade biologique.

Rappelons que la reconnaissance des différents stades larvaires de *T. absoluta* est basée sur l'observation directe et de la taille de la mine conformément aux travaux de plusieurs auteurs notamment celui de GUENAOUI (2008). L'identification de l'état vital des larves est basée sur la couleur et l'activité (Tableau 12).

Tableau 12 : Caractéristiques des stades larvaires de *T. absoluta* (d'après GUENAOUI, 2008)

Stade larvaire	Mensuration	Couleur	Forme des galeries
L1	1.6 mm	Claire	Rectiligne
L2	2.8 à 3 mm	Verte	Sinueuse développée
L3	4.5 à 4.7 mm	Verdâtre (plus foncé)	Sinueuse bien développée
L4	7.3 à 8 mm	Rose clair ou rouge carmin	Sinueuse très développée



Larves visibles à
travers les mines

Photo 18 : Larves de *T. absoluta* visible à travers les mines sur tomate

Enfin et pour mesurer l'effet de *Btk* sur le nombre des larves par dose/jour, il a été procédé au dénombrement des individus survivants par rapport aux initiaux à l'intérieur de la serre. En effet, des prélèvements élémentaires ont été réalisés 2, 4 et 6 jours après le traitement et ont porté sur une moyenne de 20 feuilles.

4. Identification de *Bacillus thuringiensis*

Pour cette étape, nous avons utilisé le matériel suivant :

- Une balance de précision
- Agitateur
- Foliolles de 1000 ml
- barreau magnétique
- Flacons
- pH mètre
- Autoclave
- Boite de pétri

4-1. Préparation du milieu Mossel et développement de la bactérie

Ce type de milieu est utilisé pour l'identification de *B. Thuringiensis*. La technique de sa préparation consiste dans un premier temps à :

- ✓ Mettre en poudre 45 g de Mossel dans un (01) litre d'eau distillée et 15g d'agar. Ils sont ensuite portés à ébullition sous agitation constante et maintenu durant le temps nécessaire à sa dissolution complète ;
- ✓ Répartir dans des flacons, à raison de 100 ml par flacon, suivant l'application ;
- ✓ Stériliser à l'autoclave à 121°C pendant 15 minutes ;

Ensuite, entre deux (02) bec benzène, est pratiquée une petite dissection des larves de *T. absoluta* morte (incision verticale de l'abdomen). Ces dites larves sont mises dans des boîtes de pétri qui contient le milieu Mossel, et sont laissées incubés pendant 48 heures.

Après cette période d'incubation, des spores entourant l'insecte sont observés. Pour l'identification de la bactérie, un frottis est effectué à partir de la culture trouvée dans dix (10) boîtes de pétri ; le tout est laissé incubé pendant 48 heures.

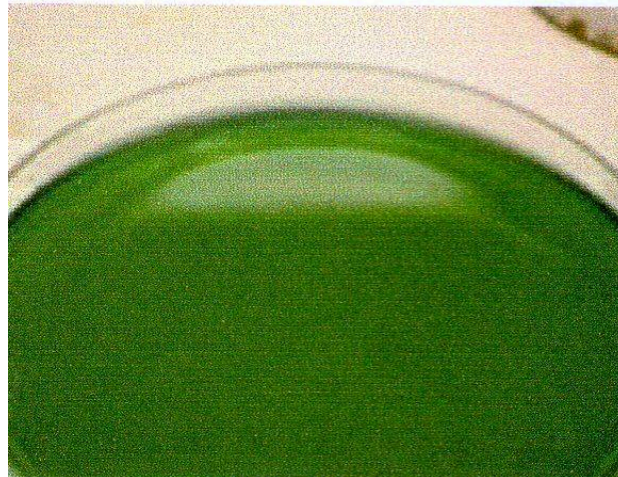


Photo 19 : Aspect du Milieu Mossel

4-2. Etude des caractères généraux de la bactérie

Une série de test biochimique est utilisée permettant l'identification de la souche bactérienne en se basant sur les caractères morphologiques, culturels et physiologiques.

► **Coloration spéciale des spores** : A partir d'un ensemencement de *Bacillus Thuringiensis* K. sur des boîtes de pétri contenant du PCA, un frottis est réalisé puis recouvert avec une solution de vert malachite à 0.5 % ; le tout est laissé chauffé pendant quelques minutes jusqu'à émission de vapeurs. Après ajout de colorant pendant le chauffage et rinçage à l'eau distillée, on procède à une coloration avec de la fuchsine pendant 30 secondes.

► **Coloration de gram** : La coloration de Gram selon la méthode décrite par DELLARAS (2007) est réalisée comme suit :

- ✓ A l'aide d'une anse stérile, des cellules bactériennes sont prélevées ;
- ✓ Ces cellules sont placées sur une lame contenant une goutte d'eau distillée stérile ;
- ✓ La préparation, après avoir été fixée par le violet de gentiane, est lavée à l'eau distillée stérile ;
- ✓ Quelques gouttes de lugol sont ajoutées avant de rincer à l'eau distillée ;
- ✓ La lame contenant les cellules est ensuite lavée avec de l'alcool à 95% puis traitée par la fuchsine à 1% et enfin lavée avec de l'eau distillée et séchée au dessus de la flamme d'un bec benzène.
- ✓ Observer au microscope optique à l'objectif x 100.

4-3. Caractères culturels et morphologiques

Après l'ensemencement de *B. Thuringiensis* sur des boîtes de pétri contenant du PCA, les caractères culturels et morphologiques des colonies bactériennes sont notés.

❖ Hydrolyse de l'amidon

100 ml de milieu PCA sont mélangés avec 2g d'agar est placé en autoclave pendant 15 minutes à 120°C.

Ce test permet de mettre en évidence la dégradation du polysaccharide par *B. Thuringiensis*. Le contenu obtenu est versé dans des boîtes de pétri vides et stériles puisensemencé avec des cellules bactériennes.

Ces cultures sont placées en incubation à 30°C pendant 3 à 4 jours ; la surface du milieu est inondé avec du ligol (iode-iodurée). Le test est dit positif si la zone traitée prend la couleur du lugol autour des colonies.

❖ **Dégradation de la gélatine – test gélatinase**

Dans un Erlenmeyer de 250 ml contenant 100 ml de PCA liquide, 2g de gélatine sont ajoutés. Le mélange, après avoir été agité, est coulé dans des tubes à essai, chacun 10 ml. Les tubes, d'abord stérilisés à 12°C pendant 15 minutes, sont inoculés par les souches bactériennes mis en incubation à une température de 30°C pendant 48 heures.

❖ **Caséine**

Des cellules bactériennes sontensemencées dans des tubes à essai contenant de la peptone stérile. Le tout est laissé en incubation à une température de 30°C pendant 3 à 4 jours. Le test s'avère positif si milieu devient trouble.

❖ **Utilisation de citrate**

Certaines bactéries sont capables d'utiliser le citrate comme seule source de carbone et d'énergie. Seules les bactéries possédant une citrate perméase et les enzymes du catabolisme du citrate sont capables de se développer sur un milieu contenant le citrate comme source unique de carbone : le milieu de Simmons. Le milieu estensemencé légèrement au moyen d'une anse de la suspension bactérienne en eau physiologique. Cette suspension est préparée à partir d'une culture obtenue après incubation à une température optimale de croissance de la bactérie soit 37 °C pendant 48 heures. L'indicateur qui est le bleu de bromothymol passera du vert au bleu.

3. Analyses statistiques

En plus des analyses statistiques (*ANOVA- Corrélation et régression-LSD de Fisher*) déjà décrites dans la partie II (Chapitre II : Matériel et méthodes- pages 87-88), d'autres tests ont été utilisés pour expliquer certains aspects notamment le test de Student. Ce test paramétrique repose sur des comparaisons de moyennes.

Le test de Student est utilisé pour comparer deux échantillons indépendants et/ou appariés (2 versions, adaptées à chaque catégorie d'échantillons).

Le test de Student concerne des données quantitatives, mesurées sur une échelle d'intervalle ou de rapport.

CHAPITRE III
RESULTATS ET DISCUSSION

PARTIE I
ETUDE ENTOMOLOGIQUE

PARTIE I :

Etude entomologique de *Tuta absoluta* Meyrick

1. Identification de *Tuta absoluta*

Ce nouveau ravageur des cultures, la mineuse des tomates, microlépidoptère, *Tuta absoluta* (Merick) a été signalée pour la première fois à Mascara en mars 2009.

Tuta absoluta (Merick) peut être confondu avec des espèces voisines d'intérêts agronomiques appartenant à la famille des Gelechiidae, ayant comme plante hôte les Solanaceae. Il s'agit notamment de :

- *Scrobipalopsis solanivora* inféodé à *Solanum tuberosum*.
- *Phthorimea operculella* est également présent sur les solanacées.

La confusion peut se faire aussi avec la mouche mineuse : *Liriomyza bryoniae*.

Bien que les adultes de ces espèces notamment ceux de la teigne de la pomme de terre et de la mineuse de la tomate, par leur ressemblance, puissent prêter à confusion, l'identification s'est basée essentiellement sur l'étude de la nervation alaire et l'extraction de génitalia.

Ceci a été possible grâce aux travaux antérieures notamment ceux de GONZALES (1989), POVOLNY (1994) et BADAOUÏ & BERKANI (2010).

1-1. Aspect général de la famille Gelechiidae

Les observations des adultes présentent l'aspect général d'un Gelechiida avec les Éléments de diagnostic suivants (Photos 20-21) :

- des ailes postérieures étroites et frangées ;
- des antennes filiformes atteignant les 2/3 de la longueur du corps ;
- 6 à 7 mm de long et 8 à 10 mm d'envergure ;
- De couleur gris argenté avec des taches brunes sur les ailes.



Photo 20 : Gelechiidae type (D'après POVOLNY, 1994).

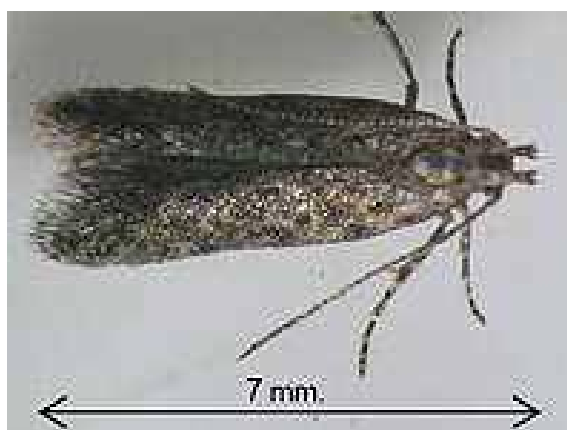


Photo 21 : Adulte Gelechiida

1-2. Etude de la nervation alaire

Les observations montrent que les ailes postérieures sont trapézoïdales à apex pointu (Figure 16) alors que les nervations alaires sont identiques à ceux des *Gelechiidae* d'après les planches de GONZALEZ (1989).

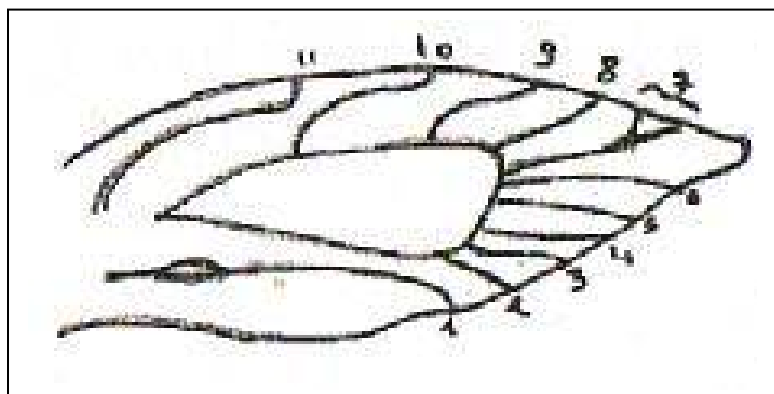


Figure 16 : Aile dominante d'un *Gelechiidae*



Photo 22 : Caractéristiques des nervures alaires de *Tuta absoluta* (originale)

1-3. Les Génitalia

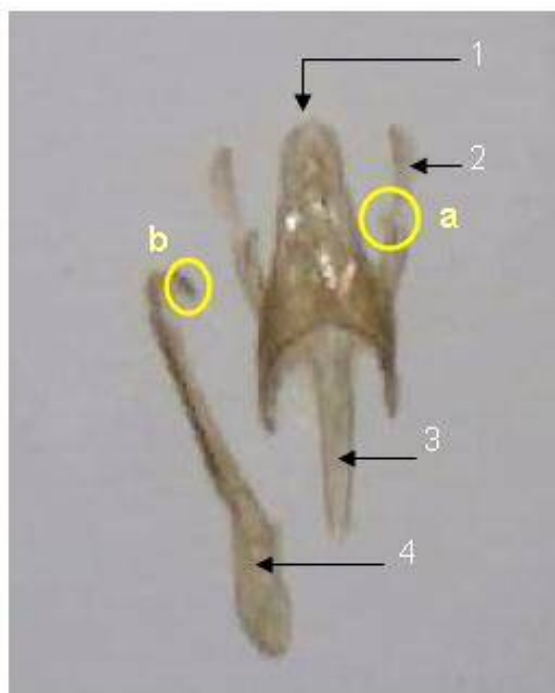
1-3-1. Génitalia mâle

L'appareil reproducteur des mâles est constitué de plusieurs pièces (Photo 24).

- **Valves** : Le génitalia mâle de *Tuta absoluta* porte deux valves aplaties, légèrement courbées avec une entaille dans leurs parties internes. Les parties centrales présentent une forte expansion en forme de dent (Photo 24(2a)).
- **Gnathos** : situé entre les deux valves, il se place exactement à la même hauteur (Photo 24 (1)).
- **Vinculum** : c'est la partie basale du génitalia, il est plus long que large (Photo 24 (3)).
- **Penis ou l'édéage** : il est épais et muni d'un organe crochu à son extrémité (Photo 24 (4)).



Photo 23 : Illustration générale de l'appareil génital mâle de la mineuse de la tomate



Tuta absoluta Meyrick

- | | |
|-------------|--------------------|
| 1. gnathos | 2. valve |
| 3. vinculum | 4. Pénis ou Edéage |

Photo 24 : Génitalia mâles de *Tuta absoluta* Meyrick

1-3-2. Génitalia femelle

Le génitalia femelle est composée de :

- ✓ Bourse copulatrice
- ✓ Signum
- ✓ Canal copulateur
- ✓ Apophyse
- ✓ Papilles anales

Il a été difficile de faire apparaître la bourse copulatrice ; le canal copulateur de cette dernière est indépendant de la bourse copulatrice qui a la forme d'un entonnoir conique dans ses deux tiers (Photo 25).



- 1- bourse copulatrice
- 2- signum
- 3- canal copulateur
- 4- apophyse
- 5- papilles anales

Photo 25 : Génitalia femelle de *Tuta absoluta* Meyrick

Ces travaux de systématique et d'identification qui ont concerné les ailes et les génitalia des adultes de *Tuta absoluta*. L'étude a permis de confirmer les caractères suivants : 6 à 7 mm de long et de 8 à 10 mm d'envergure. La couleur est gris argenté avec des taches brunes sur les ailes. Les antennes sont filiformes. Les adultes sont à activité crépusculaire et se cachent durant le jour entre les feuilles.

L'identification des genitalia mâles sous microscope après montage entre lame et lamelle a permis de confirmer pour la première fois la présence à Mascara (Algérie) de ce nouveau ravageur conformément aux travaux de BADAoui et BERKANI (2010).

2. Etude de quelques paramètres biologiques de *T. absoluta* au laboratoire

2-1. Durées de développement

2-1-1. Résultats

La durée de développement de chacun des stades est définie par le temps passé par l'individu entre le passage d'un stade à l'autre ; le développement total étant considéré depuis la ponte jusqu'à l'émergence de l'adulte.

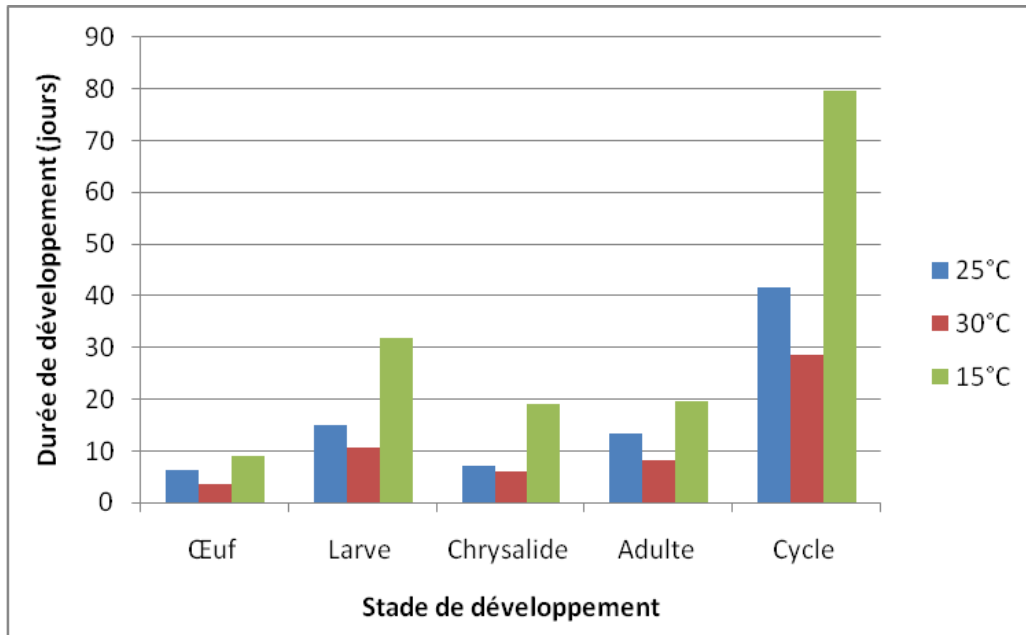
Les élevages effectués au laboratoire durant cette étude nous ont permis de déterminer la date d'émergence des adultes, leur longévité, leur sex-ratio ainsi que les durées de développement des différents stades de l'insecte.

Notre travail s'est déroulé principalement dans les conditions de laboratoire ; mais parfois en raison de quelques problèmes d'élevage rencontrés, il a été fait recours aux œufs, parfois des larves ou des chrysalides capturés dans la nature. Aussi, le nombre de chenilles était très limité et quelquefois difficile à trouver.

Cette étude a permis de mettre en évidence l'impact de la température sur le cycle biologique du ravageur. Trois gammes de températures ont été testées et ont permis d'enregistrer les résultats suivants :

Tableau 13 : Durée moyenne de différents stades aux températures 15°C, 25°C, 30 °C

Températures testées	Œuf	Larve	Chrysalide	Adulte	Cycle
15°C	9,08	31,7	19,16	19,67	79,56
25°C	6,12	14,86	7,1	13,44	41,72
30°C	3,44	10,48	6,09	8,26	28,42

**Figure 17** : Durée de développement (en jours) des différents stades de *T. absoluta*

Les résultats illustrés dans le tableau 13 et la figure 17 montrent une remarquable influence de la température sur la durée du développement des différents stades.

2-1-2. Discussion

En ce qui concerne la durée d'incubation des œufs, nos résultats montrent une durée comprise entre 3,44 et 9,08 jours de développement embryonnaire pour les températures 15°C et 30°C ; ces résultats semblent en conformité avec les travaux de KAOUTHAR *et al.* (2011) qui obtiennent une durée de 5,20 jours sur tomate et CAPARROS *et al.* (2013) avec une durée moyenne de 7,02 jours sur pomme de terre dans les conditions de laboratoire (température aux environs de 25 °C).

Dans le cas du développement larvaire, les durées observées étaient comprises en moyenne entre 10 et 31 jours pour les trois températures testées. Nos données se rapprochent de celles de PEREYRA et SANCHEZ (2006) et de CAPARROS *et al.* (2013) sur pomme de terre mais s'éloignent de celles de KAOUTHAR *et al.* (2011) sur tomate, avec des durées respectivement de 14, de 14,02 et de 18,60 jours. Ces différences peuvent ici être expliquées par le choix de la plante hôte considérée.

Les observations des nymphes nous ont montré une durée de développement moyenne entre 6 et 19 jours. Ces données corroborent celles de KAOUTHAR *et al.* (2011) qui rapportent une durée de 13,8 jours sur tomate et de CAPARROS *et al.* (2013) qui trouvent des valeurs de 10,23 jours sur pomme de terre. Le choix de la plante hôte lors du développement larvaire a vraisemblablement influencé la durée du stade nymphal étant donné que la chrysalide n'est pas dépendante du substrat présent au moment de son développement.

Enfin et indépendamment des sexes, nos données font état d'une durée de vie qui varie de 8 à 20 jours pour les adultes et sont proches de celles fournies par CAPARROS *et al.* (2013) qui sont de 14,19 jours.

En prenant en compte le sexe des adultes, les adultes femelles ont une durée de vie plus longue que celle des mâles, avec des valeurs moyennes respectives entre 6-16 jours et 8-20 jours.

La variation entre ces valeurs peut s'expliquer par les conditions environnementales différentes. L'expérimentation de KAOUTHAR *et al.* (2011) se déroule en serre à $25 \pm 0,1^\circ\text{C}$ avec un substrat composé des feuilles de tomates alors que celles de CAPARROS *et al.* (2013), PEREYRA et SANCHEZ (2006), à $24 \pm 1^\circ\text{C}$ pour les premiers et à $25 \pm 1^\circ\text{C}$ pour les autres, sur des pommes de terre. La nature du substrat et la température pourraient donc expliquer en partie la différence de durée à chacun des stades de développement.

Une remarque importante mérite d'être évoquée au stade larvaire. En effet, c'est le seul stade influencé fortement par le substrat étant donné que la larve se nourrit de façon très importante tout au long de son développement.

PEREYRA et SANCHEZ (2006) affirment que le temps de développement, plus court sur tomate que sur pomme de terre dans leur étude, est induit par la qualité nutritionnelle de la tomate et est positif pour le développement de *T. absoluta*.

Concernant la durée totale du cycle et en comparaison avec les travaux dans les pays méditerranéens, nos résultats semblent confirmer ceux de MARGARIDA (2008) en Espagne, AMAZOUZ (2008) au Maroc et GUENAOUI (2008) en Algérie. En effet, AMAZOUZ (2008) évalue la durée du cycle à 29 jours à 30 °C et 79 jours à 15 °C ; GUENAOUI (2008) estime la durée de développement total de 23 jours à 27°C et la durée de la phase larvaire de 13 jours à 27°C.

2-2. Mortalité des stades immatures

2-2-1. Résultats

Les résultats obtenus au laboratoire sont confrontés avec ceux évalués sous serre en comparant les moyennes des mortalités d'œufs, des larves et des nymphes. Les résultats dans la nature sont regroupés dans le tableau 14.

Tableau 14 : Taux de mortalité des stades immatures et fréquence des piqûres stériles sous serre.

Dates	Piqûres stériles (en %)	Mortalité des œufs (en %)	Mortalité total des larves(en %)	Mortalité total des nymphes (en %)
Moyenne	23,42	33,07	29,7	10,88

Nos observations (Figure 18) montrent :

- ✓ Une proportion des piqûres stériles qui varie de 25% à 28,75% avec une moyenne de 23,42% valeur très élevée ;
- ✓ Une mortalité des œufs variant de 30,17% à 36,78 %, avec une valeur moyenne de 33.07 % ;
- ✓ Une mortalité larvaire qui atteint une valeur moyenne estimée à 29,7% ;
- ✓ Une mortalité nymphale assez faible de 10,88%.

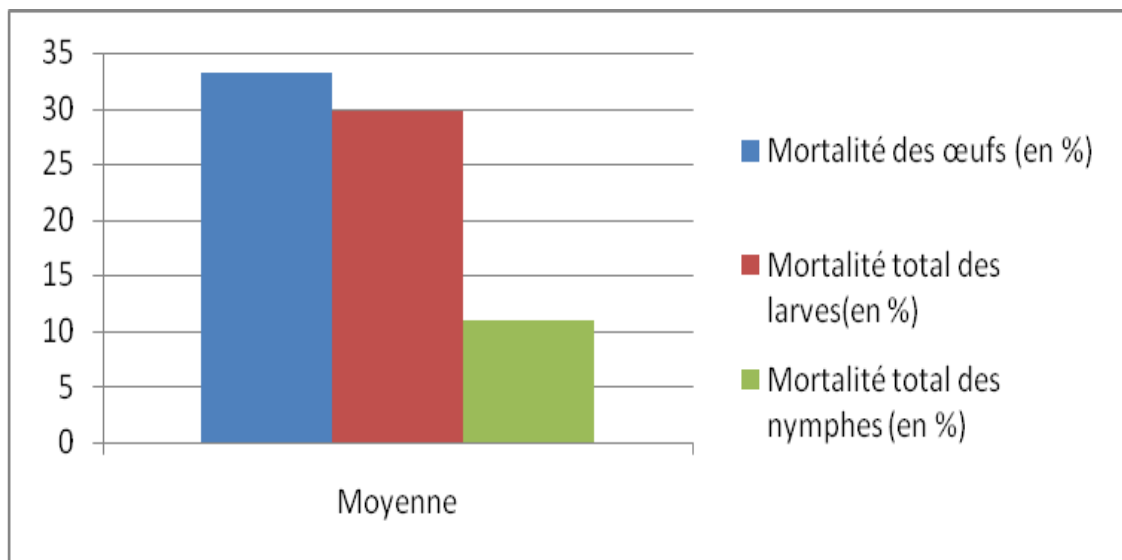


Figure 18 : Taux de mortalité de *Tuta absoluta* sous serre

2-2-2. Analyse statistique

L'analyse statistique de l'analyse de la variance (ANOVA Randomisé) à un facteur montre que le test est non significatif avec une prob. Critique = 0.93.

Tableau 15 : Récapitulatif de l'ANOVA Randomisée (un facteur)

Source des variations	ddl	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F de Fisher	Prob. Critique	Fthé0.05
Traitement	2	0,03333333	0,01666667	0,07142857	0,93114598	3,15884272
Erreur	57	13,3	0,23333333			
Total	59	13,33333333				

2-2-3. Discussion

► Sous serre

Nous avons trouvé une forte mortalité des stades immatures ; pour l'évaluer nous avons comparé les effectifs moyens de piqûres à ceux des œufs pour connaître la proportion des piqûres stériles. Les taux de mortalité de *T. absoluta* aux différents stades de développement se montrent importants.

En effet, la comparaison des nombres moyens d'œufs à ceux des larves éclos 10 jours après, a permis d'estimer la mortalité des œufs puisque l'incubation dure en moyenne 7 à 10 jours en printemps.

La mortalité larvaire est calculée en 1^{er} approximation en comparant les nombres moyens de larves.

La mortalité pupale et la durée de la nymphose ont été évaluées à partir des élevages menés au laboratoire. En effet, nous n'avons pas pu suivre les émergences des adultes dans la nature.

Le taux de mortalité effectif à chaque stade de développement est établi en fonction du nombre d'individus mort par rapport au nombre total d'individus ayant atteint le dit stade.

► Au laboratoire

➤ Mortalité des œufs

Nos observations montrent un taux de mortalité de 26,86% (Figure 19). Ces valeurs sont plus importantes que celles de CAPARROS *et al.* (2013) qui montrent 23% de mortalité sur pomme de terre, et plus faibles que celles de MIRANDA *et al.* (1998) qui présentent des valeurs de 58,7% en champs, en prenant en compte les conditions climatiques et les prédateurs. Ce dernier pourcentage comprend une part de prédation et de parasitisme (13,6%), le ramenant à 45% en considérant uniquement la non-viabilité des œufs.

Vu le déroulement de notre expérimentation en laboratoire confiné, les 26,86% de mortalité embryonnaire constatés ne peuvent également être causés que par la non-viabilité des œufs. Le nombre total d'individus analysé peut expliquer les variations entre les différentes expérimentations. En effet, les observations de MIRANDA *et al.* (1998) sont effectuées au départ de 1200 œufs et celles de CAPARROS *et al.* (2013) à partir de 200 œufs, alors que les nôtres ne concernent que 75 œufs.

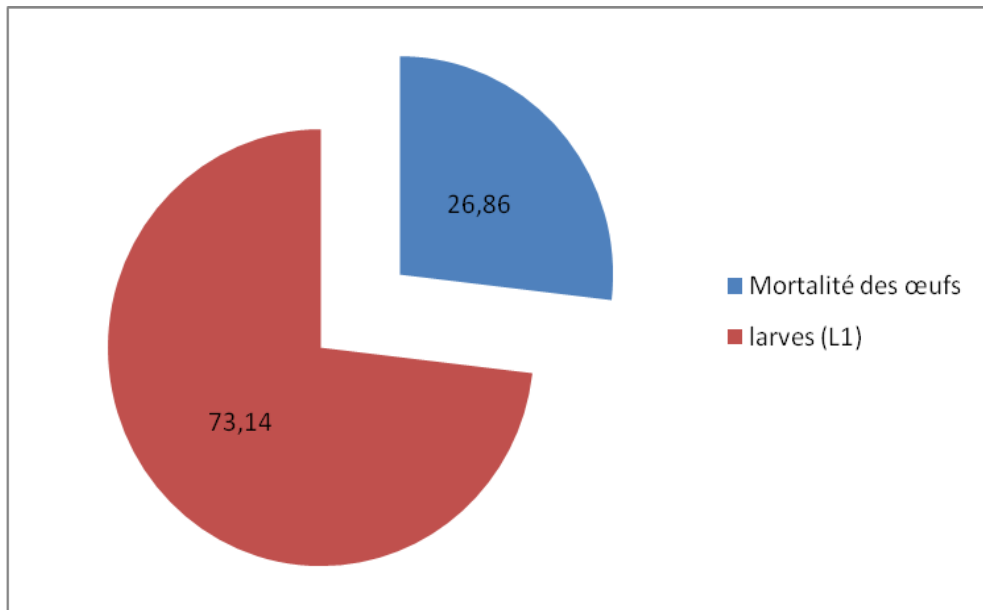


Figure 19 : Taux de mortalité des œufs de *Tuta absoluta* à partir des élevages

➤ Mortalité larvaire

En ce qui concerne la mortalité des larves, nos résultats montrent un taux de 10,29%, beaucoup plus élevé que chez MIRANDA *et al.* (1998) où ce chiffre approche les 79,8%, dont la prédation et le parasitisme sont en grande partie responsables (près de 79,5% des pertes). La non-viabilité des œufs est donc responsable de seulement 0,3% de la mortalité. Les taux rapportés par GUISTOLINE *et al.* (2002) sont également plus faibles, et vont de 3,33% à 14% de mortalité en fonction du stade larvaire considéré.

Durant la période d'étude, à partir des élevages effectués au laboratoire, les chrysalides obtenues à partir des larves contenues dans les feuilles de tomate représentent plus de 80 % (Figure 20).

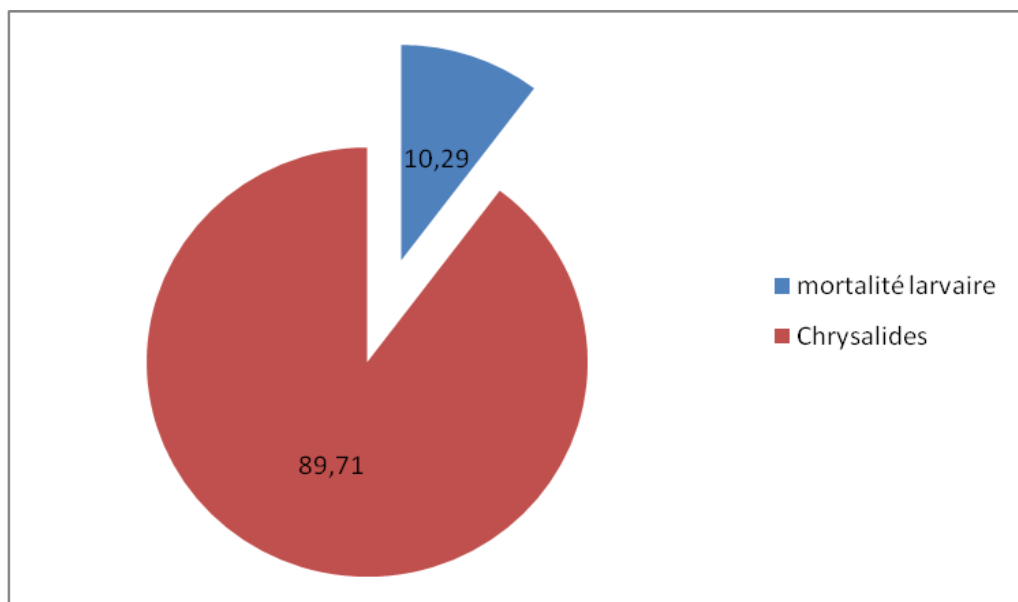


Figure 20 : Taux de mortalité larvaire chez *Tuta absoluta* à partir des élevages.

➤ Mortalité nymphale

Le taux d'émergence des adultes représente presque 90 % dans les conditions de laboratoire, ce qui fait la mortalité nymphale chez *Tuta absoluta*, estimée à partir des élevages effectués au laboratoire, est de moins de 10 %. (Figure 21)

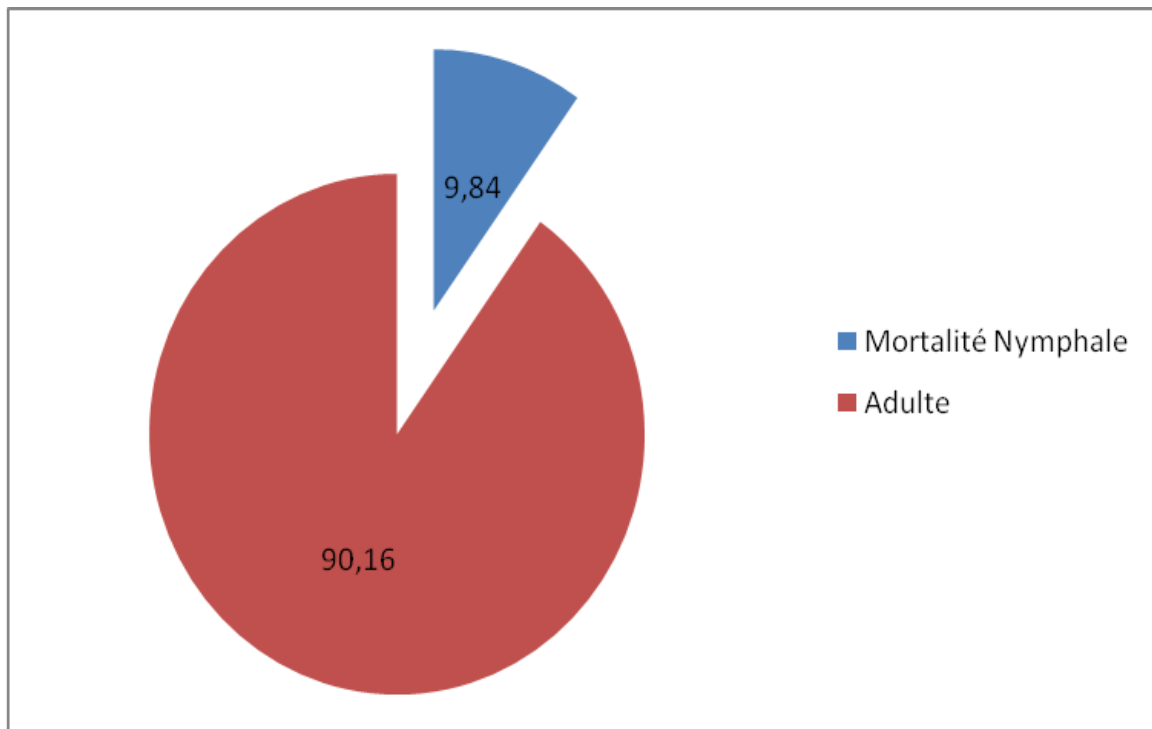


Figure 21 : Taux de mortalité nymphale chez *Tuta absoluta* à partir des élevages.

Le taux de mortalité nymphale, 9,84% dans notre expérimentation, se montre plus faible chez MIRANDA *et al.* (1998) où il approche les 0,6% pour cause de malformation. Un facteur pouvant expliquer cette différence est la présence de moisissures, survenue fréquemment dans notre essai, directement sur les chrysalides, causant ainsi leur mort. Il a été également révélé la présence d'acariens.

Les résultats des taux de mortalité des différents stades immatures chez *Tuta absoluta* sont regroupés dans le tableau 16 et illustrés par la figure 22.

Tableau 16 : Taux de mortalité des Stades immatures *Tuta absoluta* à partir des élevages.

Stade	Œuf	Larve	Chrysalide
Taux de mortalité (%)	26,86	10,29	9,84

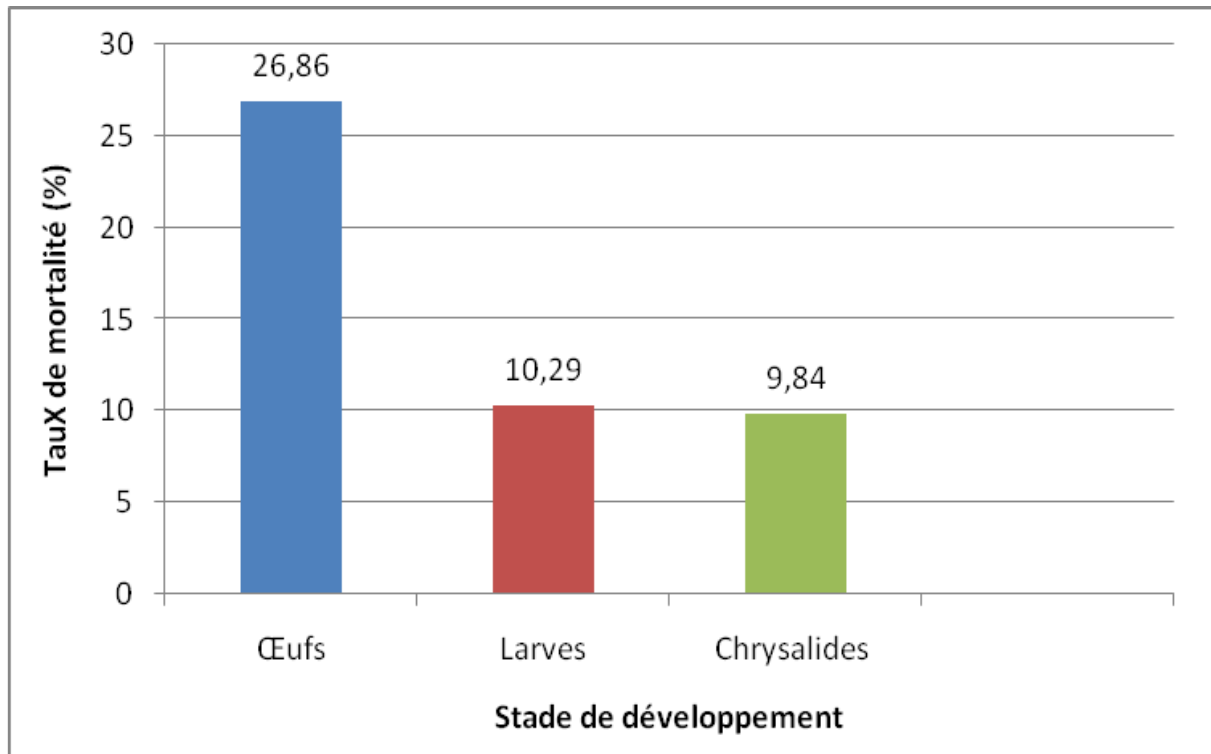


Figure 22 : Taux de mortalité des stades immatures chez *Tuta absoluta* à partir des élevages.

D'une manière plus générale, les différences entre les taux obtenus lors de nos essais et ceux rapportés par la littérature peuvent s'expliquer par des conditions environnementales différentes (comme le substrat, la température ou les conditions du milieu, particulièrement chez MIRANDA *et al.* (1998)) ou par les multiples manipulations des individus par l'expérimentateur. Il existe une certaine fréquence dans la manipulation des larves (lors de leur isolation et du changement régulier des feuilles de substrat) et des chrysalides (lors de leur sexage et de leur isolation) de notre expérimentation, pouvant causer directement leur mort ou occasionner un stress important. Enfin, la mortalité des nymphes peut en partie être expliquée par la présence d'acariens et du développement de mycètes engendré par un taux d'humidité peut-être trop important.

2-3. Relations entre les caractères liés à l'infestation

Les relations entre les caractères liés à l'infestation des feuilles de tomate par *T. absoluta* ont été analysées par la recherche de corrélation linéaire.

2-3-1. Relation entre l'émergence des chrysalides et celle des adultes

L'étude de corrélations linéaires montre qu'il existe une relation significative entre le nombre de chrysalides et celui des adultes émergés avec $R^2 = 0.692$.

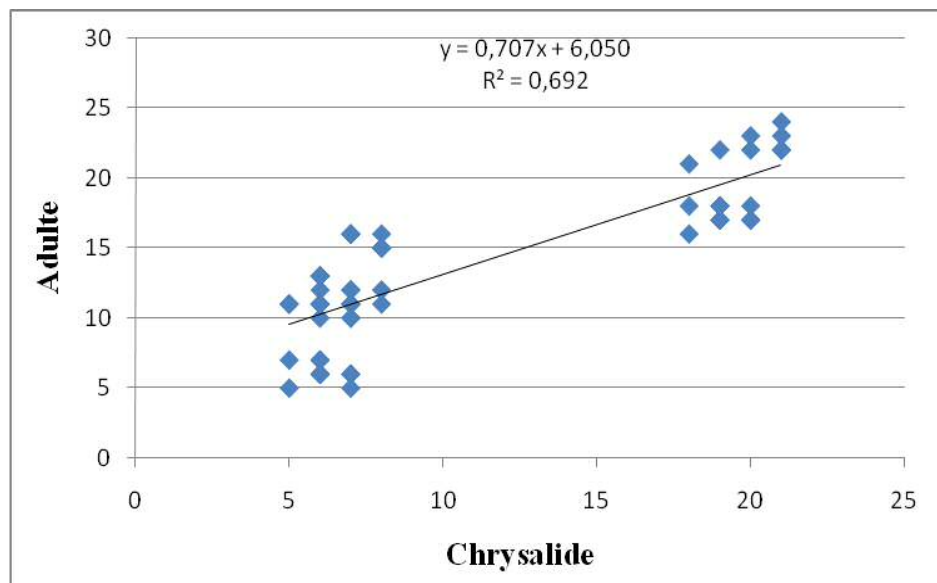


Figure 23 : Droite de régression entre les chrysalides et les adultes

Nous constatons donc que toutes les valeurs sont proches de la droite de régression (Figure 23), nous pouvons donc prédire le taux d'adultes à partir de celui des chrysalides et inversement.

2-3-2. Relation entre l'émergence des chrysalides et celle des larves

L'étude de corrélations linéaires montre qu'il existe une relation significative entre le nombre de larves et celui des chrysalides avec $R^2 = 0.931$

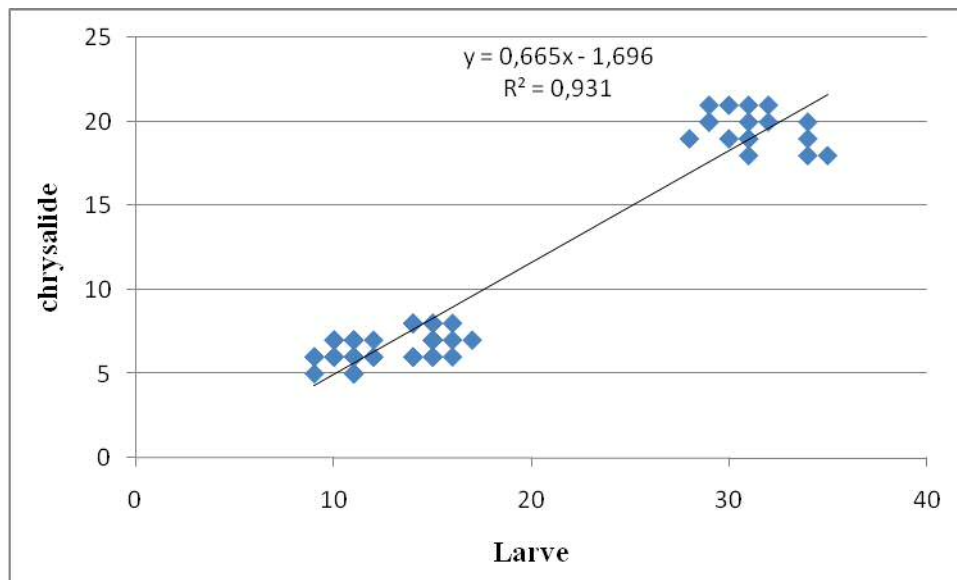


Figure 24 : Droite de régression entre les larves et les chrysalides

Nous remarquons que toutes les valeurs sont proches de la droite de régression (Figure 24), nous pouvons donc prévoir le taux de chrysalides à partir de celui des larves et inversement.

2-3-3. Relation entre l'émergence des adultes et celle des larves

L'étude de corrélations linéaires montre qu'il existe une relation significative entre le nombre des adultes et les larves avec $R^2 = 0.750$

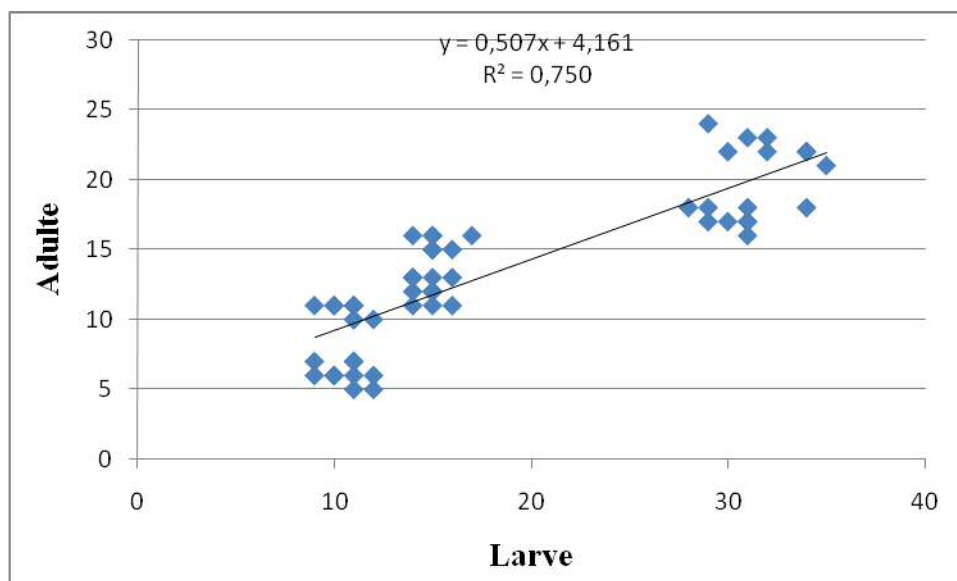


Figure 25 : Droite de régression entre les larves et les adultes

Cette corrélation plus faible que celles des deux autres peut s'expliquer, à l'instar des autres insectes, par les perturbations que subissent les larves au cours de leur développement (Figure 25).

2-4. Sex-ratio

Le sex-ratio permet de connaître le nombre mâles et de femelles émergés ainsi que le rapport entre le nombre de mâles/le nombre de femelles, obtenus lors des élevages.

2-4-1. Résultat

Dans le cadre de notre expérimentation et à partir des élevages, le sex-ratio est de 1/1,29 (femelle/mâle) (Tableau 17 ; Figures 26-27).

Tableau 17 : Taux de femelles/mâles à partir des élevages.

Sexe	Taux d'individus
Femelles	56,36%
Mâles	43,64%

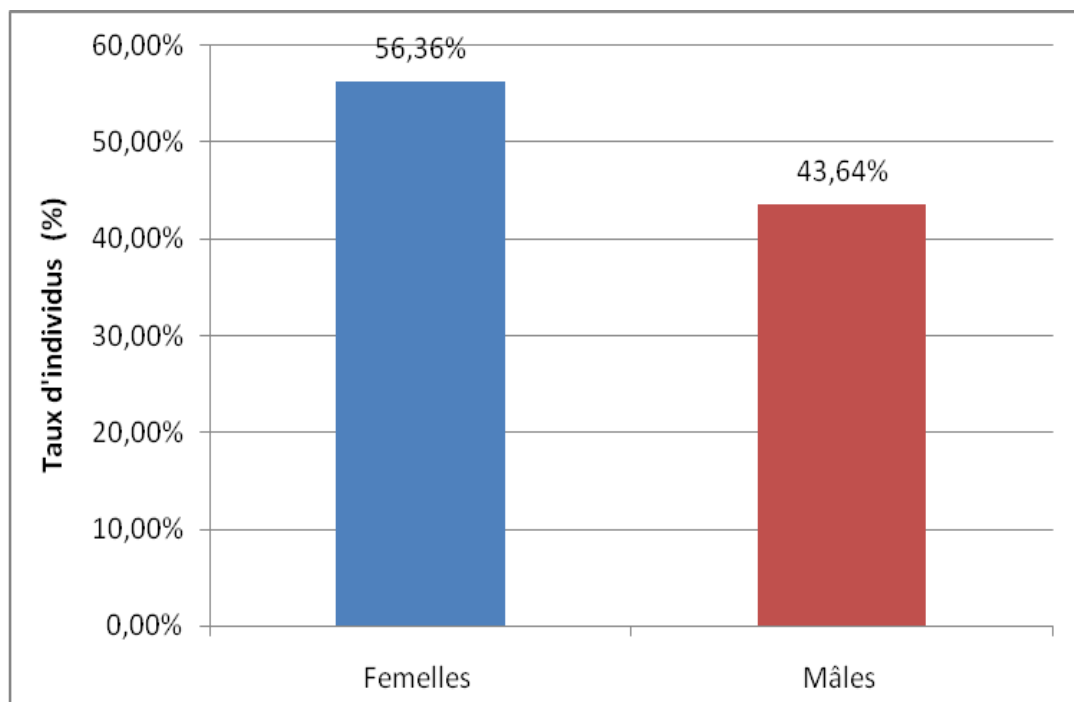


Figure 26 : Taux de mâles et de femelles au stade nymphal de *T. absoluta* à partir des élevages.

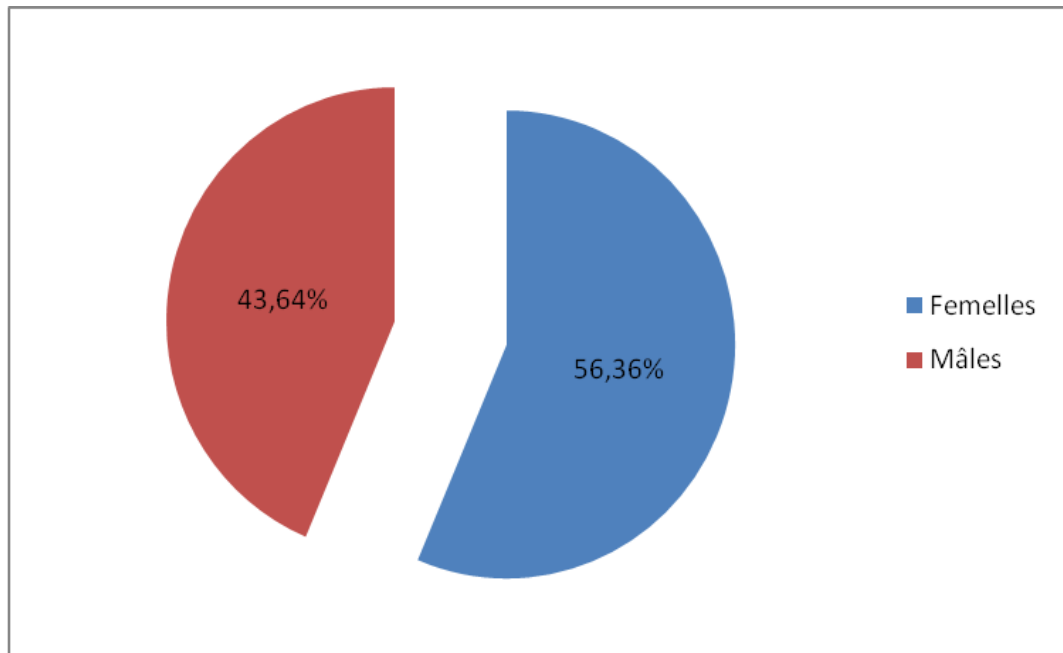


Figure 27 : Sex-ratio de *Tuta absoluta* à partir des élevages.

2-4-2. Discussion

Les valeurs de sex-ratio observées sont de 1/1,29. Ces valeurs, assez proches avec l'USDA-APHIS (2011) pour un taux 1/1,33, sont élevées chez CAPARROS *et al.* (2012) où ce rapport atteint 1/2. Cependant, ce taux avoisine 1/1 dans certains cas, avec une production plus importante de mâles (MORLEY *et al.* 2011). BENYAHIA (2015), dans la région de Tlemcen (Algérie), enregistre un taux élevé de 1/1.69.

Les valeurs de sex-ratio sont donc assez aléatoires, et rien à l'heure actuelle ne nous permet d'expliquer ce phénomène.

2-5. Fécondité, fertilité

Lors de notre expérimentation et en isolant des individus femelles dans le but d'étudier la longévité, il a été remarqué chez certaines un phénomène important : leur capacité à donner des œufs sans le besoin d'une fécondation sexuée.

En consultant la littérature récente notamment celle de CAPARROS *et al.* (2012), il est mentionné que la parthénogenèse au sein de l'espèce *T. absoluta* n'a été découverte que très récemment, en 2012, et n'est pas encore totalement éclairci.

Cette parthénogenèse est de type deutérotique, donnant à la fois naissance à des mâles et à des femelles, et fait partie de la parthénogenèse qualifiée d'accidentelle. En effet, si le mode de reproduction premier de *T. absoluta* est sexué, l'absence prolongée de mâles montre le développement d'une alternative parthénogénétique viable dans des conditions de laboratoire.

Cette constatation fut à la base de notre expérimentation limitée seulement à deux paramètres (fécondité et fertilité) en essayant de chercher à expliquer et approfondir la connaissance de ce phénomène assez rare.

L'objectif de cette expérimentation est de déterminer la capacité reproductive de *T. absoluta* lors de sa reproduction parthénogénétique, et d'en comparer les résultats avec une lignée « normale » de reproduction sexuée.

Afin de réaliser l'expérimentation consistant en une comparaison du facteur reproductif d'individus femelles par reproduction sexuée et parthénogénétique, il a été nécessaire de séparer chaque individu ou couple d'individus, de sorte à en effectuer le suivi de façon optimale.

2-5-1. Résultats

Selon le type de reproduction, les résultats de fécondité et de fertilité obtenus sont regroupés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 18 : Données de ponte en fonction du type de reproduction

Type de reproduction	Nombre de femelles total	Nombre de femelles ayant pondu	Nombre d'œufs pondus	Taux de femelles ayant effectué une ponte	Nombre moyen d'œuf/femelle
Reproduction parthénogénétique	15	5	54	33.33 %	10.80 %
Reproduction sexuée	20	14	277	70 %	19.78 %

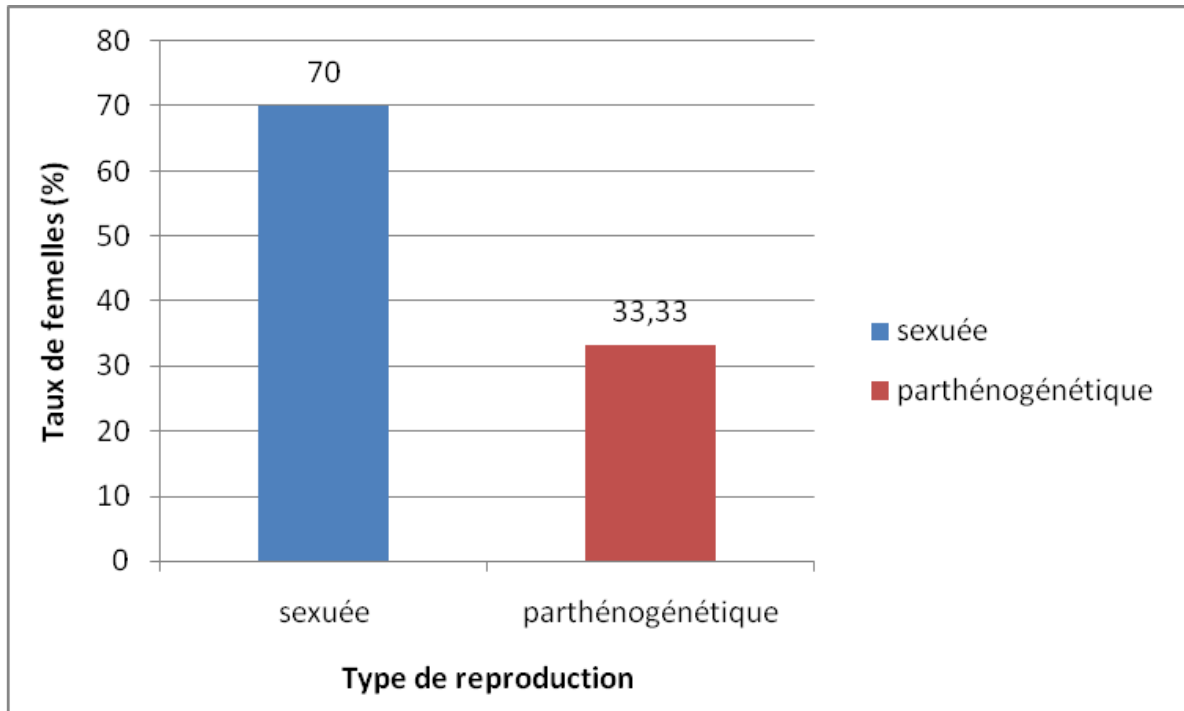


Figure 28 : Taux de femelles ayant effectué une ponte en fonction du type de reproduction

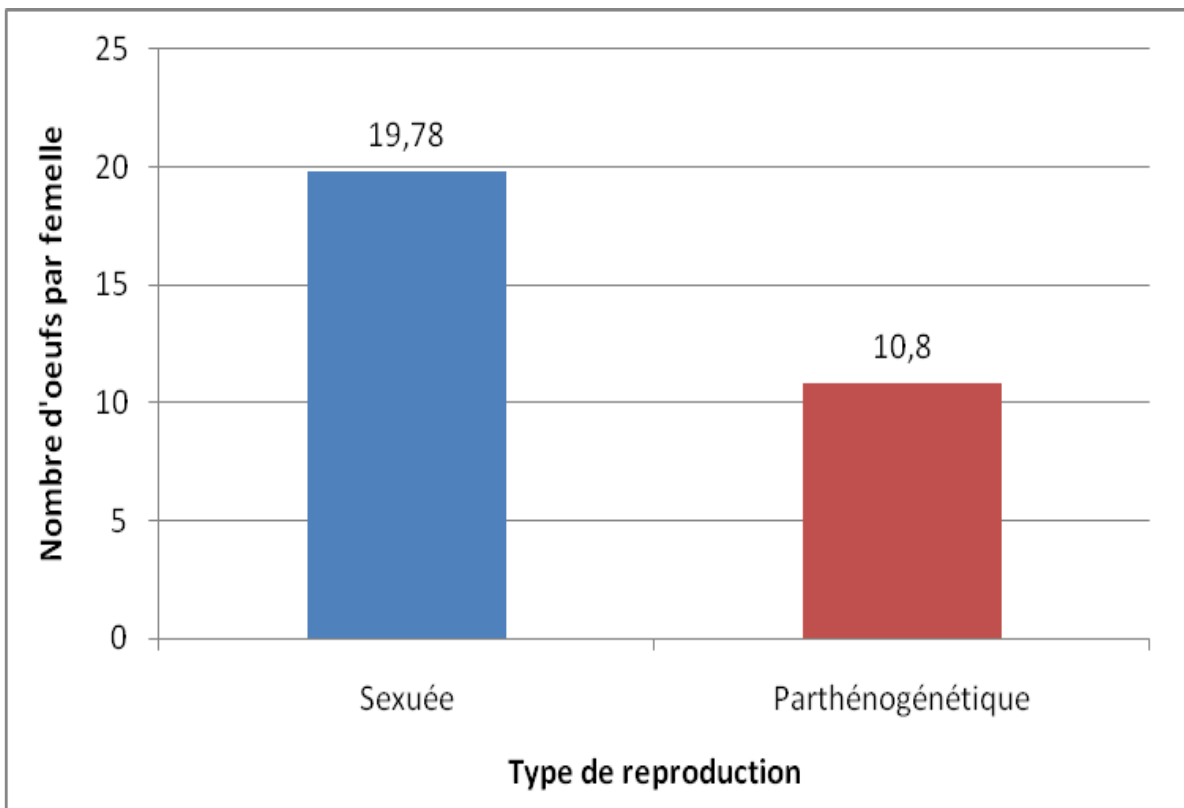


Figure 29 : Nombre moyen d'œufs pondus par femelle de *T. absoluta* en fonction du type de reproduction

2-5-2. Analyse statistique

Le nombre moyen d'œufs pondus par femelle de *T. absoluta* n'est pas statistiquement différent selon le type de reproduction dont il est issu. En revanche, la proportion entre le nombre de femelles ayant déposé des œufs et le nombre total de femelles est lui significativement différent, d'un point de vue statistique, selon la reproduction envisagée. Celle-ci est bien plus faible dans le cas de la reproduction parthénogénétique. En effet, le test de student a révélé les chiffres suivants :

- T. observé : 3,14
- F. théorique : 2,03
- Prob. Critique : 0,0035

2-5-3. Discussion

Concernant la fertilité de *T. absoluta* (le nombre moyen d'œufs pondus par femelle en fonction du type de reproduction), les valeurs enregistrées sont de 19,78 œufs pour la reproduction sexuée et de 10,8 œufs pour la reproduction parthénogénétique. Ces résultats sont très élevés chez CAPARROS *et al.* pour la reproduction sexuée, avec 50,6 œufs par femelle dans leur étude de 2012 et 41,36 œufs dans leur étude de 2013. Par contre, les chiffres observés par CAPARROS *et al.* (2012) pour les femelles de reproduction parthénogénétique sont proches des nôtres puisqu'ils font état de 10,7 œufs par femelle.

Ces différences pourraient être expliquées en raison vraisemblablement par la manipulation des individus ou des problèmes durant l'expérimentation (assèchement rapide du substrat de ponte ou présence de moisissures).

L'analyse statistique montre que le nombre d'œufs moyen pondus par femelle n'est pas significativement différent selon le type de reproduction observé, tandis que les proportions entre le nombre de femelles ayant déposé des œufs et le nombre total de femelles le sont.

Le premier cas laisse prévoir que les femelles parthénogénétiques effectuant une ponte sont tout autant capables que les femelles sexuées d'assurer un nombre d'œufs (viables ou non) important. Alors que le second cas montre la difficulté de ces femelles à pondre, ce qui pourrait laisser envisager une baisse du nombre d'individus au fil des générations dans le cas du maintien de la parthénogenèse comme unique moyen de reproduction.

3. Dynamique spatio-temporelle des populations de *Tuta absoluta* sous serre

Certains aspects fondamentaux de la bioécologie des populations de *Tuta absoluta* dans la région de Mascara ont été appréhendés, notamment la cinétique et la dynamique des populations, en fonction des conditions climatiques.

Un nombre important de données est obtenu au cours de cette étude. Ces données, traitées et analysées, ont fait l'objet des résultats qui seront détaillés tout au long des pages suivantes.

3-1. Dynamique des adultes

3-1-1. Résultats

Nous avons effectué un suivi du nombre de *T. absoluta* piégés dans le piège Delta. La dynamique de *Tuta absoluta* a été suivie durant la période de Décembre 2010 à Juillet 2011 par les captures au piège à phéromone qui sont retenus sur le carton englué.

Les relevés du piégeage de *Tuta absoluta* exprimés en adulte/piège, au niveau de la ferme expérimentale (Décembre 2010 et juillet 2011), sont consignés dans le tableau 19 et les Figures 30, 31 ci-après. Les captures sont regroupées en semaines.

Tableau 19 : Relevé du piège à phéromone des adultes males de *T. absoluta*.

Date	H	P (mm)	T(c°)	Nombre moyen/piège/semaine
15/12/2010	85	0	13,6	206
22/12/2010	64,6	0,4	15,8	142
29/12/2010	50,9	0	16,4	102
06/01/2011	66,8	0,6	13,9	98
13/01/2011	79,3	4,8	13,3	49
20/01/2011	66,6	0	13,5	64
26/01/2011	90,5	27,8	9,1	68
03/02/2011	80,1	0	7,9	234
10/02/2011	85,5	2	10,8	170
17/02/2011	78,8	0,6	13,4	284
24/02/2011	68,3	1,7	14,2	254
02/03/2011	62,6	3,7	16,3	147
09/03/2011	89,9	1,5	7	76
16/03/2011	64,3	0	12,1	26
23/03/2011	87,5	0	15,6	49
30/03/2011	82,9	0	13,6	47
06/04/2011	73,3	0	13,6	52
13/04/2011	84,8	0	15	60
20/04/2011	89,9	19,3	15	67
27/04/2011	72,6	0	19	122
04/05/2011	64,9	0	19,5	177
11/05/2011	59,7	0	18,3	156
18/05/2011	52,9	0	16,6	51
25/05/2011	74,5	0	18,4	77
01/06/2011	50,5	0	23,4	127
08/06/2011	50	0	24,3	221
15/06/2011	54,1	0	19,1	97
22/06/2011	47	0	20,8	50
29/06/2011	81,9	0	22,5	77
06/07/2011	43,8	0	29,9	163
13/07/2011	55	0	29,3	165
20/07/2011	55	0	29,9	125
27/07/2011	43	0	27,1	153

H : Humidité en %

P : Pluviométrie

T° : Température

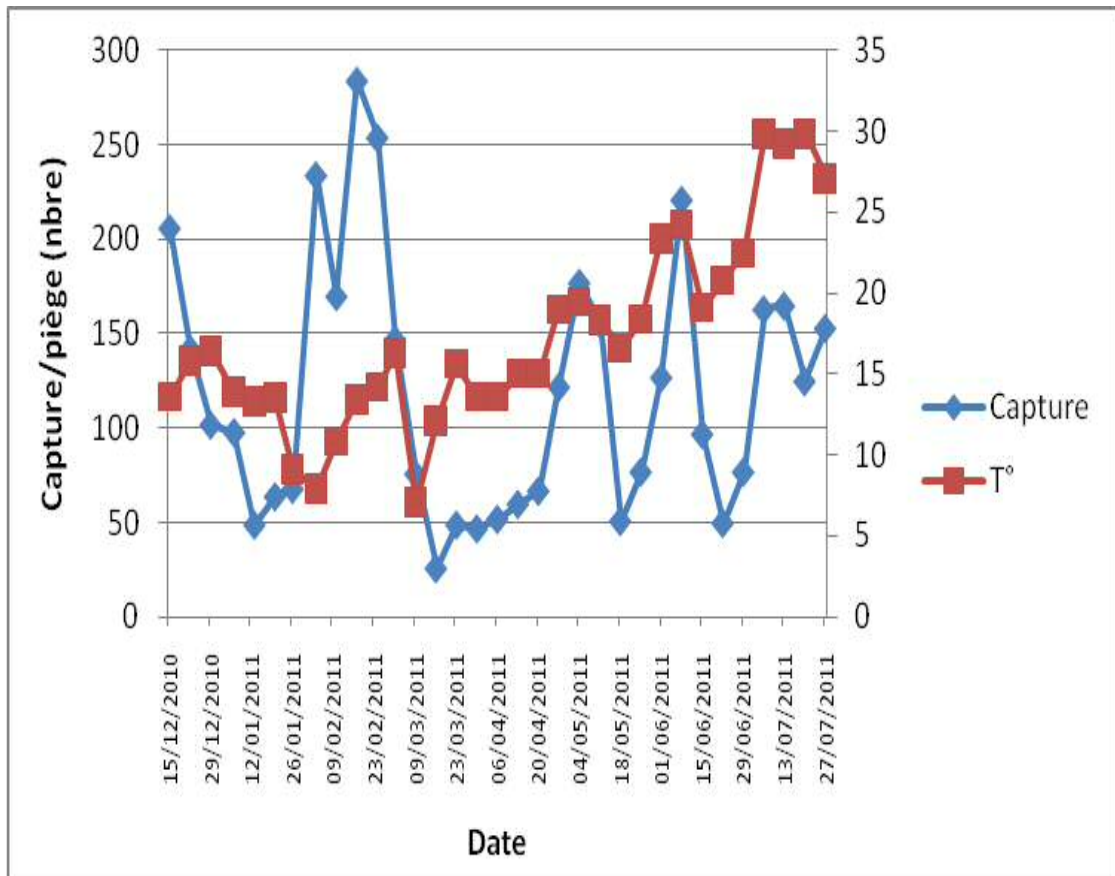


Figure 30 : Evolution des populations de *Tuta absoluta* à partir des captures du piège.
(Fluctuations des populations de *Tuta absoluta* en fonction de la température)

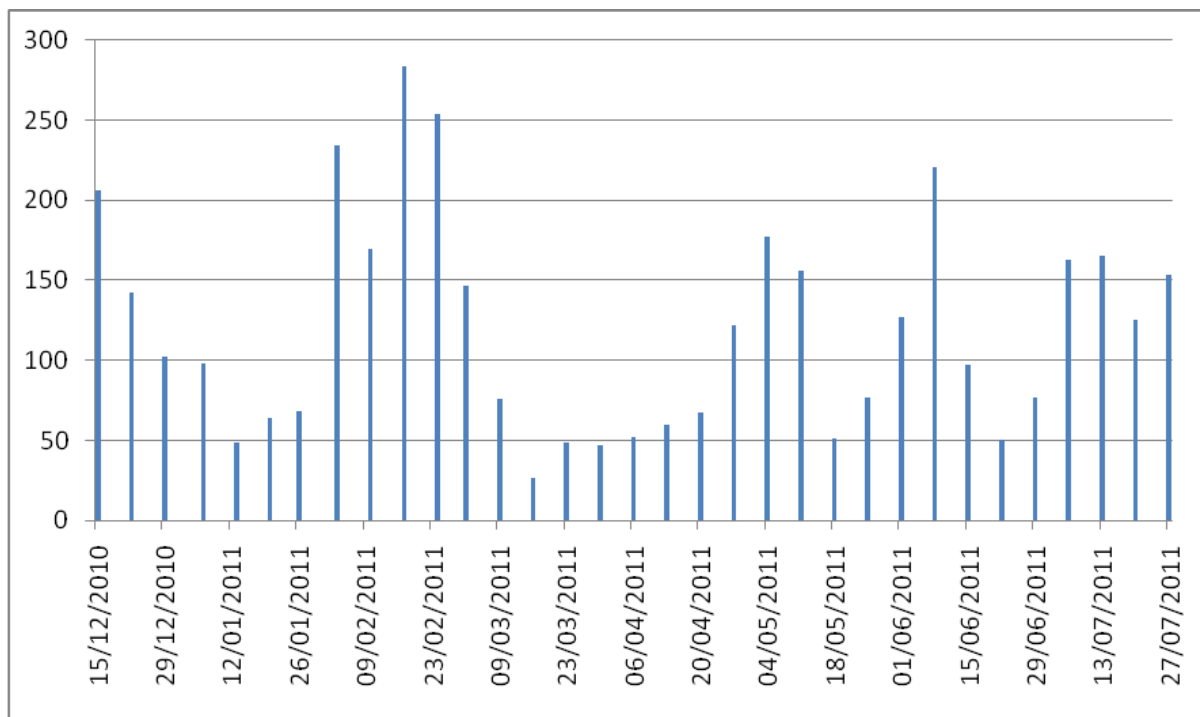


Figure 31 : Histogramme des captures des adultes de *Tuta absoluta* au niveau de la ferme expérimentale de l'Université de Mascara

3-1-2. Discussion

Nous remarquons que la mineuse est présente à chaque relevé et le nombre de papillons piégés augmente au cours de la saison au niveau du piège de la ferme expérimentale de l'Université de Mascara.

Les premiers adultes ont été capturés le 15/12/2010, juste après l'installation de la capsule à phéromone. La dynamique des populations semble étroitement liée aux conditions climatiques puisque si l'on juxtapose les relevés de températures et d'hygrométrie (Tableau 19), nous constatons que les captures sont faibles lorsque les températures sont extrêmes (aux environs de 10 °C) avec des hygrométries trop faibles ou trop élevées. Les captures sont maximales lorsque les températures varient de 20 à 25 °C et que l'hygrométrie se situe entre 50 et 70 % à l'exception des dates 10/02 et 17/02/2011.

L'incidence des vents en général, et des siroccos en particulier, sur les captures des adultes a été vérifiée puisque les captures étaient nettement plus réduites aux dates auxquelles ont soufflé les siroccos ; leur chaleur supérieure à 40 °C et leur hygrométrie inférieure à 40 % en accentuent l'effet.

Lors de l'étude, cinq générations ont été identifiées sur une période de huit (8) mois avec une durée moyenne du cycle biologique de 36 jours. D'autres études, notamment celles de SILVA (2008) en Espagne et VERCHER et al. (2010) au Brésil, les ont évaluées entre 10 et 12 générations par an selon les conditions climatiques.

Avec le début de l'hiver et l'installation du piège, les adultes de *Tuta absoluta* sont déjà présents ; cela peut laisser supposer que c'est une première génération (fin décembre) qui se prépare à entrer en hibernation; sachant que cet insecte hiberne sous forme d'œuf, de larve ou de chrysalide, et son développement redémarre dès que les conditions sont plus favorables. Sa température minimale d'activation est de 9 °C, mais elle peut supporter aussi des températures plus basses. Les individus de ce ravageur peuvent également survivre bien sur les plantes, les restes de plantes ou les fruits les unités de production de plants maraîchers. La question de l'éventuelle capacité de certains stades de *Tuta absoluta* à hiberner à des températures proches ou en-dessous de 0 °C n'est pas encore définitivement tranchée.

Ceci a été aussi confirmé par DROUAI (2011) qui a observé une faible présence des adultes pendant la période automnohivernale (12 septembre à 20 février) et que l'infestation s'accroît significativement pendant la période printanière dans la région de Biskra.

La deuxième génération apparaît en février-mars. L'étude de la dynamique des populations a mis en exergue la succession de trois générations après, pendant la période estivale c'est-à-dire de mai à juillet (une troisième génération en mai, la quatrième en juin et la cinquième en juillet). Le pic qui apparaît en février, bien qu'il ne soit pas important, pourrait indiquer vraisemblablement une génération de printemps.

Ces résultats sont assez proches avec ceux de GUENDOUZ BENRIMA *et al.* (2009) qui comptent quatre voir cinq générations en culture sous serre. De même, KHELLAF (2011) a dénombré quatre générations chevauchantes sous serre dans la région de Staoueli sur le sahel algérois ; alors que dans la région de Biskra, sept générations ont été observées par DROUAI (2011).

Vraisemblablement, le nombre de générations dépend de plusieurs facteurs dont les conditions climatiques constitueraient un facteur limitant, du type de la culture et de la région. C'est ce qui a amené LACORDAIRE et FEUVRIER (2010) à conseiller de surveiller davantage la population du ravageur surtout quand les températures sont supérieures à 22°C.

3-2. Dynamique des stades immatures

3-2-1. Résultats

L'évolution de tous les stades de la mineuse sont représentés par le tableau 20 et la figure 32.

Tableau 20 : Fluctuation temporelle des stades immatures de la mineuse, *Tuta absoluta*, sur feuilles de tomate.

Date	Œufs	L1	L2	L3	L4	Chrysalide
15/12/2010	0	0	0	0	0	0
24/02/2011	26	0	0	0	0	0
09/03/2011	13	0	0	0	0	0
23/03/2011	8	12	6	4	0	0
06/04/2011	9	11	6	11	9	3
20/04/2011	22	13	12	4	2	0
11/05/2011	43	9	24	19	3	0
18/05/2011	17	33	18	12	4	1
25/05/2011	22	22	15	14	10	2
08/06/2011	122	35	32	12	8	4
22/06/2011	19	95	55	37	22	5
06/07/2011	113	43	53	17	33	2

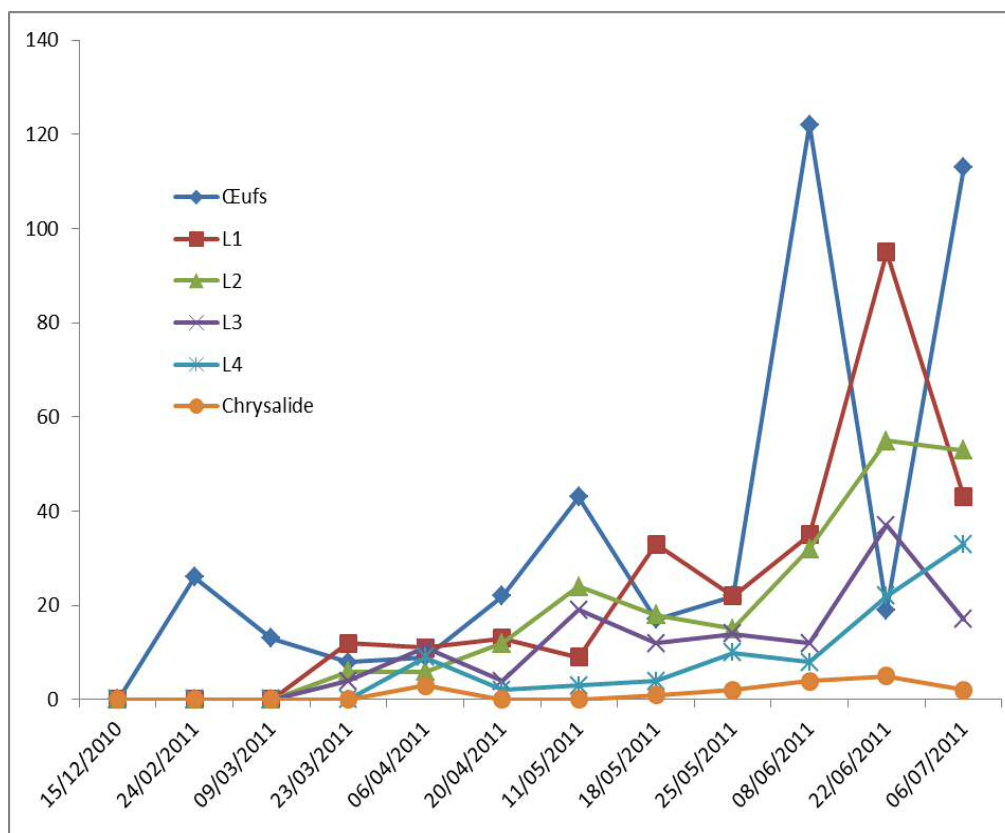


Figure 32 : Fluctuation temporelle des stades immatures de la mineuse, *Tuta absoluta*, sur feuilles de tomate.

3-2-2. Discussion

On constate que les infestations varient considérablement d'une semaine à l'autre ou d'un mois à l'autre et d'une année à l'autre. Ces variations dépendent sans doute des conditions climatiques qui semblent influencer grandement sur les populations et les attaques de *Tuta absoluta*. Les variations des températures et des hygrométries produisent de fortes infestations tant pour les piqûres que pour les larves ou l'inverse.

Le dénombrement des effectifs des stades immatures réalisé par l'examen des feuilles de tomate n'a pas permis d'observer ni les œufs, ni les larves et encore moins les chrysalides qui tombent sur le sol jusqu'au mois de février.

En effet, les stades immatures sur feuilles de tomates de *Tuta absoluta* ont une faible activité pendant la période allant de décembre à février-mars en raison, vraisemblablement, des températures basses au-dessous de laquelle aucun stade larvaire ne peut survivre. Ceci pourrait être dû au climat de la région d'étude durant cette période ce qui se traduit par une basse température (-10°C). Le développement du stade œuf n'a lieu qu'à des températures supérieures à $10,4^{\circ}\text{C}$ (MARCANO, 2003), ce qui constitue un facteur limitant.

A partir du mois de mars, l'activité de la mineuse s'accélère avec l'augmentation de la température à l'approche du printemps. Elle se traduit par l'apparition d'un premier pic des œufs au mois de mars tout en étant peu significatif, suivi d'une augmentation des effectifs des œufs et des larves observée durant le mois d'avril et beaucoup plus à partir du mois de mai, juin jusqu'à la mi-juillet. Ces fortes activités se manifestent en mai (43 œufs) puis en juin où le nombre d'œufs atteint 122 avant de décliner légèrement à la fin du même mois.

L'émergence des premières des larves tous stades confondus a lieu aussi à partir du mois de mars, bien qu'en nombre très réduit. Celui-ci augmente et devient important pour les larves en mai et juin, hormis peut-être pour le stade L₄. Il apparaît nettement que les stades larvaires se chevauchent et forment des pics qui indiquent vraisemblablement des générations de *Tuta absoluta*.

Enfin, l'observation des chrysalides reste difficile dans la mesure où celles-ci se trouvent dans le sol, c'est pourquoi elles ont été peu observées ; quelques-unes étaient présentes sur les feuilles.

3-3. Impact significatif du changement des capsules de phéromone

3-3-1. Résultats

Les captures cumulées de deux (02) pièges installés au niveau de la ferme expérimentale de l'Université de Mascara durant la période du 15 avril au 20 juillet 2012 (conditions climatiques favorables à la pullulation de l'insecte) sont regroupés dans le tableau ci-dessus.

Tableau 21 : Captures cumulés en semaines en fonction du changement de la capsule de phéromone (t : semaine où la phéromone a été mise en place et t+n dont n : nombres de semaines).

Semaine	Captures cumulés
t	494
t+1	732
t+2	701
t+3	673
t+4	694

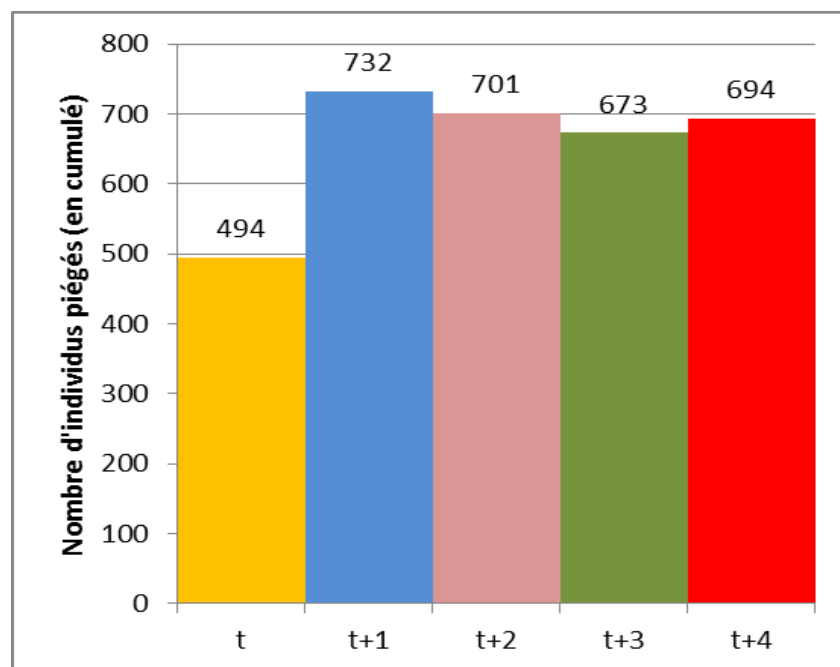


Figure 33 : Impact du changement d'une capsule de phéromone.

3-3-2. Analyses statistiques

Les données obtenues ont été analysées par l'ANOVA (analyse de la variance), la comparaison des moyennes en utilisant le test LSD Fisher et enfin la création des groupes homogènes.

Tableau 22 : Analyses statistiques pour mesurer l'impact du changement des capsules à phéromones.

Tableau A : Récapitulatif de l'ANOVA Randomisée (un facteur)

Source des variations	Ddl	Somme des carrés	Moyenne des carrées	F de Fisher	Prob. Critique	Fthé0.05
Traitement	4	11912,9333	2978,23333	10,1623066	0,0015039	3,47804969
Erreur	10	2930,66667	293,066667			
Total	14	14843,6				

Test significatif. H0 est rejetée au seuil 0.05

Tableau B : Comparaison des moyennes en utilisant le LSD de Fisher

	2,22813885					
		t	t+1	t+2	t+3	t+4
		164,666667	244	233,666667	224,333333	231,333333
	T		-	-69	59,6666667	66,6666667
	t+1			10,3333333	19,6666667	12,6666667
	t+2				9,33333333	2,33333333
	t+3					-7
	t+4					

Tableau C : Groupes homogènes créés.

Variable	Moyenne	Groupe	
t	164,666667	A	
t+1	244		B
t+2	233,666667		B
t+3	224,333333		B
t+4	231,333333		B

3-3-3. Discussion

Compte tenu du fort piégeage et des variations remarquées, l'étude statistique réalisée a permis de mesurer l'impact du changement des capsules de phéromone. Le test de Fisher sur données appariées révèle que le nombre de papillons piégés (semaine t+1 est significativement supérieur au nombre de papillons piégés en semaine t) (p -value = 0.0015) (Figure 33). Cela signifie qu'après chaque changement de capsule de phéromone, une augmentation significative du piégeage est observée dans la semaine qui suit (Groupe A-Tableau 22 C), et que le piégeage est semblable les autres semaines (tableau 22).

3-4. Répartition de l'insecte dans la serre

3-4-1. Résultats

Le tableau 23 et la figure 34 illustrent l'intensité des dégâts au niveau de la serre (nord-ouest, sud-ouest, sud-est et nord-est) durant une période déterminée.

Tableau 23 : Intensité (%) des dégâts selon l'orientation

Orientation	Intensité (%)
Nord-ouest	41.66 %
Sud-ouest	20.83 %
Nord-est	20.83%
Sud-est	16.66 %

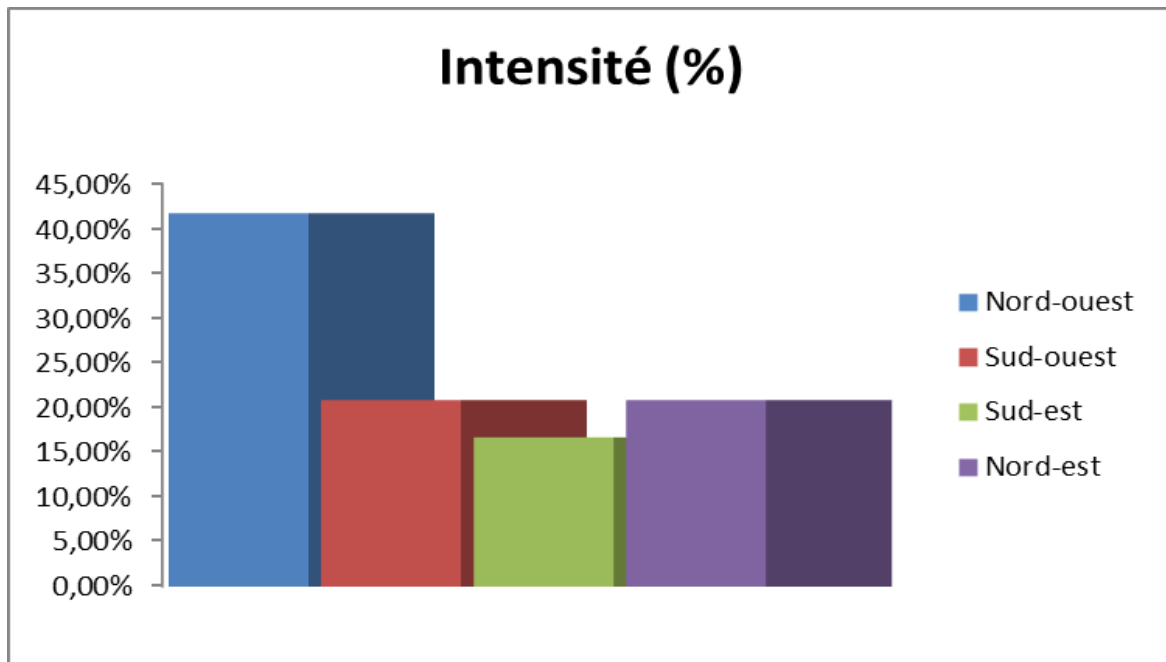


Figure 34 : Intensité des dégâts selon l'orientation cardinale

3-4-2. Discussion

L'intensité des dégâts dépend de l'orientation et de l'emplacement (LACORDAIRE et FEUVRIER, 2010). Le relevé des différents dégâts au niveau de la serre montre que les premiers dégâts ont tous été observés au niveau des parois. En effet, cent pour cent des premiers dégâts se situent au nord de la serre et, plus précisément, 92 % sur la paroi nord-ouest des abris. Ainsi, les dégâts sont toujours significativement supérieurs à l'ouest qu'à l'est. Le nombre de piqûres et de larves augmente au cours des semaines en fonction de l'évolution de la culture et des températures qui augmentent.

Ainsi, à partir de la semaine du 20/06/2011, les températures moyennes journalières ont dépassé 22°C, on a noté une forte intensité de dégâts ainsi que l'apparition des premiers dégâts aussi bien contre les parois au nord qu'au sud. Nos résultats sont assez proches avec les travaux LACORDAIRE et FEUVRIER (2010) ; par contre BENZARA *et al.* (2014) notent que les dégâts sont comparables quelque que soit l'orientation Nord, Sud et le Centre de la serre. Ainsi donc, les parois ouest, nord et principalement nord-ouest des cultures doivent être suivies avec une grande attention.

3-5. Répartition des dégâts par étage foliaire des plantes

3-5-1. Résultats

Les résultats que nous présentons ont été calculés sur 30 plantes prises au hasard. Seules les plantes attaquées ont été prises en compte pour le calcul du pourcentage d'attaque pour chaque étage chaque semaine, dès l'apparition des premières attaques (observation des premières mines) sur les feuilles de tomate (février à juin).

Tableau 24 : Répartition des dégâts par étage foliaire des plantes en fonction du niveau d'attaque de la culture.

Mois	Nombre de feuilles	Etage Inférieur	Etage intermédiaire	Etage supérieur
Février	16	100	0	0
Mars	36	88,89	11,11	0
Avril	59	71,19	22,04	6,77
Mai	77	68,83	19,49	11,68
Juin	94	55,32	27,66	17,02
Total		384,23	80,3	35,47
%		76,846	16,06	7,094

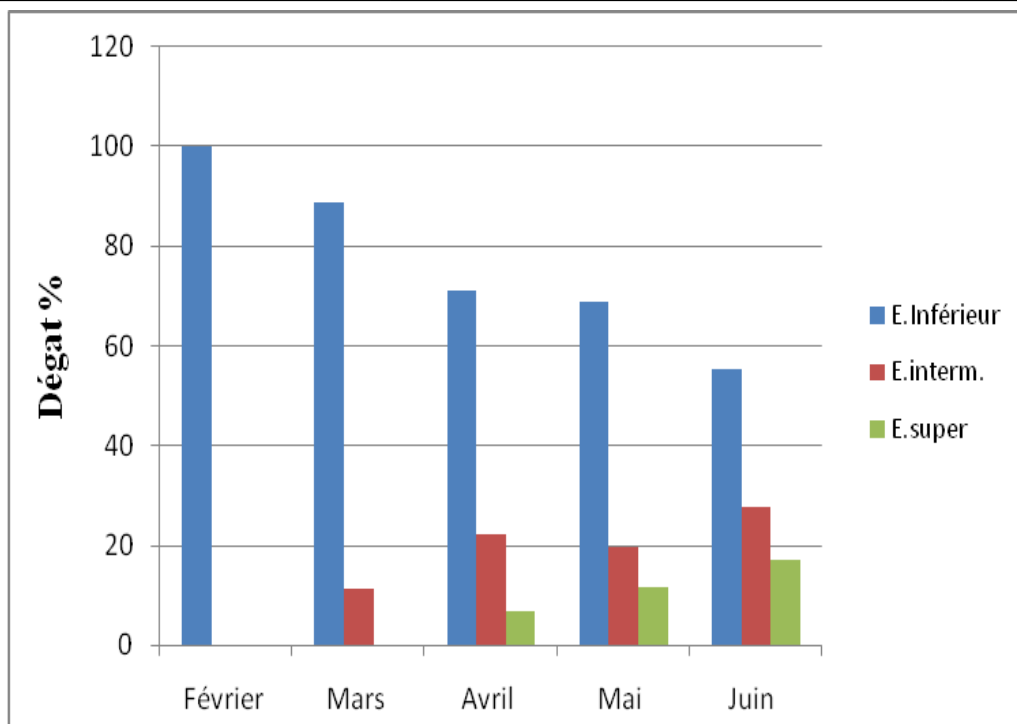


Figure 35 : Répartition des dégâts par étage foliaire des plantes en fonction du niveau d'attaque de la culture

3-5-2. Etude Statistique

Les données obtenues ont été traitées par l'analyse de la variance à un critère de classification en complétant par des comparaisons moyennes en utilisant le LSD de Fisher et des groupes homogènes.

Tableau 25 : Analyses statistiques pour déterminer mesurer la répartition des dégâts par étage foliaire des plantes

Tableau A : Récapitulatif de l'ANOVA Randomisée (un facteur)

Source des variations	ddl	Somme des carrés	Moyenne des carrées	F de Fisher	Prob. Critique
Traitement	2	14401,1141	7200,55705	44,8725136	0,00000269
Erreur	12	1925,60384	160,466987		
Total	14	16326,7179			

La probabilité critique (p_value) du test est très petite (0.00000269), ce qui signifie que l'hypothèse de l'égalité des moyennes peut être rejetée.

Tableau B : Comparaison des moyennes en utilisant le LSD de Fisher

2,17881283	E.Inférieur	E.interm.	E.super
	76,846	16,06	7,094
E.Inférieur		60,786	69,752
E.interm.			8,966
E.super			

Tableau C : Groupes homogènes créés.

Variable	Moyenne	Groupe	
E.Inférieur	76,846	A	
E.interm.	16,06		B
E.super	7,094		B

3-5-3. Discussion

Les observations et l'analyse des résultats ont permis de mettre en évidence des différences significatives sur le comportement alimentaire de *T. absoluta* (Figure 35 et Tableau 25).

Cependant, de par leur mode de vie, les larves peuvent quitter leur galerie à chaque mue pour aller en creuser une autre sur la même foliole ; elles intensifient de ce fait les dégâts sur feuilles. C'est pourquoi le pourcentage moyen d'occupation des galeries par les larves a été évalué. Il est possible d'en déduire que l'importance des dégâts sur une même foliole n'est donc pas forcément liée à la population.

Pourtant, la comparaison des dégâts sur feuilles entre les différents étages de la plante réalisée par des tests statistiques montrent que :

- Toutes les données ne suivent pas une distribution de la loi normale ;
- Les attaques sur l'étage inférieur sont significativement supérieures aux attaques de l'étage intermédiaire ;
- Les attaques sur l'étage intermédiaire sont significativement supérieures aux attaques de l'étage supérieur.

De plus, une relation entre la fréquence d'attaque de la culture et la localisation des dégâts sur la plante peut être mise en évidence.

Enfin, les résultats obtenus peuvent être mis en relation avec le tableau de risque d'attaque encouru élaboré par MONSERRAT DELGADO (Tableau 26) qui classe les dégâts présents dans les cultures en cinq (5) catégories.

Tableau 26 : Estimation du niveau d'attaque de la culture en fonction de l'observation des dégâts (MONTSERRAT DELGADO, 2009).

Niveau d'attaque de la culture	Dégâts observés
Niveau 0	Absence de larves vivantes
Niveau 1	Occupation inférieure à 5 % des plantes et localisée aux portes et aux parois (niveau anecdotique)
Niveau 2	Occupation entre 5 et 25 % des plantes avec une larve vivante par plante (niveau très bas)
Niveau 3	Occupation entre 25 et 50 % des plantes avec une larve vivante par plante (niveau intermédiaire)
Niveau 4	Occupation de plus de 50 % des plantes avec une larve vivante par plante (niveau haut)
Niveau 5	Occupation de plus de 50 % des plantes avec plusieurs larves vivantes par plante (niveau très haut)

Ainsi les résultats obtenus et analysés montrent que lorsque la fréquence de dégâts de la culture est inférieure ou égale à 5 % (niveau 1), seul l'étage inférieur est susceptible d'être attaqué. Lorsque cette fréquence se situe entre 5 % et 25 % (niveau 2), l'étage inférieur et l'étage intermédiaire des plantes sont susceptibles d'être attaqués. Enfin, lorsque celle-ci est supérieure à 25 % (niveau 3, 4 et 5), tous les étages de la plante sont susceptibles d'être attaqués. De plus, les travaux de MONSERRAT Delgado cités par LACORDAIRE et FEUVRIER (2010) montrent que c'est environ quinze jours à trois semaines après le piégeage qu'on peut observer les premiers dégâts.

Par ailleurs, la fréquence d'attaque identifiée par étage foliaire a donné une indication sur le taux de présence du ravageur. Il est à noter également que les premiers dégâts sur fruit étaient apparus lorsque le niveau d'attaque de la culture était de 4-5. Une hypothèse peut être émise : il semblerait qu'en fonction de la densité de la population, l'insecte change de comportement alimentaire et qu'il s'attaquerait plus rapidement aux jeunes fruits verts. Suite à ces observations, un tableau synthétique indicateur, confirmant les travaux de MONTSERRAT DELGADO (2009), peut être élaboré (Tableau 27).

Tableau 27 : Grille d'estimation des dégâts sur les plantes en fonction de la fréquence d'attaque sur l'ensemble de la culture

Fréquence d'attaque de la culture	Etage inférieur	Etage intermédiaire	Etage supérieur	Fruits	Apex
0 à 5 %	X				
5 à 25 %	X	X			
25 à 70 %	X	X	X		
70 à 80 %	X	X	X	X	
80 à 100 %	X	X	X	X	X

3-6. Répartition de la mineuse *Tuta absoluta* selon la face de la feuille

3-6-1. Résultats

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau 28 et la figure 36.

Tableau 28 : Répartition de la mineuse *Tuta absoluta* selon la face de la feuille

Mois	Nombre de feuilles attaquées	Face inférieure %	Face supérieure %	Face inférieure	Face supérieure
Février	16	100	0	16	0
Mars	36	63,89	36,11	23	13
Avril	59	71,19	28,81	42	17
Mai	77	59,74	40,26	46	31
Juin	94	61,7	38,3	58	36
Moyenne		70,286	29,714	37	19,4

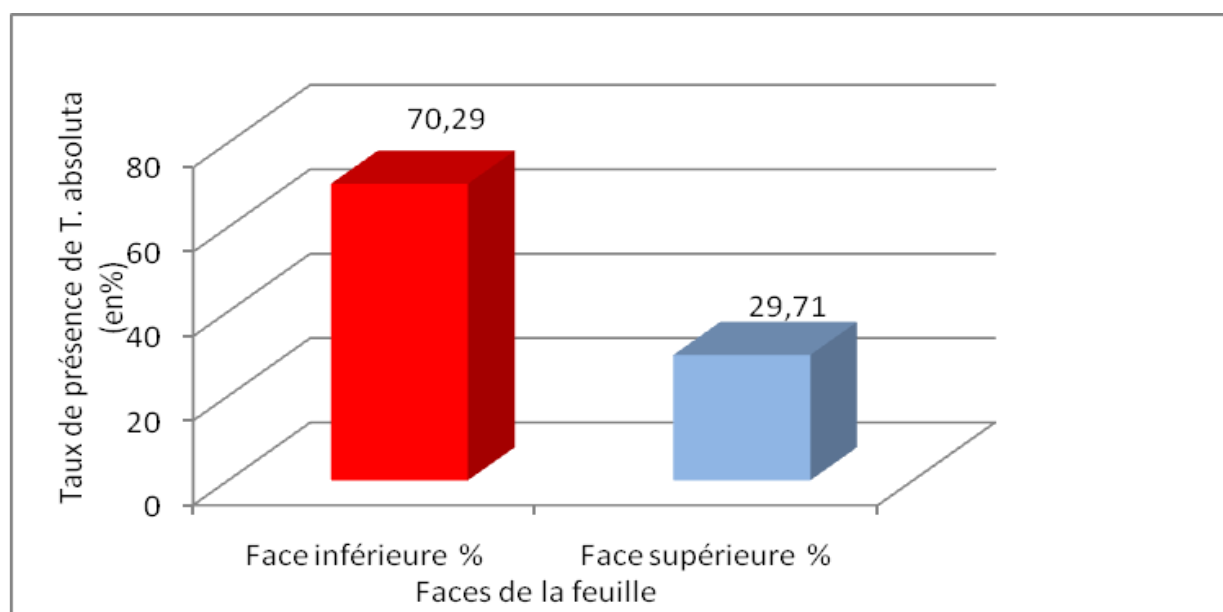


Figure 36 : Répartition de la mineuse *Tuta absoluta* selon la face de la feuille

3-6-2. Analyses statistiques

Pour appliquer le test de student, nous devons supposer la normalité des deux distributions.

Après cette supposition, les conditions d'application du test déjà connues sont : données quantitatives, 2 échantillons.

Reste la condition de l'homogénéité des variances que nous allons vérifier au dessous.

Variance(FI)	296
Variance (FS)	208,3

Fc	1,42102736
Fthé(0.05)	6,38823291

Décision : Homogénéité des variances acceptées au seuil 0.05

Puisque les variances sont homogènes, alors nous allons appliquer le test de student pour échantillons appariés :

tobs	6,62384738
Pvalue	0,0031

Décision **H0 rejetée**

La valeur de la probabilité critique (pvalue=0.0031) nous permet de rejeter l'hypothèse de l'égalité des moyennes des deux populations, ce qui veut dire que le nombre sur la face inférieure est significativement inférieure à celui sur la face supérieure.

L'analyse statistique des dégâts permet de mettre en évidence des différences significatives concernant le nombre sur la face inférieure en fonction de celui sur la face supérieure.

Le test de student unilatéral sur des données appariées montre que le nombre sur la face inférieure est significativement supérieure à celui sur la face supérieure (t observé=-6.623, pvalue=0.0031).

3-6-3. Discussion

Au début de l'attaque, cent pour cent des premiers dégâts se localisent sur la face inférieure des feuilles. La répartition des pontes de la mineuse *Tuta absoluta* touche au fur à mesure de l'attaque l'autre face avec de chiffres significatifs sur la face inférieure de la feuille avec 70,29% d'œufs déposés contre 29,71 % sur la face supérieure. La comparaison des moyennes a été effectuée par un Test t au risque α de 5%. Sur le nombre total de feuilles prélevés, 47% étaient attaquées par la mineuse de la tomate, C'est en juin que les dégâts sont les plus importants.

Les résultats enregistrés sont donc conformes à ceux de TORRES *et al.* (2001), MAHDI (2011) et KHELLAF (2011). En effet, au moment de la ponte des œufs, la femelle sélectionne toujours les sites les plus favorables pour le développement de sa progéniture et pour la protection des œufs du soleil, de la pluie et des prédateurs. Aussi, l'influence du site de ponte détermine le rendement de la progéniture qui reste l'un des facteurs pouvant modeler de façon évolutive le choix d'un site d'oviposition.

Ce site de ponte peut, selon KHARRAT et JARRAYA (1995), par contre, faire place à de la surpopulation et présenter ainsi des risques en terme de compétition pour la nourriture et de mortalité larvaire. C'est peut être la raison pour laquelle l'insecte pond ses œufs sur les deux faces foliaires tout en préférant la face inférieure de la feuille.

Quoiqu'il en soit, FILHO *et al.* (2000) montre que l'infestation des feuilles, plus ou moins importante, augmente progressivement dès avril lorsque les températures deviennent plus favorables au développement de l'insecte (éclosion des œufs et émergence des larves). Celle-ci atteint son maximum pendant la période estivale où les dégâts ont été estimés à plus de 70 % sur feuilles.

Le faible pourcentage enregistré au mois de février s'explique vraisemblablement par les basses températures. Ceci peut s'expliquer par le zéro de développement de chaque stade de l'insecte ; c'est ainsi donc que DESNEUX *et al.* (2010) estiment le zéro de développement à $6.9 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ pour les œufs, $7.6 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ pour l'état larvaire et $9.2 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$ pour le développement nymphal.

Le zéro de développement global est égal à $8.1 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$. Par contre, VERCHER *et al.* (2010) montrent que les larves de la mineuse de la tomate peuvent se maintenir en vie durant plusieurs semaines à 4°C . La période printanière est favorable au développement du ravageur et son agressivité est bien marquée vers la fin de cette saison.

3-7. Estimation des dégâts sur fruits à la récolte

3-7-1. Résultats

Les résultats du taux d'infestation des fruits de tomate, consignés dans le tableau 29, nous permettent de calculer le taux d'infestation comme suit :

Taux de l'infestation = [Nombre de fruits infesté / Nombre des fruits total]x 100

Tableau 29 : Taux d'infestation des fruits de tomate

Date	Nombre total des fruits	Nombre des fruits infesté	Taux (%)
06/05/11	50	6	12
13/05/11	50	9	18
20/05/11	50	11	22
27/05/11	50	15	30
03/06/11	50	21	42
10/06/11	50	28	56
17/06/11	50	31	62
24/06/11	50	36	72
01/07/11	50	42	82
08/07/11	50	41	82

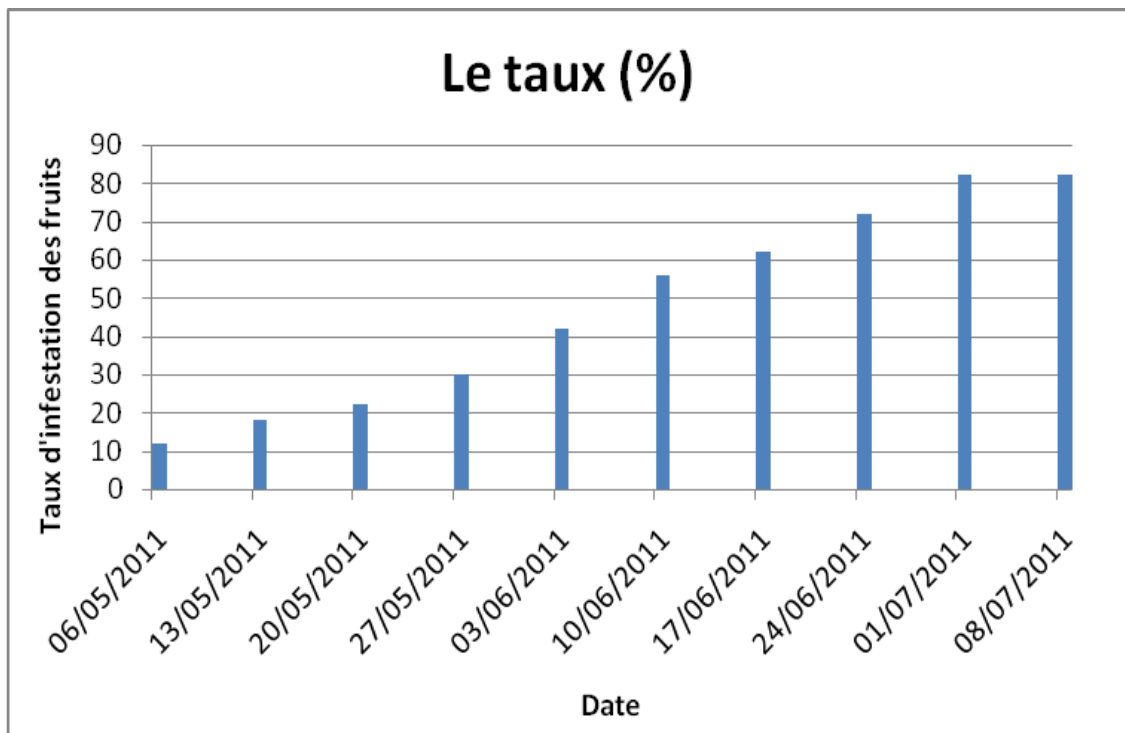


Figure 37 : Histogramme de l'évolution du taux d'infestation des fruits de tomate en fonction du temps

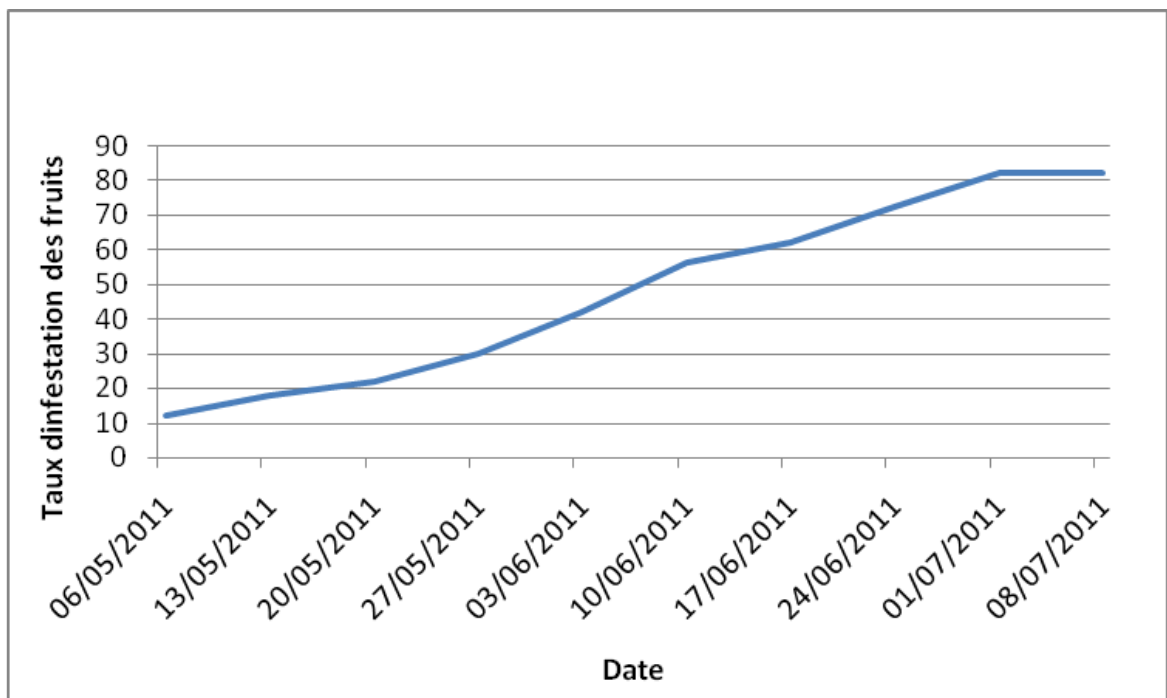


Figure 38 : Evolution temporelle du taux d'infestation des fruits de tomate

3-7-2. Discussion

Généralement le stade redoutable sur la culture de tomate est le stade larvaire.

L'estimation du taux d'infestation peut se faire soit par la fréquence de fruits infestés, toutes variables confondues, soit par le nombre de piqûres, d'œufs ou de larves par fruit. Les données que nous avons acquises sont relatives à ces effectifs par fruit. Nous avons recherché une relation entre le pourcentage de fruits sains et le nombre moyen de piqûres par fruit.

Les dégâts les plus importants sur fruits de tomate se produisent dans la plupart des cas pendant les mois de juin et juillet avec des taux d'infestation allant de plus de 80 % où les températures sont favorables pour le développement de la mineuse. Les infestations ne furent pas trop élevées au début avec un pourcentage aux environs de 12% mais au fur et à mesure de l'évolution de la production, un pourcentage d'infestation de 82 % a été atteint le 08/07/2011.

Ceci peut être expliqué que l'insecte s'est installé d'une façon définitive au niveau de notre aire et que vraisemblablement cela est du en grande partie aux conditions climatiques clémentes favorables à la pullulation de l'insecte.

Ces résultats corroborent avec ceux enregistrés par CAFFARINI *et al.* (1999) et VERCHER *et al.* (2010) et qui estiment que les dégâts les plus graves sont causés aux fruits et qu'ils peuvent varier de 37 à 90 % des pertes de récolte.

Quoiqu'il en soit, LACORDAIRE et FEUVRIER (2010) notent que les larves attaquent les feuilles, les fruits, les tiges ou les apex car l'insecte peut changer de comportement alimentaire, lorsque les dégâts sur feuilles dépassent 70%.

3-8. Interaction *Macrolophus sp.* -*Tuta absoluta*

3-8-1. Résultats

D'après nos observations, on s'est interrogé sur la présence dans les environs et à l'intérieure de la serre d'une espèce prédatrice qui n'est autre qu'un Miridé du genre *Macrolophus sp.*

En se basant sur les travaux de chercheurs notamment FAUVEL (1987), son identification été basée sur un grand nombre de caractères surtout morphologiques :

- ✓ Quatre ailes disposées à plat au repos, les antérieures sont modifiées en hémélytres (ailes durcies dans la partie basale et membraneuses dans la partie apicale).
- ✓ Rostre (appareil buccal des insectes) situé à l'avant de la tête (tête prognathe), afin de transpercer et de vider les proies de leur contenu.
- ✓ d'un corps avec la tête, le thorax et l'abdomen bien séparés. Cependant, un caractère morphologique précis la distingue des autres punaises : la partie basale des ailes antérieures est coriace ; elle est formée de la corie qui présente un sillon bien visible dans sa partie apicale et délimite ainsi une zone triangulaire appelée cunéus (Figure 39).

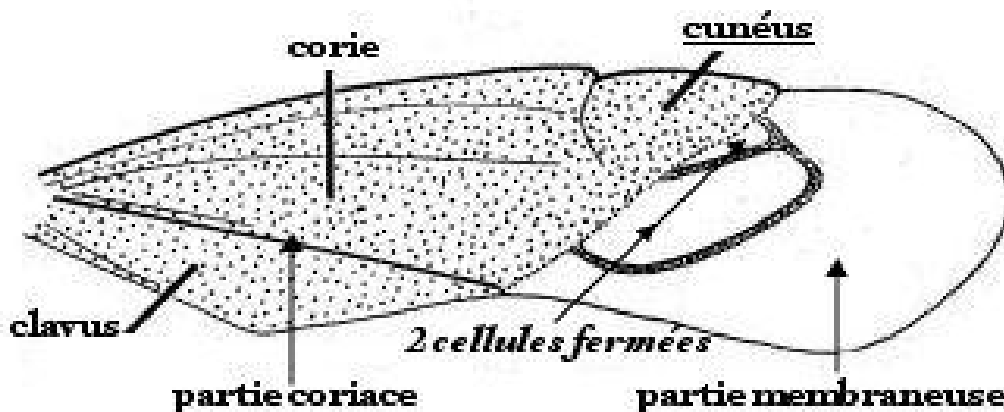


Figure 39 : Dessin d'une aile antérieure avec cunéus (source : www.aramel.free.fr)

- ✓ L'adulte a un corps élancé vert de 3 à 6 mm chez la femelle et de 2,9 à 3,1 mm chez le mâle. Ses yeux rouges ont un trait noir derrière. Il a de longues pattes et des antennes de quatre articles. Ces dernières sont jaunâtres sauf le premier article qui est noir, ce qui aide pour la reconnaissance des *Macrolophus*.

A partir des observations et des récoltes des individus de *Macrolophus sp.*, et à titre indicatif, nous présentons ci-dessous, Tableau 30 et Figure 40, l'évolution des populations du ravageur en présence de ce Miridé en particulier durant la période mars- avril 2011.

Tableau 30 : Evolution des populations de *Macrolophus/Tuta*

Date	Nombre de papillons piégés	Nombre de Miridé observé
02/03/2011	147	0
09/03/2011	76	5
16/03/2011	26	14
23/03/2011	49	18
30/03/2011	47	11
06/04/2011	52	8
13/04/2011	60	7
20/04/2011	67	2

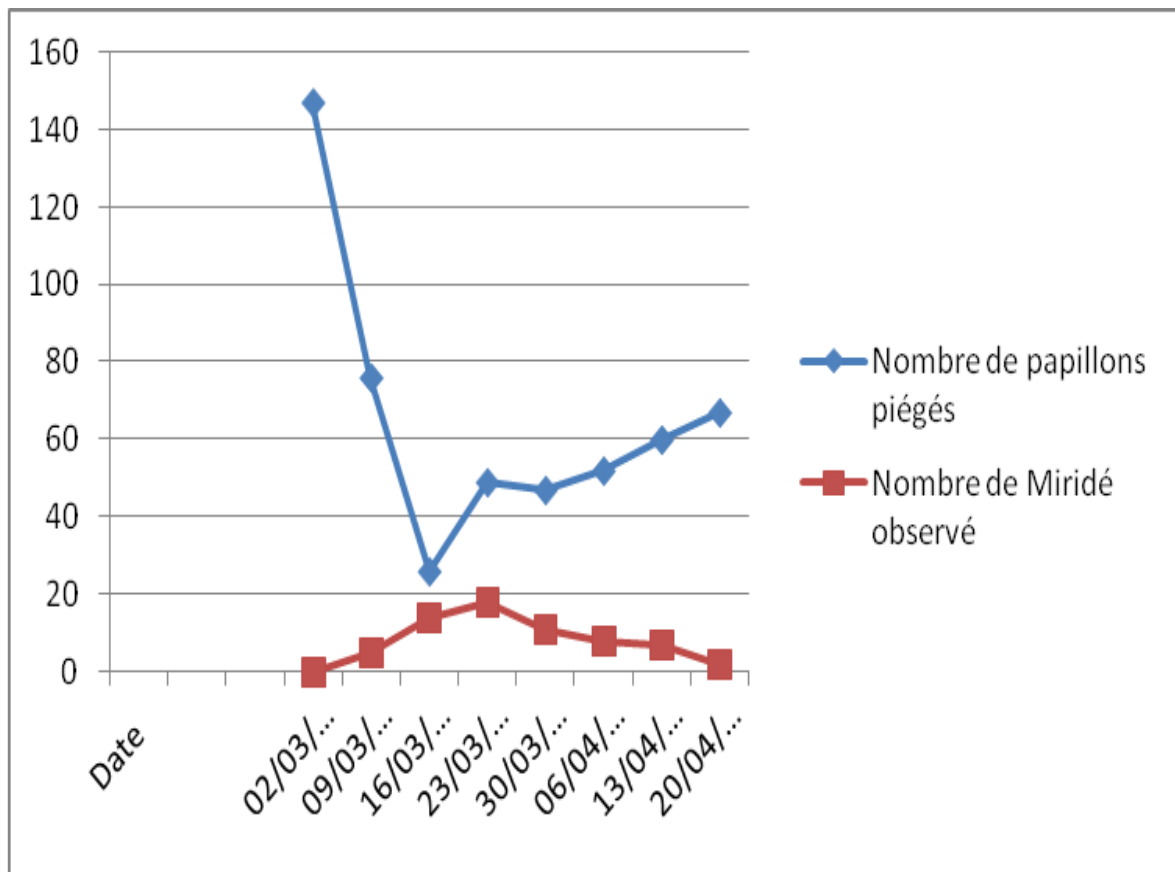


Figure 40 : Evolution des populations de *Macrolophus sp./T. absoluta*

3-8-2. Analyse statistique

L'analyse de régression permet de déterminer une relation polynomiale d'ordre 2 avec l'équation $y = 0.001x^2 - 0.373x + 25.18$ (Figure 41). Cette équation a une force de corrélation $r=0.80$.

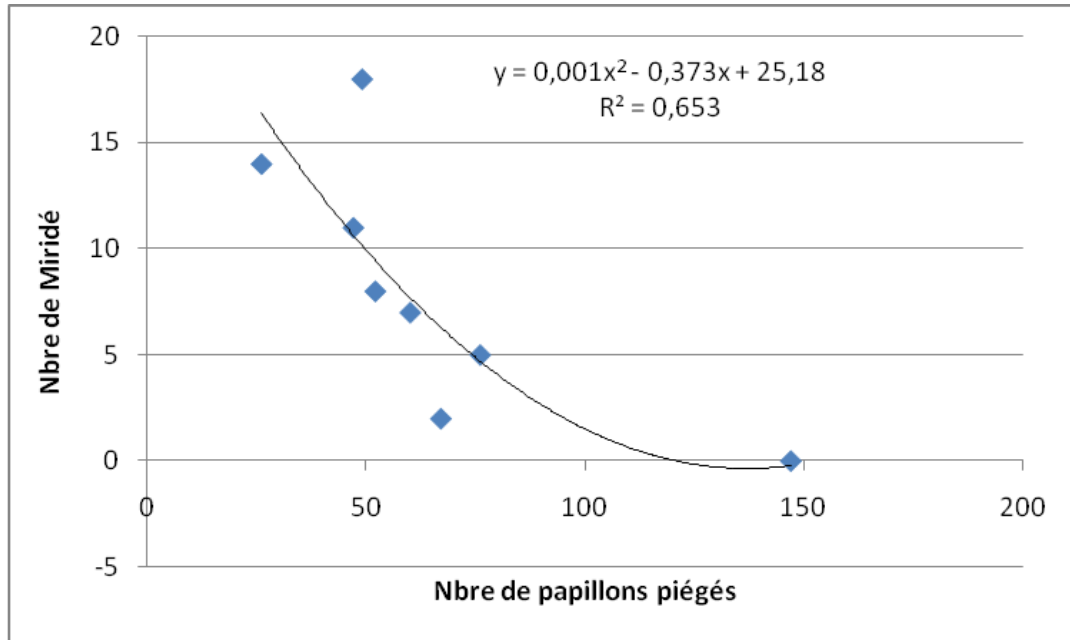


Figure 41 : Relation polynomiale entre le nombre de *T. absoluta* et Celui de *Macrolophus* sp.

3-8-3. Discussion

On observe une très nette progression des populations de mirides, jusqu'à un pic de 18 mirides le 23 mars, puis une régression au-delà, on ne compte que 2 miridés le 20/04 puis une disparition totale. Cette situation n'a pas duré jusqu'à la fin de la campagne et cette baisse des effectifs observée reste sans explication précise. Ce prédateur n'a pas pu contenir les populations du ravageur en raison vraisemblablement de la forte pullulation de *T. absolutata*.

Cette hypothèse peut être confirmée par l'étude de prédation réalisée par URBANNEJA *et al.* en 2009, qui a montré que *Macrolophus* préfère le premier et le second stade de *Tuta absoluta* et qu'il permet de la contrôler s'il apparaît précocement. Aussi, la fréquence d'attaque de *Tuta absoluta* augmente pendant le temps d'absence de *Macrolophus* et il faut environ 3 semaines pour que la population de ce miridé se reconstitue.

LAMBION et AMOUR (2009) notent que les individus de *Macrolophus* sont des prédateurs polyphages, comme la majorité des individus de sa famille, dont les larves et les adultes ont pour proies des acariens et des insectes phytophages (aleurodes, psylles, pucerons, thrips, ...). Ils s'alimentent également sur leurs plantes hôtes. Ils ont donc un mode de nutrition de type zoophytophage et sont considérés comme des prédateurs efficaces pour lutter contre les ravageurs des cultures. *Macrolophus* a donc une préférence alimentaire pour les stades immatures des aleurodes des serres et des pucerons.

L'utilisation et le choix de produit phytosanitaire sont également des éléments essentiels et majeurs dont il faut tenir compte et qu'ils peuvent faire chuter la population de *Macrolophus* laissant ainsi la porte ouverte à *Tuta absoluta*.

Il faut souligner donc l'intérêt d'avoir une stratégie en grande partie commune (*Macrolophus*, prophylaxie, observations...) contre le ravageur de la tomate, *Tuta absoluta*. Ce ravageur peut être maîtrisé par les apports réguliers de *Macrolophus*, notamment en période favorable à *Tuta* (T° élevée et cycle rapide) ou en cas de baisse des populations de miridés prédatrices.

PARTIE II :

Essai de traitement biologique (*Bacillus thuringiensis*) sur les populations larvaires de *Tuta absoluta*.

PARTIE II :

Essai de traitement biologique (*Bacillus thuringiensis*) sur les populations larvaires de *Tuta absoluta*.

Le tableau ci-dessous résume les résultats des tests d'identification du *B. Thuringiensis*

Tableau 31 : Résultat des tests d'identification du *B. Thuringiensis*

Tests	Résultats
Coloration de gram	Gram +
Hydrolyse de l'amidon	+
Dégradation de la gélatine –test gélatinase	+
Caséine	+
Utilisation de citrate	V
Culture à 45°C	+
Culture à 55 °C	-
Culture à 65 °C	-

Les tests nous révèlent bien que les larves de *Tuta absoluta* sont vraisemblablement mortes par infection de *B. Thuringiensis*.

Les essais d'efficacité biologique de la bactérie entomopathogène *B. Thuringiensis* sur les populations de *Tuta absoluta* se sont déroulés en deux (02) étapes distinctes :

1. Essai d'efficacité de *Btk* sur les populations de *T. absoluta* au laboratoire

1-1. Résultats

Cette étape consiste à évaluer l'efficacité de *B. Thuringiensis* par des applications directes sur les substrats composés de feuilles de tomate fraîches pour les populations larvaires de *T. absoluta*. Il s'agit, en effet, de déterminer l'efficacité de la bactérie par ingestion.

Il est peut être utile de rappeler que, pour les besoins expérimentaux, les individus de *T. absoluta* proviennent d'une serre de tomate, infestée et non traitée.

Les résultats des essais d'efficacité de *BtK* au laboratoire sur les populations de *T. absoluta* sont consignés dans le tableau 32 et la figure 42.

Tableau 32 : Taux de mortalité des larves de *Tuta absoluta* en fonction des doses croissantes de *B. Thuringiensis* au bout de 06 jours (Unité : %)

Stade larvaire	Taux de mortalité en %					
	Doses en g/l					
	Témoin	0,200	0,350	0,500	0,650	0,800
L1	0	0	33,33	100	100	100
L2	0	0	16,66	100	100	100
L3	0	0	0	50	100	100
L4	0	0	0	33,33	83,33	100

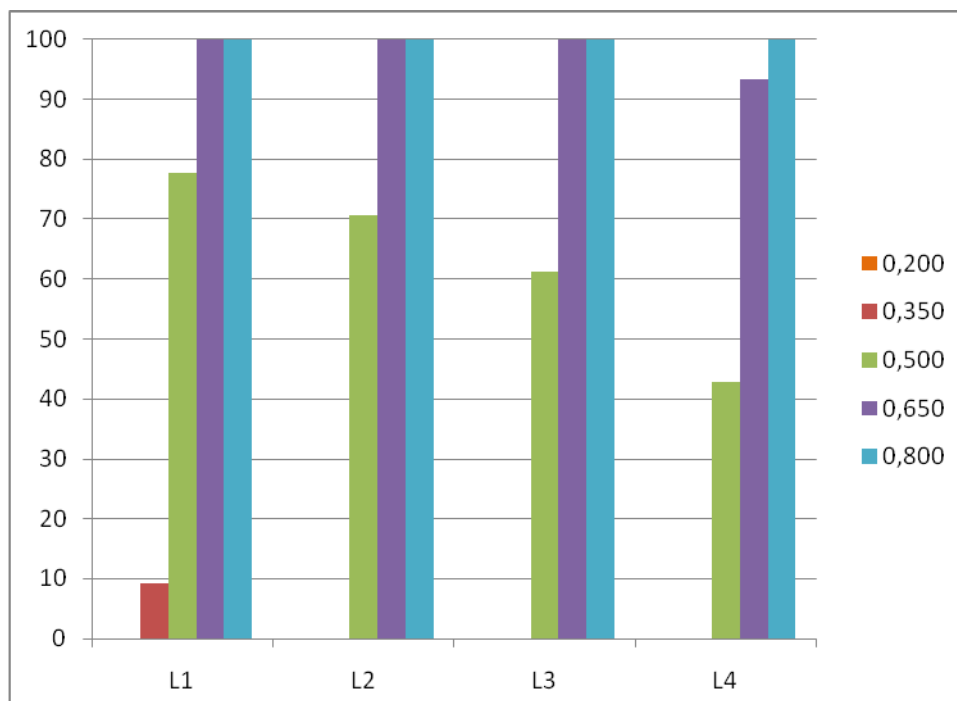


Figure 42 : Taux de mortalité des larves de *T. absoluta* au laboratoire en fonction des doses croissantes de *Btk* (moyenne de trois répétitions par traitement/stade)

L'évolution temporelle de la mortalité des larves de *T. absoluta* soumises au traitement biologique par *BtK* au laboratoire, en fonction des différentes doses testées, est illustrée par la figure 43 suivante.

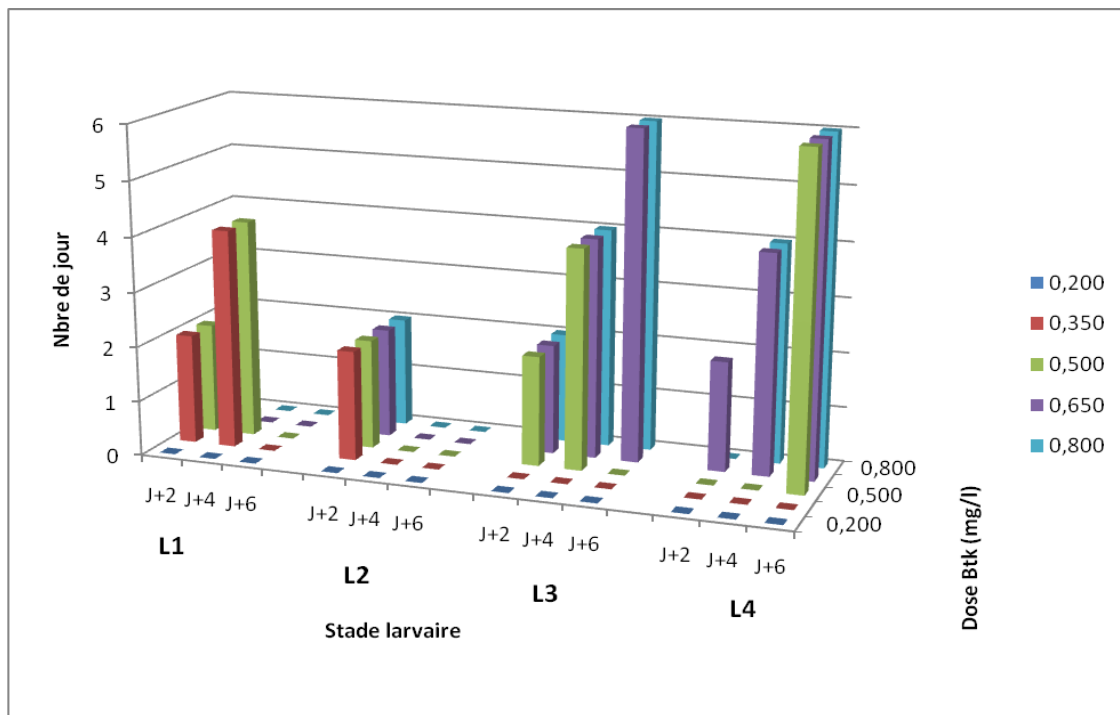


Figure 43 : Evolution temporelle de la mortalité des larves de *T. absoluta* soumise au Btk, au bout de 02, 04 et 06 jours.

1-2. Discussion

D'une manière générale, les résultats enregistrés dans le tableau 32 et la figure 42 montrent que *B. Thuringiensis* a un effet pathogène sur les différents stades larvaires de *T. absoluta*. Cet effet est confirmé par les tests d'identification.

Les chenilles consommant ainsi des feuilles de tomate pulvérisées par les solutions sont infectées et au bout de 24 heures, leur mobilité est plus lente avant de s'arrêter de se nourrir sur le substrat mis en place dans les boîtes. Elles finissent ensuite par se décolorer et dessèchent au sixième jour. Les chenilles meurent alors après l'application du traitement soit après l'ingestion de la bactérie.

En effet, NIEDMANN et MEZA-BASSO (2006) rapportent que *B. Thuringiensis* agit par ingestion et que la chenille est infectée lorsqu'elle dévore les parties de la plante arrosée par la bactérie. La bactérie produit des spores et des cristaux de protéines qui entraînent la libération d'une substance toxique dans l'intestin. Cette substance corrode la paroi intestinale et par conséquent paralyse les mâchoires de la chenille.

C'est ce qui a été observé pour les larves de *Tuta absoluta* expérimentées qui ne pouvaient plus s'alimenter et finissaient par mourir quelques jours plus tard.

JOHNSON & MCGAUGHEY (1996) signalent également qu'une fois ingérées, les protéines cristallines sont solubilisées dans l'intestin de l'insecte à un pH basique (10-12). Les protoxines libérées sont par la suite transformées en toxines actives après une lyse partielle par les enzymes du tube digestif.

D'autre part, NOTIN (2006) montre que *Btk* a besoin des microorganismes de la flore intestinale de l'insecte pour être létal. La destruction de la flore intestinale native des chenilles ravageuses par des antibiotiques annule les effets mortels de *BtK*.

Notre étude enregistre un taux de mortalité des larves qui varie de 0 à 100 % suivant les doses d'application. Selon les doses, il est observé une inefficacité à 0,200 g/l pour les quatre (04) stades larvaires. Les premières mortalités ne sont notées que pour la dose 0,350 g/l au stade L₁ avec un taux de 33,33 % et au stade L₂ avec 16,66 %, mais sans effet létal sur les autres stades.

A partir du traitement à la dose de 0,500 g/, nous enregistrons des taux de mortalité de 100 % notamment pour les L₁, L₂ qui sont les stades plus sensibles. Pour les L₃ et L₄, le taux oscille entre 50 % et 33,33 %.

En effet, il existe une relation étroite entre la dose et l'âge des larves. Les larves âgées sont donc généralement nettement plus résistantes et plus la larve est âgée plus la dose doit être importante.

D'autre part, nous avons constaté que le temps de mortalité induit par l'infection varie d'un stade larvaire à l'autre ; il est plus court chez les deux (02) premiers stades L₁ et L₂ deux (02) jours après l'application de *Btk*). Ceci semble corroborer les résultats de plusieurs auteurs notamment ZAMOUN *et al.* (2005) qui soulignent l'excellente efficacité de la bactérie *B. Thuringiensis* aux stades jeunes chez les Lépidoptères

Pour l'effet de l'évolution temporelle de la mortalité, il est remarqué que 33,33 % des larves L₃ meurent au bout de quatre (04) jours après l'application de la dose 0,500 g/l; alors que plus de 50 % seulement deux (02) jours après, respectivement pour les doses 0.650 g/ et 0.800 g/l. Quant aux larves L₄, la mortalité n'intervient qu'à partir de la dose 0.650 g/l avec plus de 50 % après le quatrième (4^{ème}) jour (Figure 43).

Enfin, cet essai nous a permis d'une part de confirmer l'effet pathogène de *B. Thuringiensis* sur les populations larvaires de *T. absoluta* et d'autre part de retenir les trois doses efficaces à savoir 0.500 g/l, 0.650 g/l et 0.800 g/l.

2. Essai d'efficacité de *Btk* sur les populations de *T. absoluta* sous serre

2-1. Résultats

Les tests menés sous serre consistent à évaluer l'efficacité de *B. Thuringiensis* par des pulvérisations foliaires sur les plants de tomate infestés par les larves de *Tuta absoluta*. Il s'agit de déterminer l'efficacité de la bactérie qui agit par ingestion en condition naturelle.

Les résultats des essais d'efficacité de *B. Thuringiensis* sur les populations larvaires de *Tuta absoluta* sont consignés dans les tableaux 33-34-35-36 et les figures 44-45-46-47. Pour les besoins d'interprétation, nous récapitulons, dans le tableau 37 et la figure 48, les taux de mortalité par stade larvaire en fonction des doses de *Btk* appliquées par pulvérisation foliaire sur les plants de tomate.

Tableau 33 : Efficacité des doses croissantes de *B. Thuringiensis* sur les larves L₁ de *Tuta absoluta* ; moyenne de 03 répétitions.

Dose en g/l	Nombre d'individu initial	Mortalité journalière après traitement						Taux de mortalité en %
		2 jours		4 jours		6 jours		
		Nbre Moy.	%	Nbre Moy.	%	Nbre Moy.	%	
0.200	9,33	0	0	0	0	0	0	0
0.350	7,33	0,67	0,091	0	0	0	0	0
0.500	6	2,33	38,83	1,33	22,17	1	16,67	77,67
0.650	5,33	3,33	62,48	1,67	31,33	0,33	6,19	100
0.800	8,33	8,33	100	8,33	0	0	0	100

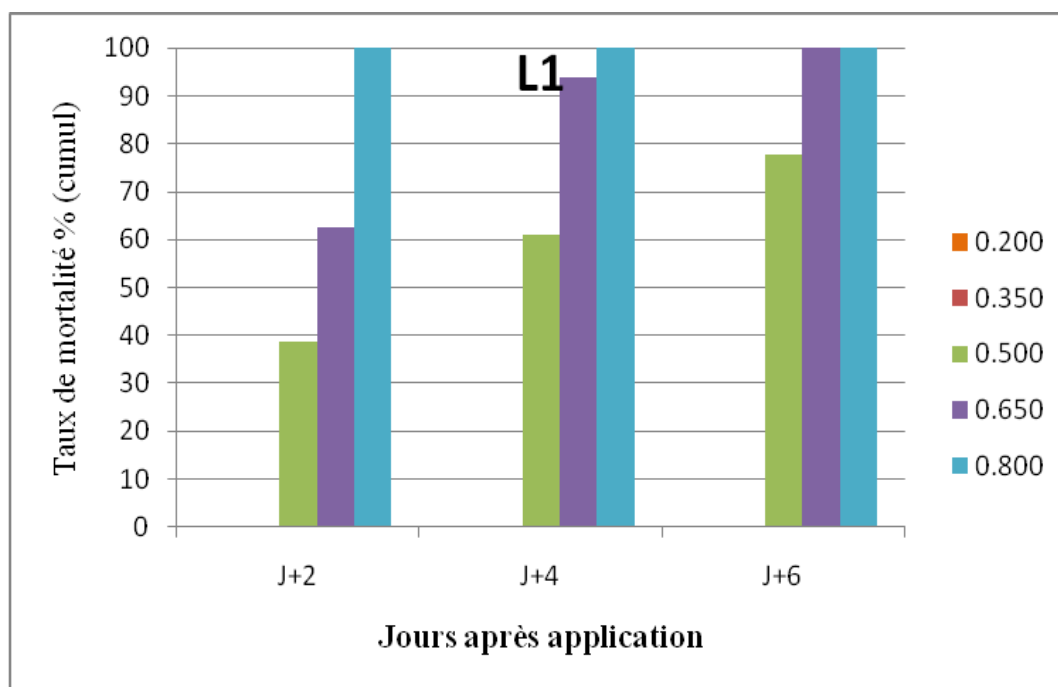


Figure 44 : taux de mortalité cumulatif des larves L₁ (jours après application) de *Tuta absoluta* infectées en fonction des doses croissantes de *B. Thuringiensis*

Tableau 34 : Efficacité des doses croissantes de *B. Thuringiensis* sur les larves L₂ de *Tuta absoluta* (moyenne de 03 répétitions)

Dose en g/l	Nombre d'individu initial	Mortalité journalière après traitement						Taux de mortalité en %
		2 jours		4 jours		6 jours		
		Nbre Moy.	%	Nbre Moy.	%	Nbre Moy.	%	
0.200	7,67	0	0	0	29,45	0	0	0
0.350	5,67	0	0	0	16,66	0	0	0
0.500	5,67	1,33	23,46	1,67	0	1	17,64	70,55
0.650	6	4,33	72,17	1	29,45	0,67	11,17	100
0.800	7,33	7,33	100	0	16,67	0	0	100

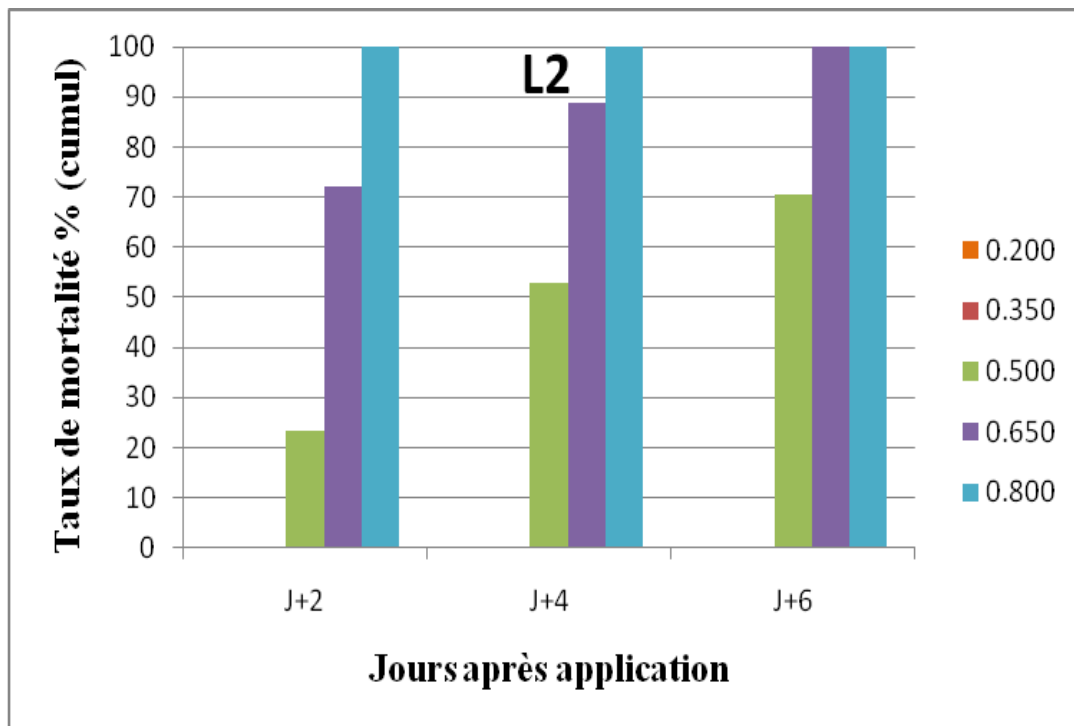


Figure 45 : taux de mortalité cumulatif des larves L₂ (jours après application) de *Tuta absoluta* infectées en fonction des doses croissantes de *B. Thuringiensis*

Tableau 35 : Efficacité des doses croissantes de *B. Thuringiensis* sur les larves L₃ de *Tuta absoluta* (moyenne de 03 répétitions)

Dose en g/l	Nombre d'individu initial	Mortalité journalière après traitement						Taux de mortalité en %
		2 jours		4 jours		6 jours		
		Nbre Moy.	%	Nbre Moy.	%	Nbre Moy.	%	
0.200	6	0	0	0	0	0	0	0
0.350	5,69	0	0	0	0	0	0	0
0.500	6	2,67	44,5	0,67	11,17	0,33	5,5	61.17
0.650	5,33	3,33	62,48	1,33	24,95	0,67	12,57	100
0.800	7,67	5,67	73,92	1,33	17,34	0,67	8,73	100

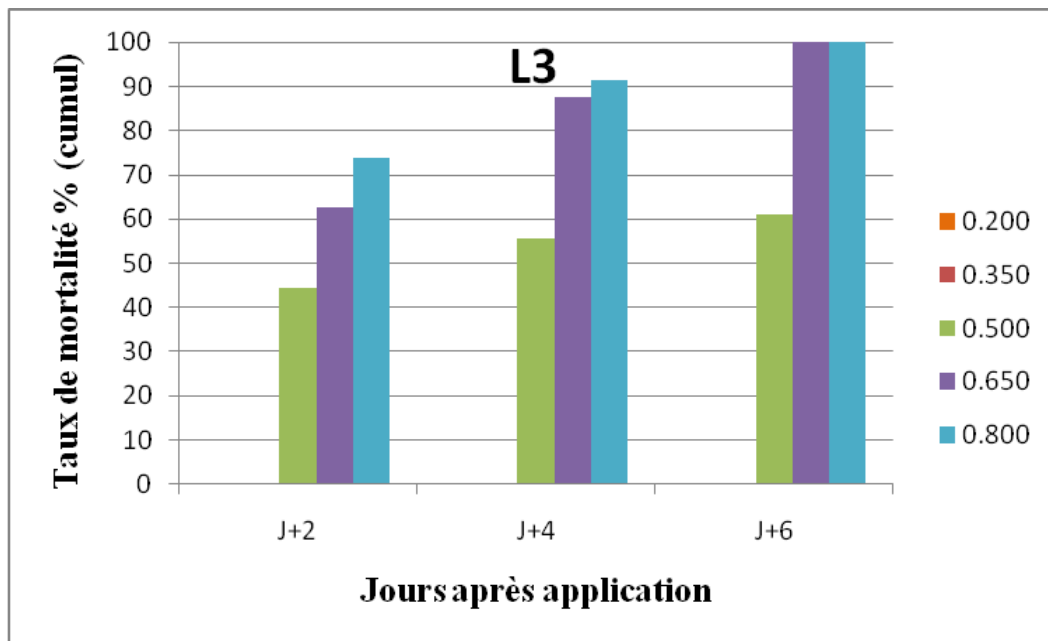


Figure 46 : taux de mortalité cumulatif des larves L₃ (jours après application) de *Tuta absoluta* infectées en fonction des doses croissantes de *B. Thuringiensis*

Tableau 36 : Efficacité des doses croissantes de *B. Thuringiensis* sur les larves L₄ de *Tuta absoluta* ; moyenne de 03 répétitions :

Dose en g/l	Nombre d'individu initial	Mortalité journalière après traitement						Taux de mortalité en %
		2 jours		4 jours		6 jours		
		Nbre Moy.	%	Nbre Moy.	%	Nbre Moy.	%	
0.200	4,33	0	0	0	0	0	0	0
0.350	4,33	0	0	0	0	0	0	0
0.500	4,67	1,67	35,76	0,33	7,066	0	0	42,83
0.650	5	2,67	53,4	1,67	33,4	0,33	6,6	93,4
0.800	5,67	4	70,55	1	17,64	0,67	11,82	100

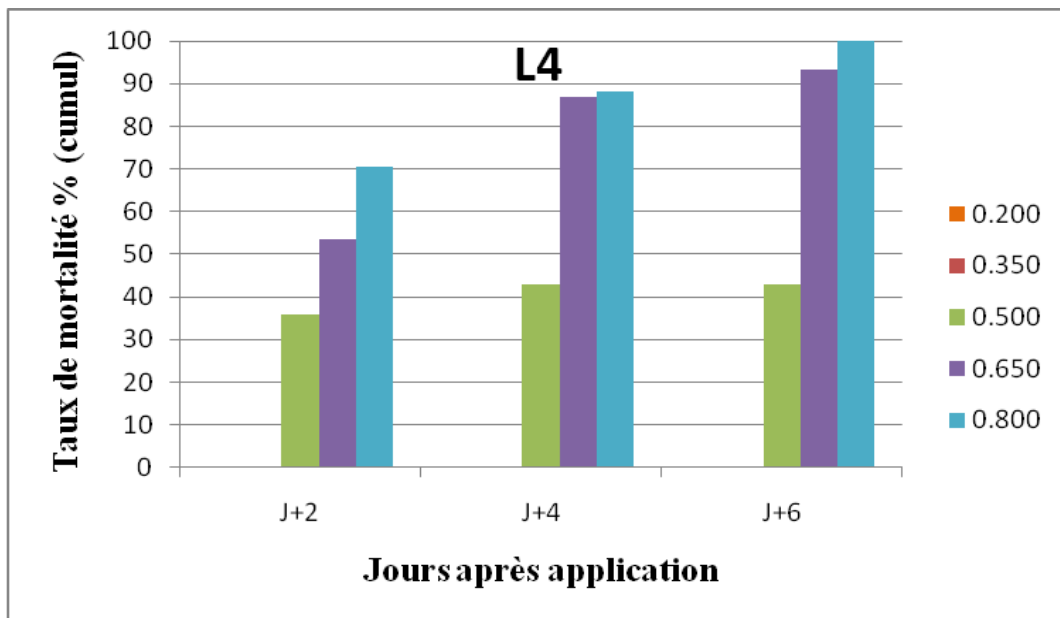


Figure 47 : taux de mortalité cumulatif des larves L₄ (jours après application) de *Tuta absoluta* infectées en fonction des doses croissantes de *B. Thuringiensis*

Tableau 37 : Taux de mortalité par stade en fonction des doses de *B. Thuringiensis* en g/l appliquées par pulvérisation foliaire sur les plantes de tomate

Stade larvaire	Taux de mortalité en %				
	Dose en g/l				
	0.200	0.350	0.500	0.650	0.800
L1	-	9,14	77,67	100	100
L2	-	-	70,55	100	100
L3	-	-	61,17	100	100
L4	-	-	42,83	93,4	100

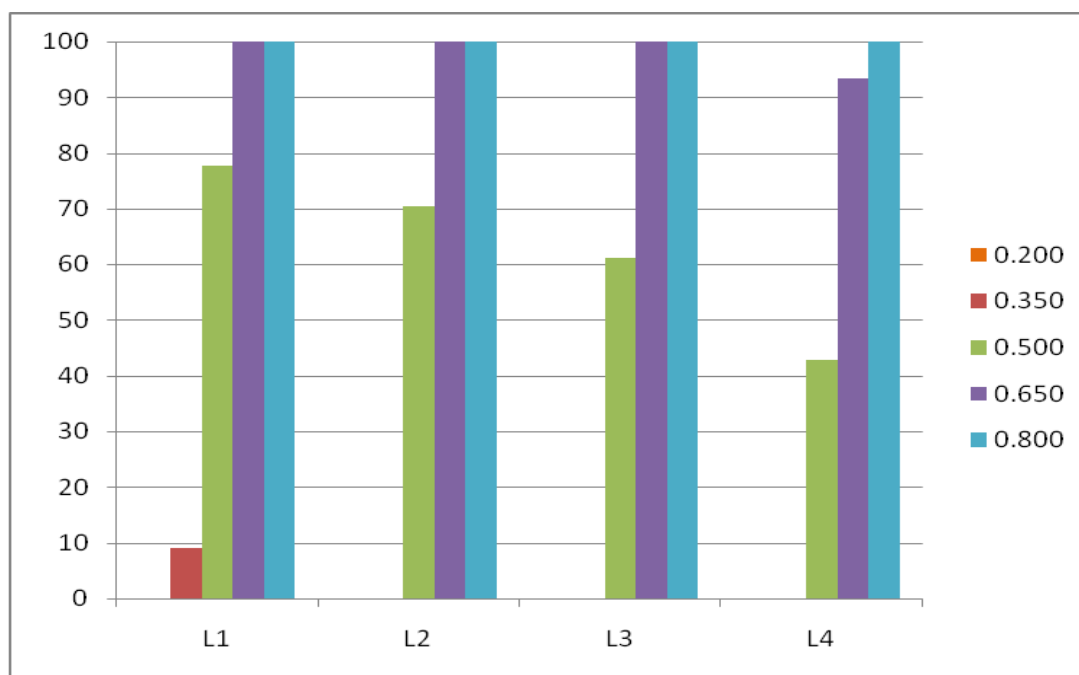


Figure 48 : Taux de mortalité global par stade en fonction des doses de *B. Thuringiensis* en g/l appliquées par pulvérisation foliaire sur les plantes de tomate

2-2. Analyse statistique

En utilisant le cumul des taux entre J+2, J+4 et J+6, à partir des données enregistrées, nous obtenons les résultats suivants :

Tableau récapitulatif de l'ANOVA 2 facteurs avec répétitions

Source des variations	ddl	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F de Fisher	Prob. Critique	
Larves	3	2349.27209	783.090698	12.2534191	4.7556E-07	H0 est rejetée
Dose/jour	14	293201.165	20942.9404	327.704857	1.8777E-88	H0 est rejetée
Interaction	42	5607.59244	133.514106	2.08916322	0.00100965	H0 est rejetée
Erreur	120	7668.95209	63.9079341			
Total	179	308826.982				

L'analyse du tableau ci-dessus nous indique qu'il y a des différences significatives entre les larves ($P\text{value}=4.7556 \cdot 10^{-7}$). Aussi, les doses (couplées avec durée) sont différentes ($p\text{value}=1.8777 \cdot 10^{-88}$). De même pour l'interaction entre larves et dose/jour avec une $P\text{value}=0.001$.

La création des groupes homogènes a été faite en utilisant le test LSD de Fisher (Least Significant Difference).

Concernant les larves, nous pouvons donc créer les groupes suivants :

Variable	Moyenne	Groupe		
L1	50.7407407	A		
L2	47.3227513		B	
L3	45.8439153		B	
L4	40.7037037			C

La larve L_1 a le taux de mortalité moyen le plus élevé (50.74), elle forme à elle seule le groupe A. Les larves L_2 et L_3 ont des taux de mortalité moyens semblables (pas de différence significative) et forment ensemble le groupe B. La larve L_4 , avec un taux de mortalité moyen le plus faible (40.70) se trouve seule dans le groupe C.

Variable	Moyenne	Groupe					
Dose1/J+2	0	A					
Dose1/J+4	0	A					
Dose1/J+6	0	A					
Dose2/J+2	2.31481481	A					
Dose2/J+4	2.31481481	A					
Dose2/J+6	2.31481481	A					
Dose3/J+2	36.0416667		B				
Dose3/J+4	53.6111111			C			
Dose3/J+6	63.6111111				D		
Dose4/J+2	62.4404762				D		
Dose4/J+4	90.3174603					E	
Dose4/J+6	98.6111111						F
Dose5/J+2	85.8862434					E	
Dose5/J+4	94.8280423					E	F
Dose5/J+6	100					E	F

2-3. Discussion

2-3-1. Sans tenir compte des stades larvaires

D'une manière générale les tests d'efficacité du *B. Thuringiensis* sur les populations larvaires de *Tuta absoluta*, menées sous serre, montrent que sur les cinq (5) doses appliquées, deux se sont pratiquement avérées inefficaces sur l'ensemble des stades larvaires ; il s'agit des doses 0.200 g/l et 0.350 g/l.

En effet et sans tenir compte du stade larvaire, la mortalité intervient à partir de la dose 0.500 g/l avec des taux variant de 50 % à 100 %. Les taux de mortalité les plus importants sont obtenus pour les jeunes stades (L₁ et L₂). Il y a lieu donc de noter, que pour les doses 0.650 g/l et 0.800 g/l de *B. Thuringiensis*, sont obtenus des taux de mortalité larvaire (tous stades confondus) de plus de 90 % pour la 1^{ère} dose et 100 % pour la 2^{ème}. Ceci confirme les résultats des tests conduits au laboratoire.

Les analyses statistiques imposent les commentaires suivants :

- ✓ Les doses Dose1/J+2, Dose1/J+4, Dose1/J+6, Dose2/J+2, Dose2/J+4 et Dose2/J+6 n'ont aucune différence significative entre elles et forment le groupe A ;
- ✓ La Dose3/J+2 forme seule le groupe B avec un taux de mortalité moyen égale 36.04 ;
- ✓ Même commentaire pour la Dose3/J+4, et forme le groupe C (53.61) ;
- ✓ La Dose3/J+6 forme avec la Dose4/J+2 le groupe D. Cad que la dose 4, en 2 jour donne le même effet que la dose 3 en 6 jours ;
- ✓ La Dose4/J+4 fait partie du groupe E avec la Dose5/J+2, Dose5/J+4 et Dose5/J+6. Cad que la dose 5 en 2 jours a les mêmes taux de mortalité que la dose 4 en 4 jours ;
- ✓ Enfin, les doses suivantes forment le groupe F : Dose4/J+6, Dose5/J+4 et Dose5/J+6.

D'autre part, le temps léthal des larves, après application de *B. Thuringiensis*, varie de 2 à 6 jours. La majorité des larves, ayant été infectées par ingestion, meurent au bout de deux (02) jours après la pulvérisation du *B. Thuringiensis*. En effet, pour les trois doses létales, plus de 46 % périssent deux (02) jours après l'application du produit (*Btk*), environ 32 % au bout de quatre (04) jours et seulement moins de 22 % meurent six (06) jours plus tard.

Il est également utile de noter que la plupart des larves mortes ont été trouvées hors des mines soit sur les feuilles ou au sol. Aussi, il a été observé que certaines larves baladeuses, pour passer d'un stade à un autre, quittent leurs anciennes mines pour percer de nouvelles galeries en ingérant à ce moment le parenchyme des feuilles pulvérisées par *B. Thuringiensis*, ce qui provoque leurs morts avant même de confectionner leurs mines. Les larves mortes deviennent décolorées et desséchées.

Ces résultats enregistrés sont confirmés par plusieurs auteurs qui signalent que les chenilles sortent des galeries à plusieurs reprises au cours de leur développement et recommandent donc des pulvérisations prophylactiques et régulières de *B. Thuringiensis* (BATTISTI *et al.*, 2006 ; SALVO et VALLADARES, 2007 ; MOLLA *et al.*, 2008). D'autres chercheurs, en l'occurrence ARONSON & *al.* (1986) et HOFTE & WHITELEY (1989), indiquent que les protéines cristallisées exercent leur effet sur l'hôte en lysant les cellules épithéliales de l'intestin moyen et en provoquant la paralysie du tube digestif. La larve infectée cesse alors de se nourrir dans les heures qui suivent l'ingestion (2 à 4 heures) et finit par mourir. Une fois ingérés, les cristaux se dissolvent dans l'environnement alcalin de l'intestin moyen de l'hôte. La protéolyse de la protéine cristallisée solubilisée ou protoxine produit le fragment toxique (toxine). Une fois liée à des récepteurs spécifiques présents sur les membranes des cellules épithéliales de l'intestin moyen, la toxine induit la formation de pores dans la membrane des cellules épithéliales et, ce faisant, provoque la mort des cellules et de la larve infectée.

2-3-2. En tenant compte des stades larvaires

➤ Stade L₁

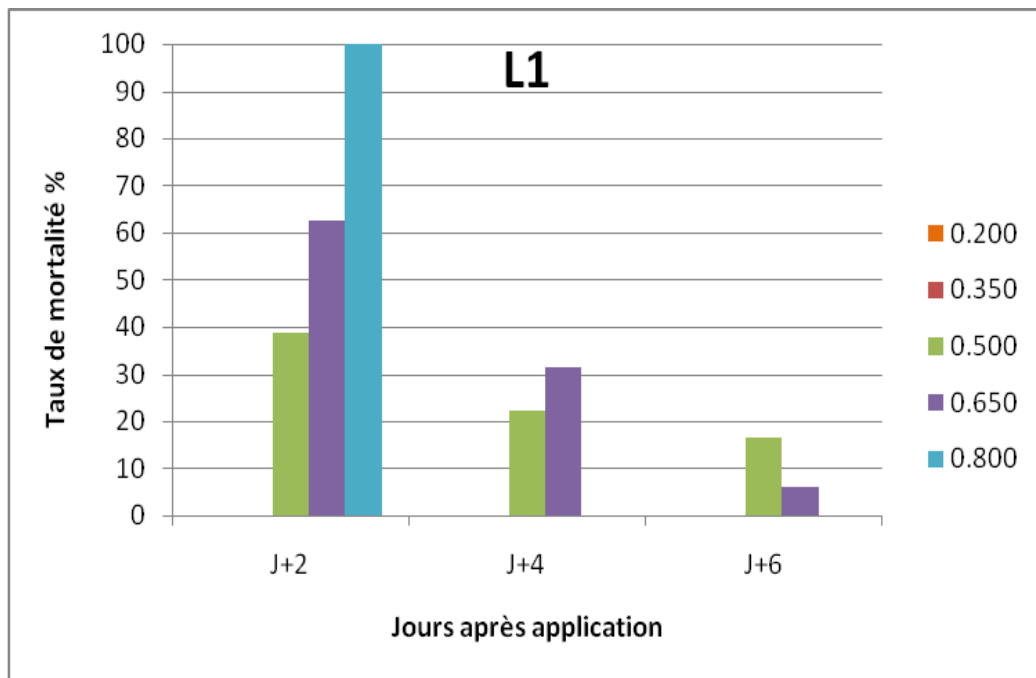


Figure 49 : Taux de mortalité des larves L₁ (jours après application) de *Tuta absoluta* infectées en fonction des doses croissantes de *B. Thuringiensis*

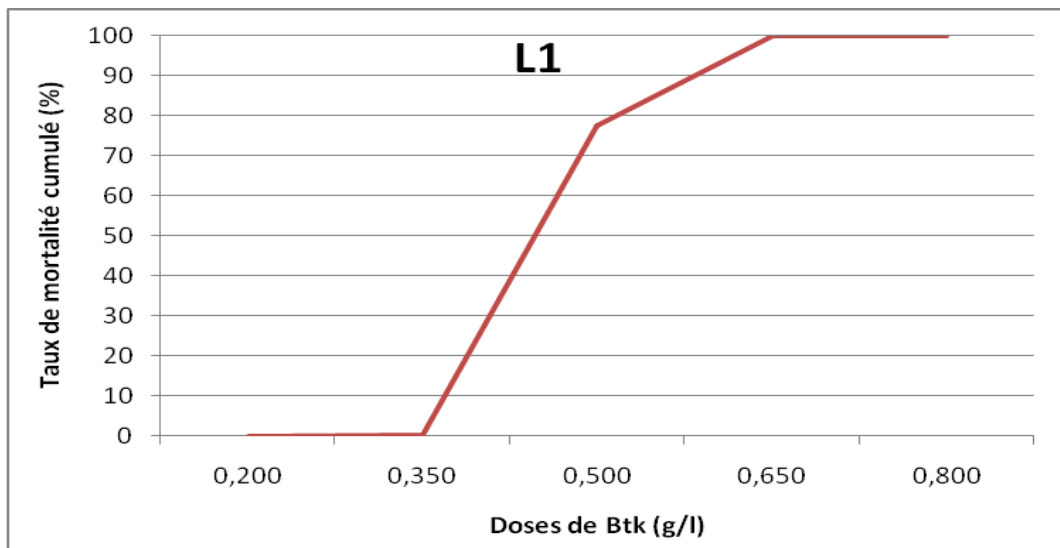


Figure 50 : Taux de mortalité cumulatif des larves L₁ (en cumulé) de *Tuta absoluta* infectées en fonction des doses croissantes de *B. Thuringiensis*

L'examen des résultats illustrés dans les figures 49-50 montre que la mortalité des individus du stade L₁ intervient pour les doses 0.500 g/l, 0.650 g/l et 0.800 g/l de *B. Thuringiensis* avec des taux entre 77 % à 100 %. La mortalité induite par l'infection bactérienne est notée au bout de deux (02) jours au minimum et six (06) jours au maximum avec des pourcentages respectifs entre 38,8 et 16,67.

Vraisemblablement, les larves de *Tuta absoluta*, après avoir ingérées les feuilles pulvérisées par *B. Thuringiensis*, s'arrêtent de s'alimenter, en moyenne, au bout de quatre (04) heures pour mourir plus tard (2 à 6 jours) suite à l'infection du tube digestif par la bactérie.

Le temps de mortalité de 100 %, le plus court, soit de deux (02) jours est obtenu pour la plus forte dose de 0.800 g/l ; il est de quatre (04) à six (06) jours pour la dose 0.650 g/l. Ces (02) deux doses semblent être les plus efficaces vis-à-vis des larves L₁. Elles sont largement supérieures à la dose recommandée (0.500 g/l) et homologuée par le fabricant pour la lutte contre les larves de processionnaire du Pin. Par contre, aucune mortalité n'a été relevée parmi le lot des larves témoins.

➤ **Stade L2**

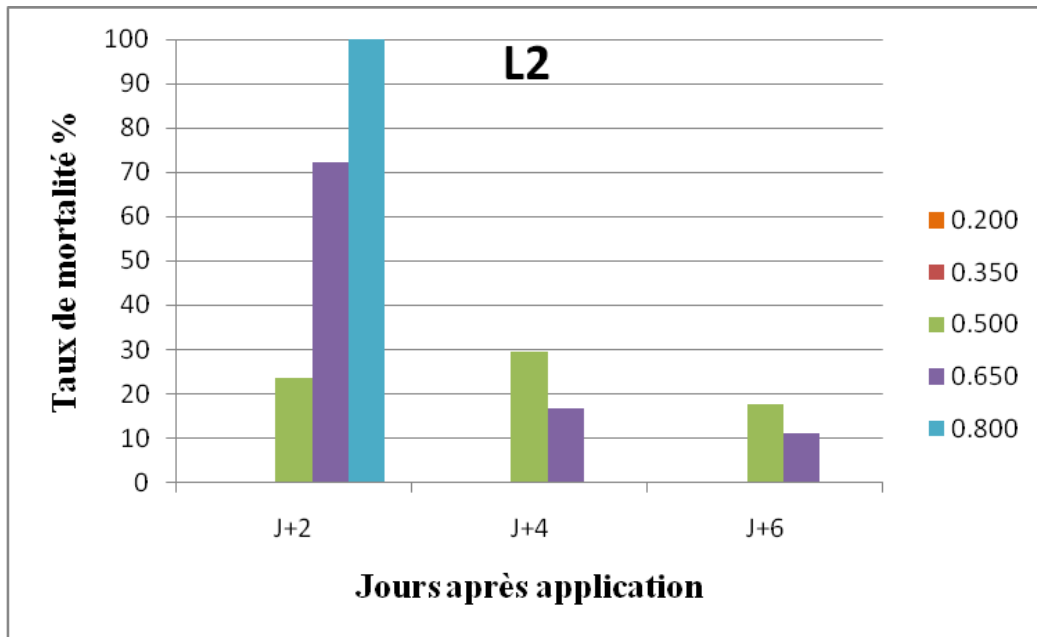


Figure 51 : Taux de mortalité des larves L₂ (jours après application) de *Tuta absoluta* infectées en fonction des doses croissantes de *B. Thuringiensis*

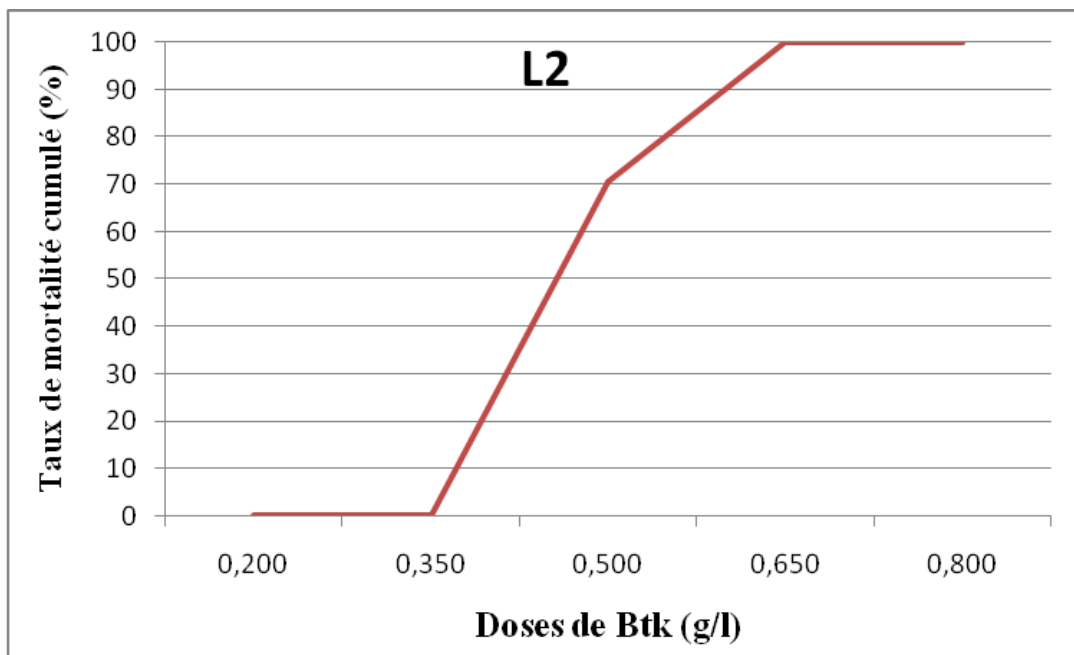


Figure 52 : Taux de mortalité cumulatif des larves L₂ (en cumulé) de *Tuta absoluta* infectées en fonction des doses croissantes de *B. Thuringiensis*

En ce qui concerne les larves L₂, les résultats notés pour l'efficacité des doses testées ne sont très loin par rapport à ceux obtenus pour les larves de stade L₁ avec quelques différences. En effet, les deux doses 0.200 g/l et 0.350 g/l n'ont induits aucune mortalité ou changement de comportement larvaire et se sont par conséquent avérées inefficaces sur les individus de stade L₂. Par contre, pour les autres doses, le taux de mortalité varie de 70 % à 100 % (Figures 51-52).

L'analyse des résultats suivant le temps pour la plus forte dose soit 0.800 g/l de *Bacillus thuringiensis*, montre que 100 % des larves L₂ meurent au bout de deux (02) jours succédant l'application. Les doses 0.500 g/l et 0.650 g/l donnent respectivement un taux de mortalité variant de 23,45 % à 72,17 % au bout de deux (02) jours et seulement 16,67 % à 29,45 % au bout de quatre (04) jours ; par contre, pour les larves du lot témoin du même stade larvaire, le taux de mortalité naturel observé est seulement autour de 10 %.

➤ **Stade L3**

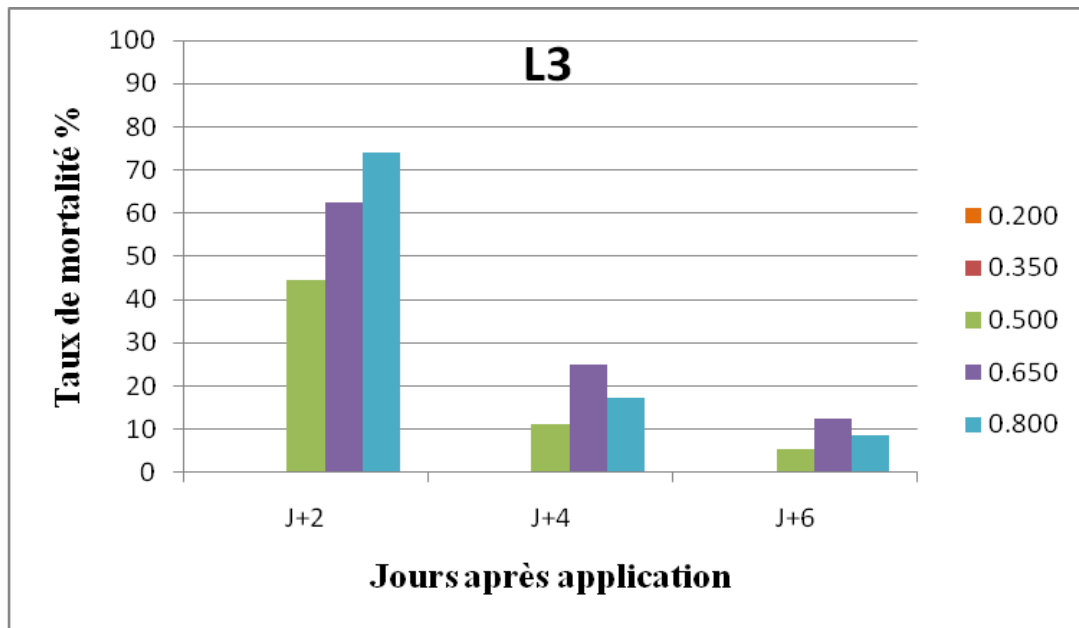


Figure 53 : Taux de mortalité des larves L₃ (jours après application) de *Tuta absoluta* infectées en fonction des doses croissantes de *B. Thuringiensis*

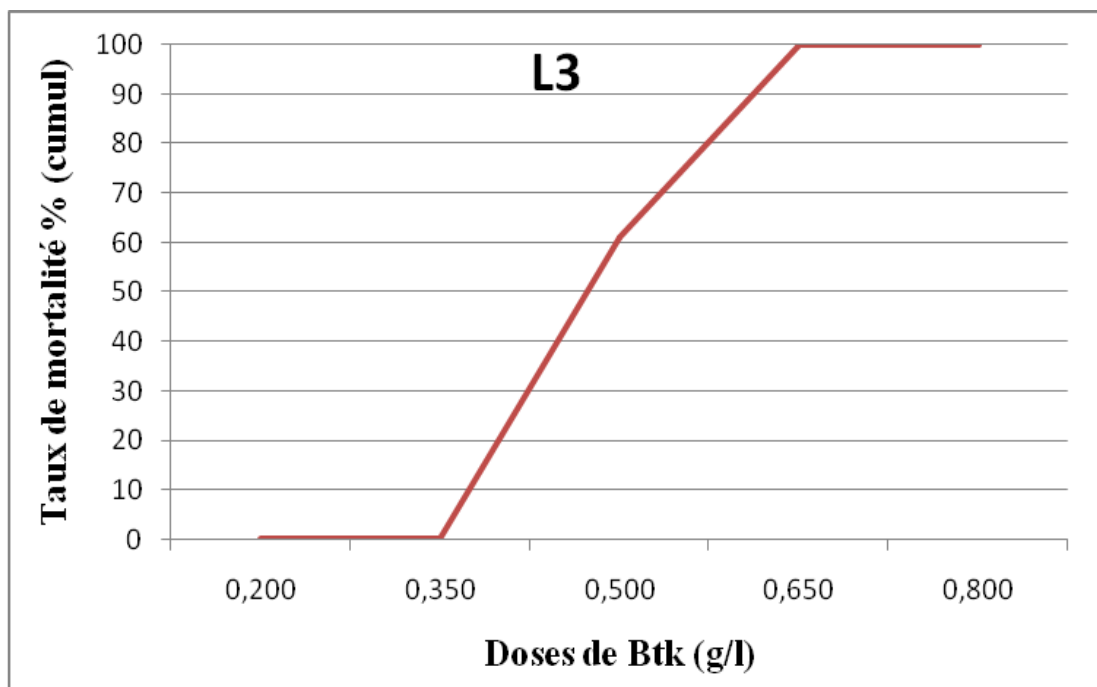


Figure 54 : Taux de mortalité cumulatif des larves L₃ (en cumulé) de *Tuta absoluta* infectées en fonction des doses croissantes de *B. Thuringiensis*

Comparativement aux deux stades larvaires précédents, les tests d'efficience du *Bacillus thuringiensis* réalisés avec les doses 0.200 g/l et 0.350 g/l sont aussi inefficaces sur les individus L₃. Le taux de mortalité varie de 61.17 % pour la dose 0.500 g/l à 100% respectivement pour les doses 0.650 g/l et 0.800 g/l.

Suivant le temps létal, 44.5 % à 73.92 % des larves L₃ périssent au bout de deux (02) jours après l'application du *Bacillus thuringiensis* sur les feuilles de tomate ; 11.17 % à 24.95 % au quatrième (4^{ème}) jour et 5.50 % à 12.57 % au sixième (6^{ème}) jour. Les larves L₃, étant plus âgées que les stades L₁ et L₂, résistent beaucoup plus. Par ailleurs, nous n'avons noté aucune mortalité parmi le lot des larves L₃ témoin (Figures 53-54).

➤ **Stade L4**

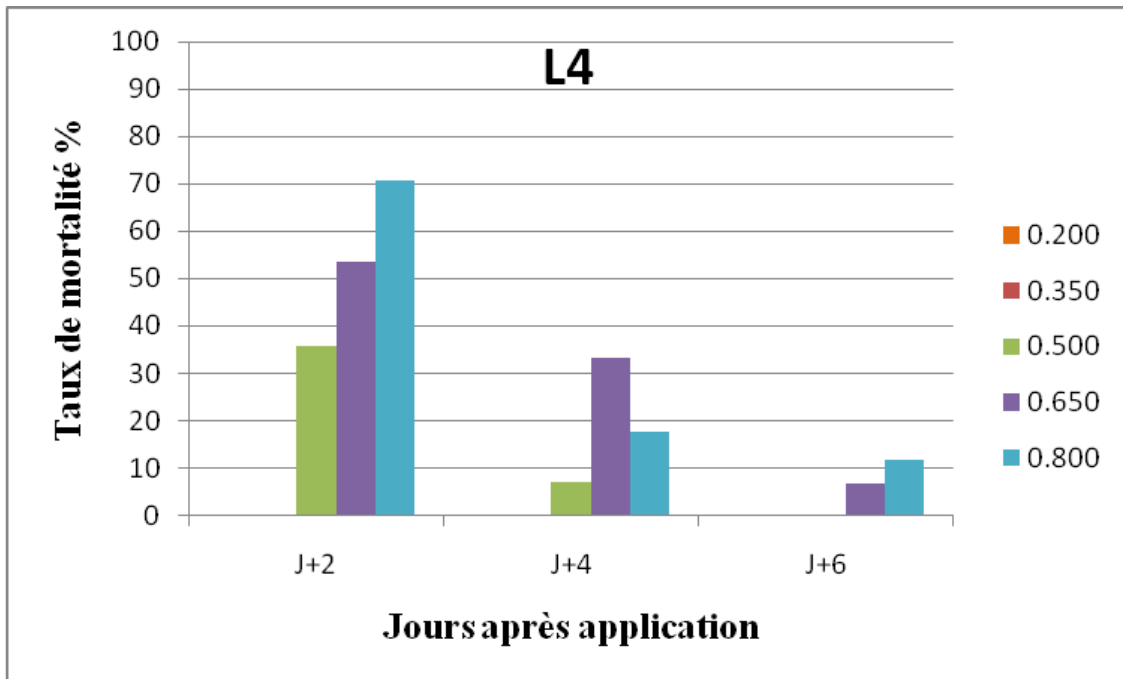


Figure 55 : Taux de mortalité des larves L₄ (jours après application) de *Tuta absoluta* infectées en fonction des doses croissantes de *B. Thuringiensis*

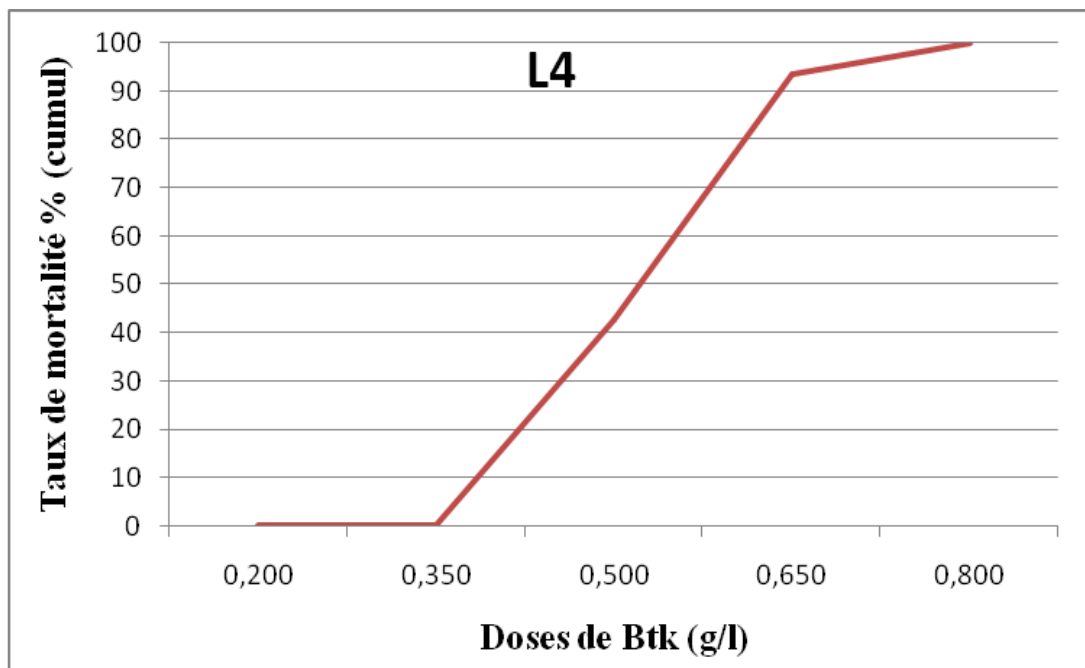


Figure 56 : Taux de mortalité cumulatif des larves L₄ (en cumulé) de *Tuta absoluta* infectées en fonction des doses croissantes de *B. Thuringiensis*

Pour le dernier stade larvaire de *Tuta absoluta*, les résultats montrent également que les doses 0.200 g/l et 0.350 g/l sont sans effet notables sur les individus exposés aux pulvérisations. L'application des doses 0.500 g/l, 0.650 g/l et 0.800 g/l montre une efficacité et les taux de mortalité de 42.83 % à 100 % sont observés (Figures 55-56).

Quant au temps léthal, 35.76 % à 70.55 % des larves L₄ meurent au bout de deux (02) jours, 07.07 % à 33.43 % à quatre (04) jours et 06.60 % à 11.82 % au sixième (6^{ème}) jour. Les larves L₄, étant plus âgées et donc ayant un système digestif plus développé, prennent plus de temps pour mourir comparativement aux autres stades larvaires. En effet et pour la plus forte dose (0.800 g/l), plus de 70 % des larves décèdent au bout de deux (02) jours et moins de 20 % respectivement aux 4^{ème} et 6^{ème} jours après la pulvérisation de *Bacillus thuringiensis*.

Aussi, il faut rappeler que, dans tout programme de lutte, le taux de mortalité recherché doit dépasser 90 % et intervenir dans les plus brefs délais (souvent 48 heures) afin de limiter la propagation désastreuse des ravageurs notamment ceux ayant un grand pouvoir de développement tel que la mineuse de tomate *Tuta absoluta*.

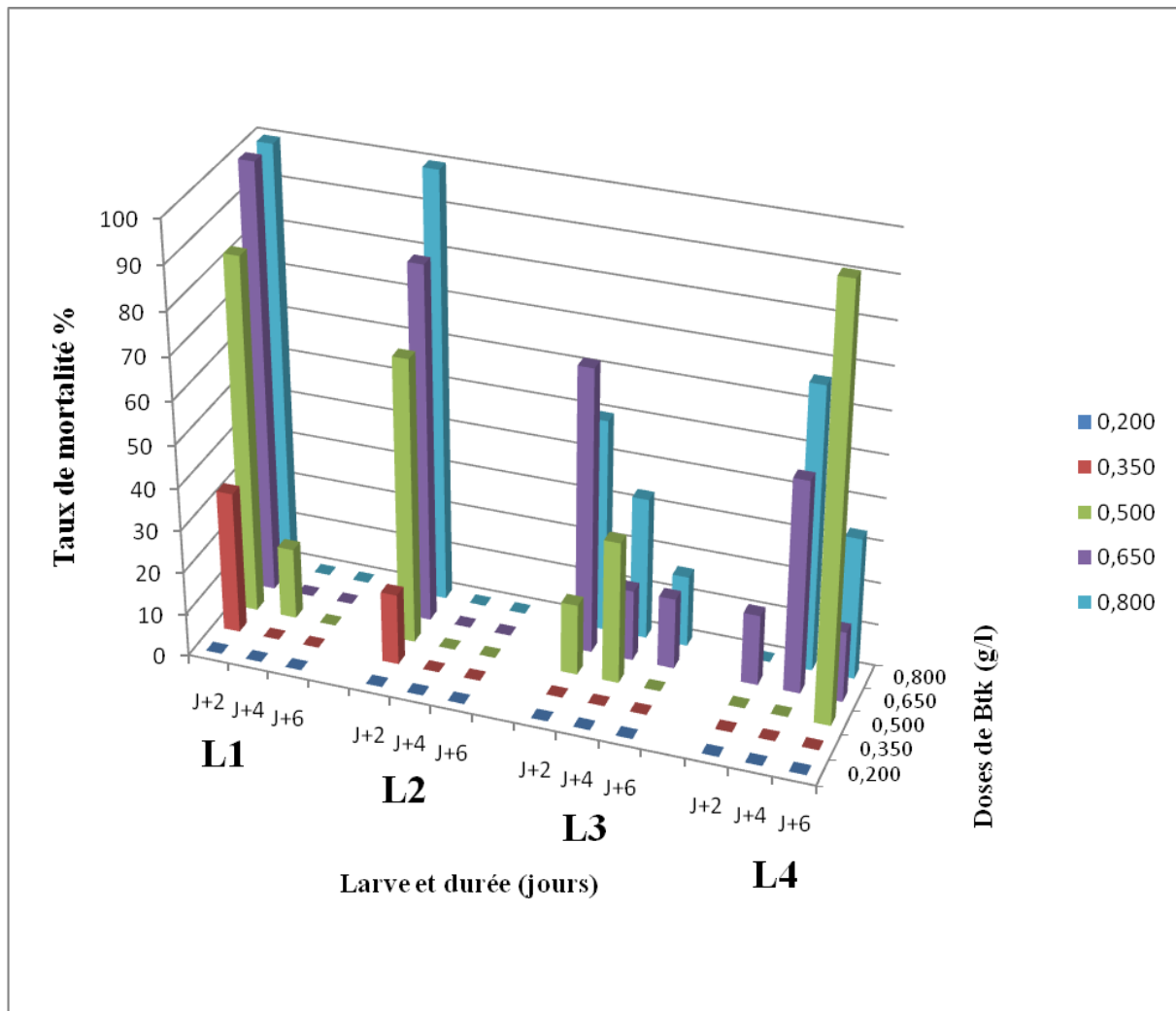


Figure 57 : Taux de mortalité global par stade/durée (jours) en fonction des doses de *B. Thuringiensis* en g/l

2-2-3. Synthèse relative aux stades larvaires

Si l'on tient compte d'une manière globale des résultats de mortalité induite par l'infection bactérienne, nous pouvons retenir les principales constatations :

➤ L'efficacité de *Bacillus thuringiensis* est beaucoup plus importante sur les jeunes stades larvaires L₁ et L₂ que les autres stades de *T. absoluta*. Ceci est, vraisemblablement, en relation étroite avec les caractéristiques physiologiques et histologiques du site d'action de la bactérie à savoir le tube digestif de l'insecte. Ceci corrobore avec les résultats des travaux de plusieurs auteurs notamment sur d'autres Lépidoptères. Ces auteurs ont montré que les jeunes larves, plus sensibles et vulnérables, ont des besoins alimentaires importants et une activité métabolique élevée (BEEVERS, 1990 ; BEHLE, 1997).

➤ Les tests effectués avec les doses 0,200 g/l et 0,350 g/l se sont avérés non concluants. Ces deux doses étant inefficaces sur les quatre (04) stades larvaires de *T. absoluta*. La mortalité des larves intervient au minimum au bout de deux (02) jours. Le temps léthal le plus court observé et pour lequel les taux de mortalité les plus forts ont été obtenus est comme suit pour chaque stade larvaire (Figure 57) :

- ✓ L₁ et L₂ = 100 % ;
- ✓ plus de 60 % pour les L₃ ;
- ✓ et plus de 50 % pour les L₄.

Nous retenons donc l'excellente efficacité, quantitative et qualitative, de la bactérie sur les deux (02) premiers stades larvaires de *T. absoluta*.

➤ Les doses 0,500 g/l ; 0,650 g/l et 0,800 g/l montrent une efficacité notable sur tous les stades larvaires. Cependant la plus forte dose 0,800 g/l paraît être la plus efficace et la plus intéressante compte tenu du taux de mortalité et du temps léthal court observés.

➤ Il y a lieu de préciser que les résultats menés sous serre corroborent avec ceux obtenus par les tests effectués au laboratoire à l'exception de la mortalité enregistrée, au laboratoire, pour les larves de stade L₁ à la dose 0,350 g/l où nous avons noté un taux de moins de 10 %.

3. Effet de *Btk* sur la dynamique des populations larvaires de *T. absoluta*

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau 38 et par la figure 58 suivants :

Tableau 38 : Effet de *Btk* sur la dynamique des populations larvaires de *T. absoluta*

Dose en g/l	Nombre de larve/20 feuilles			
	J	J+2	J+4	J+6
Témoin	10,3	8,8	9,1	12,1
0,500	11,16	7,16	5,16	3,99
0,650	10,83	4	1,17	0,17
0,800	14,5	1,83	0,67	0

L'analyse de la variance (à un facteur) montre une différence significative entre le témoin et la substance active, le *Bacillus thuringiensis* qui a été efficace contre la mineuse de la tomate. La population larvaire de la mineuse de la tomate a été réduite de 35,60 à 100 % respectivement entre le deuxième et le sixième jour après un traitement par le *Btk*. La dynamique des populations au niveau des feuilles témoins (non traitées) suit une progression normale (Figure 58).

Cet essai a montré l'efficacité de *B. thuringiensis* et confirme les résultats des essais sur l'efficacité de ce produit par LEBDI-GRISSA *et al.*,(2010).

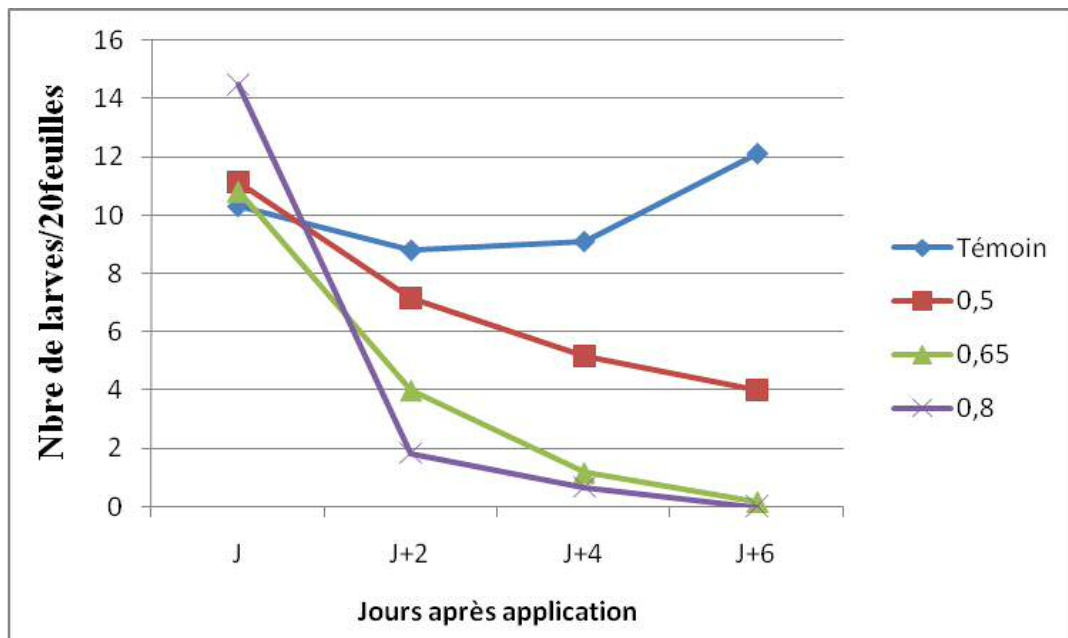


Figure 58: Effet de *Btk* sur les populations larvaires de *T. absoluta*

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Cette étude de la mineuse de la tomate, *Tuta absoluta* Meyrick, dans la région de Mascara a permis d'obtenir plusieurs résultats.

De par la multitude des situations observées et les nombreuses données engrangées, il n'a pas encore été possible de tout analyser. De même, le caractère d'observation et non d'expérimentation de cette étude a nécessité une constante adaptation voire modification du protocole lors de notre suivi.

Néanmoins, ce suivi a permis de mettre en lumière plusieurs résultats, en particulier la localisation des premiers dégâts sur des cultures, la fréquence d'attaque, le pourcentage de dégâts sur les plantes, les durées de développement des différents stades et le nombre de générations.

Au début de l'étude, l'étude des nervations alaires et des génitalia a permis de confirmer l'identification de l'insecte ravageur des plantes de tomate *Tuta absoluta* Meyrick.

Les élevages de *T. absoluta* effectués au laboratoire nous ont permis de déterminer la date d'émergence des adultes, leur longévité, leur sex-ratio ainsi que les durées de développement des différents stades de l'insecte. Les variations entre nos valeurs et les résultats d'autres travaux peuvent s'expliquer par plusieurs conditions liées notamment à l'environnement et la nature du substrat.

Cette étude a permis de mettre en évidence l'impact de la température sur le cycle biologique du ravageur pour les trois gammes de températures testées (15°C, 25°C et 35 °C). Ces durées ont été comparées avec les conditions de terrain. Dans la nature, les conditions climatiques notamment la température, influencent directement la durée de développement de l'espèce. Les observations ont montré des taux de mortalité des stades immatures plus forts sous serre qu'au laboratoire.

Ces résultats montrent dès lors que la survie de *T. absoluta* en conditions de laboratoire est aisément réalisable, laissant cependant présager une augmentation conséquente des valeurs de mortalité en conditions naturelles, en prenant en compte les phénomènes de prédatons et de parasitisme.

Les relations entre les caractères liés à l'infestation des feuilles de tomate par *T. absoluta* ont été analysées par la recherche de corrélation linéaire. En effet, à partir des valeurs enregistrées, nous pouvons donc prédire le taux d'adultes à partir de celui des chrysalides, larves et inversement.

Les valeurs de sex-ratio paraissent assez aléatoires en comparaison avec d'autres résultats trouvés, et rien à l'heure actuelle ne nous permet d'expliquer ce phénomène. Le sex-ratio observé montre un développement tout aussi important de mâles que de femelles.

Il a été aussi démontré que *Tuta absoluta* est un insecte ravageur de culture bel et bien capable de mettre en place un mode de reproduction parthénogénétique deutérotoque, que l'on qualifiera ici de facultatif. En effet, si la reproduction préférentielle de ce microlépidoptère est de type sexuée, il lui est possible, en l'absence prolongée de mâles, de mettre en place une parthénogenèse donnant naissance à une descendance de mâles et de femelles au départ d'œufs non fécondés. La parthénogenèse permettrait donc à *T. absoluta* de continuer à assurer le maintien de l'espèce, au départ d'œufs non fécondés, sans que celui-ci ne soit déporté dans le temps, et sans que la prédominance des femelles ne vienne modifier la reproduction des générations futures.

T. absoluta se développe donc quel que soit le type de reproduction mais les individus issus de reproduction parthénogénétique semblent être plus fragiles. En effet, la viabilité embryonnaire s'en voit alors grandement réduite, et les femelles se montrent plus difficilement capables de réaliser une ponte sur le substrat qui leur a été fourni.

Au vu de ces résultats, il est à signaler aussi que la mise en place des pièges Delta permet de voir de manière pertinente l'évolution de la population de *T. absoluta* dans la culture. Le suivi régulier des pièges donne une bonne indication sur l'évolution des populations et des risques encourus, permettant alors d'intervenir rapidement. Il est à noter aussi que, l'intensité du piégeage dépend des températures extérieures. Ainsi, à l'approche de l'été, il convient, de surveiller davantage la population du ravageur surtout lorsque les températures moyennes hebdomadaires sont supérieures à 22 °C. Les résultats que nous avons obtenus concernant les captures d'adultes nous permettent de conclure que les facteurs climatiques représentés par les températures et les taux d'humidité n'influent pas directement sur le nombre d'adultes mâles piégés au cours des relevés effectués le long des mois d'étude.

L'étude de la dynamique des populations a mis en exergue la succession de cinq générations pendant la période d'étude de décembre à juillet. Vraisemblablement, le nombre de générations dépend de plusieurs facteurs dont les conditions climatiques constitueraient un facteur limitant, du type de la culture et de la région. Le chevauchement des générations de *Tuta absoluta* complique l'estimation du nombre de générations. C'est pourquoi il est jugé utile d'approfondir les études de bio écologie de cet ravageur invasif afin d'établir une stratégie de lutte adéquate.

Les parois ouest, nord et principalement nord-ouest des cultures doivent être suivies avec une grande attention. En effet, dans notre étude, les premiers dégâts sont apparus en majorité dans ces zones. Ainsi, il est conseillé de disposer le piège Delta dans ces parties des abris afin détecter plus rapidement l'apparition des premiers adultes dans la culture. Il a été observé également que lorsque le niveau de piégeage était bas, les dégâts étaient faibles et principalement localisés sur la partie inférieure des plantes. Puis, au fur et à mesure que la fréquence d'attaque de la culture augmentait, les dégâts devenaient visibles sur l'étage supérieur. Enfin, dès que la fréquence des dégâts dépassait 70 %, les larves attaquaient les fruits, les tiges et les apex. Il est vraisemblable donc qu'en fonction de la densité de la population, l'insecte change de comportement alimentaire et qu'il s'attaquerait plus rapidement aux jeunes fruits verts.

L'analyse statistique des dégâts a permis de mettre en évidence des différences significatives concernant le nombre sur la face inférieure en fonction de celui sur la face supérieure.

Plusieurs facteurs influent sur les infestations de *Tuta absoluta*. Le bioclimat semble être le facteur primordial. En effet, la zone d'étude, caractérisée par des températures modérées et des hygrométries élevées, offre un terrain favorable aux attaques.

Le seul parasite de *Tuta absoluta* que nous ayons trouvé à Mascara est un Miridé *Macrolophus sp*, mais il demeure toujours insuffisant pour limiter effectivement l'accroissement des populations du phytophage. Une relation polynomiale a été établie entre le nombre de miridé et celui de *T. absoluta*, mais uniquement durant une courte durée, en raison sans doute de son mode de nutrition de type zoophytophage.

La dernière partie du chapitre expérimentale a permis de confirmer l'efficacité d'une formulation de base de *Bacillus thuringiensis kurtaski* sur les populations larvaires de la mineuse de la tomate *Tuta absoluta*. En effet, les principaux résultats se résument comme suit :

- ✓ *Btk* a un effet pathogène sur les larves de *Tuta absoluta* ;
- ✓ Les doses les plus importantes (létales) de *Btk* sont à partir de 0.500 g/l ;
- ✓ Le temps de mortalité induite par l'infection varie d'un stade larvaire à l'autre, il est plus court chez les deux premiers stades et il varie de deux (2) à six (6) jours. Ce temps léthal est vraisemblablement en relation avec les caractéristiques physiologiques et histologiques de l'insecte.

Les analyses statistiques montrent aussi que la dose 0.500 g/l forme seule un groupe avec un taux de mortalité moyen égale 36.04 deux jours après l'application du traitement *Btk* et un autre groupe avec 53.61 % après quatre jours.

L'ensemble des résultats exposés pourra servir à réfléchir sur une stratégie de lutte optimisée. La lutte chimique est signalée comme difficile étant donné le développement endophyte de la larve (dans la feuille, la tige ou le fruit); de plus l'usage continu et répété d'insecticides a causé l'apparition de populations locales résistantes. Il serait, dans ce cas judicieux d'avoir recours à une lutte intégrée englobant les techniques culturales, le piégeage de masse, les lâchers de trichogrammes oophages ou de punaises prédatrices et en dernier lieu utiliser les traitements insecticides avec des molécules qui ne soient pas toxiques vis à vis des auxiliaires présents dans l'environnement.

Mais dans tous les cas et quelque soit la région, les pièges Delta doivent être mis en place afin de détecter les premiers adultes. Un suivi régulier est primordial. Il est indispensable de privilégier en début d'infestation ou en début de culture une vigilance accrue en particulier dans la zone proche des parois nord-ouest de la serre, zone d'apparition des premiers dégâts.

Le phénomène de parthénogenèse chez *T. absoluta* devrait encore faire l'objet de recherches futures, dans le but de déterminer sa viabilité en conditions réelles et son impact sur le piégeage massif à base de phéromones.

Ce travail aussi modeste qu'il soit pourra ouvrir de nouvelles perspectives d'études de la biologie de *Tuta absoluta*, à une échelle plus fine, s'intéressant surtout au nombre de générations, le taux de survie ainsi qu'au développement de parasitoïdes pour tester leurs efficacité dans nos conditions. Nous suggérons la conjugaison des efforts des chercheurs pour trouver des solutions raisonnables pouvant venir à bout de ce ravageur important qui menace l'agriculture ; les travaux ultérieurs tenteront, sans aucun doute, de répondre à ces préoccupations.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ADEOYE I. B., ODELEYE O. M. O. & al. (2009). "Economic Analysis of Tomato Losses in Ibadan Metropolis, Oyo State, Nigeria." African Journal of Basic & Applied Science **1** (5-6): 87-92.

AGAISSE H. & LERECLU D. (1996). Génétique moléculaire de *Bacillus thuringiensis*. Ann. Inst. Pasteur, 7, pp. 261-269

AKHURST R., JAMES B. & BIRD L. (2001). Resistance to Inguard cotton by the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner). CSIRO Entomology, Camberra, 5 p.

ALABOUVETTE C., ALBAJES R., IAN BEDFORD., INNES J., GABARRA R., GULLINOM.L., NICOT P. & TROTTIN Y. (2003). Colloque international tomate sous abri : protection intégrée, Agriculture biologique, Ed. INRA, CTIFL (Centre Technique Professionnel des Fruits et Légumes), Provence-Alpes-Côte d'Azur, Agropac .232p.

AMAZOUZ S. (2008). Koppert Biological systems Maroc – Gestion en lutte intégrée de la mineuse de la tomate *Tuta absoluta*.

ANONYME (1979). Les cultures Maraichères en Algérie C.E.D.R.A.T, I.D.C.M, Staouali, Tome1, le Maraichage en Algérie, 1957.

ANONYME (2008). Nouveau déprédateur de la tomate : Etat des lieux et programme d'action Note de l'institut National de protection des Végétaux, Ministère de l'Agriculture, Algérie, Juillet 2008, 11pages.

ANONYME (2011). Nouveau déprédateur de la tomate : Etat des lieux et programme d'action Note de l'institut National de protection des Végétaux, Ministère de l'Agriculture, Algérie, Juillet 2011, 11pages.

ANONYME₁ (2009). Production agricole, superficies. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural. Alger, 18p.

ANONYME₁ (2010). La classification de la mineuse de la tomate sur le site : [www.http://fr.wikipedia.org/wiki/fichierTomatoes-on-the-bush.jpg](http://fr.wikipedia.org/wiki/fichierTomatoes-on-the-bush.jpg).

ANONYME₂ (2009). Production agricole, superficies. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural. Alger, 18p.

ANONYME₂ (2010). *Tuta absoluta*, Mineuse de la tomate sur le site : www.tutabsoluta.fr/profildinsecte.php?lang=fr.

€

ANONYME₃ (2009). Cultures maraichères. Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales. ONTARIO. 10p.

ANONYME₃ (2010). Mineuse de feuilles de tomate, *Tuta absoluta* (Lépidoptère : Gélechiidae) sur le site : [www.russellipm-agriculture.com/solution.php?id-ctg=2...\(Royaume-Uni\)](http://www.russellipm-agriculture.com/solution.php?id-ctg=2...(Royaume-Uni)).

- ARNO J. & GABARRA R. (2011).** Lutte contre *Tuta absoluta*, un nouveau ravageur qui envahit l'Europe. ENDURE, Formation en Lutte Intgrée - No. 5, Edition IRTA, Cabrils, Espagne, 8p.
- ARONSON A.I., BECKMAN W. & DUNN P. (1986).** *Bacillus Thuringiensis* and related insect pathogens. Microbial. Rev. 50 : 1-24.
- ATHERTON D .G. & HARRIS G.P. (1986).** Flowering in the tomato crop. A scientific basis for improvement. Ed. ATHERTON J.G and RUDICH J.London, New York. pp167-200.
- BADAOUI M.I. & BERKANI A. (2010).** Morphologie et comparaison des appareils génitaux de deux espèces invasives *Tuta absoluta* Meyrick 1917 et *Phthorimaea operculella* Zeller 1873 (Lepidoptera: Gelechiidae). *Entomologie faunistique – Faunistic Entomology* 63(3), p. 191-194.
- BALASUNDRAM N., SUNDRAM K. & SAMMAN S. (2006).** Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *FoodChemistry*. 99:191–203.
- BARRIENTOS Z.R., APABLAZ A., NORERO H.J.S.A. & ESTAY P.P. (1998).** Threshold temperature and thermal constant for development of the South American tomato, *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae), ciencia e Investigation Agraria 25,133-137.
- BATALLA-CARRERA. L., MORTON A. & GARCIA-DEL-PINO. (2010).** Efficacy of entomopathogenic nematodes against the tomato leafminer *Tuta absoluta* in laboratory and greenhouse conditions. *Bio Control*. 55(4):523 – 540.
- BATTISTI A., STASTNY M., BUFFO E. & LARONSSON S. (2006).** A rapid altitudinal range expansion in the pine processionary moth produced by the 2003 climatic anomaly. *Global Change Biology*, 12, 662-671.
- BEEVERS M. (1990).** Effects of *Bacillus thuringiensis* subsp. *Kurstaki* on the insect egg parasitoid, *Trichogramma pretiosum*. Final Report. Agricultural Research, Inc. 41 p.
- BEHLE R. W., MCGUIRE M.R. & SHASHA B. S. (1997).** Effects of sunlight and simulated rain on residual activity of *Bacillus thuringiensis* formulations. *Journ. Econ. Entomol.* 90 : 1560-1566.
- BENTVELSEN C.L.M. (1980).** Réponses des rendements à l'eau. Ed. Dunod. 235 p.
- BENYAHIA S., 2015.** Activités antimicrobiennes et insecticides de *Thymus capitatus*, *Daucus crinitus* et *Tetraclinis articulata* sur la mineuse *Tuta absoluta* (Meyrick) et la microflore pathogène de la tomate *Lycopersicum esculentum*. Thèse doctorat. UNIVERSITE ABOU-BAKR BELKAID TLEMCEN. Faculté des SNV et STU, Tlemcen, 163 p.
- BENZARA A., SELMANE F., & SAHRAOUI L. (2014).** Utilisation de quatre types de piégeage pour l'étude de la dynamique des populations de *tuta absoluta* (meyrick, 1917) (lepidoptera : gelechiidae). Dixième conférence internationale sur les ravageurs en agriculture. Montpellier, 22 et 23 octobre 2014..
- BLANCARD D. (2009).** Les maladies de la tomate : identifier, connaître, maîtriser. Édit. Quae, France. 679 p.

- BOGORNI SILVA P.C.R.A., & CARVALHO G.S. (2003).** Leaf mesophyll consumption by *Tuta absolut* (Meyrick,1917) in three cultivars of *Lycopersicon esculentum* Mill.Ciencia rural, Santa maria: V. 23 N°1, pp.7-11.
- BRAVO A., GILL S.S., & SOBERON M. (2007).** Mode of action of *Bacillus thuringiensis* Cry and Cyt toxins and their potential for insect control. *Toxicon*. **49**: 423-435.
- CAFFARINI P.M., FOLCIA A.M., PANZARDI S.R. & PEREZ A. (1999).** Incidencia de bajos niveles de daño foliar de *Tuta absoluta* (Meyrick) en tomate, Bol. San. Veg Plagas, vol. 25, pp. 75.
- CAPARROS MEGIDO R., HAUBRUGE E. & al. (2012).** "First evidence of deuterotokous parthenogenesis in the tomato leafminer, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae)." *Journal of Pest Science* **85**(4): 409-412.
- CAUSSE M., SALIBA-COLOMBANI V., LECOMTE L., DUFFE P., ROUSSELLE P. & BURET M. (2002).** QTL analysis of fruit quality in fresh market tomato: a few chromosome regions control the variation of sensory and instrumental traits. *J Exp Bot*. **53**:2089-2098.
- CHAUMENT M. (1971).** Les influences des régimes climatiques en France, en Espagne, et en Afrique du nord et leurs conséquences hydrologiques. Ed Mangin
- CHAUX C. & FOURY C. (1994).** Production légumières, tome 3 : légumineuses potagères, légumes fruits, Tec & Doc - Lavoisier, Paris 1994, 214p.
- CHIRON F. (2012).** "La tomate en 2011 - Bilan de campagne." FranceAgriMer. Consulté le 29 Avril 2013, depuis http://www.franceagrimer.fr/content/download/19398/156631/file/BIL-TOMATE_camp%202011.pdf.
- CIRAD** (Organisme, France Ministère des affaires étrangères, Cirad, centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement France, et **GRET**, groupe de recherche et d'échanges technologique, ministère des affaires étrangère). (2002). Mémento de l'agronomie. (ed). Quae.p.1045-1046.
- CLEMENT J. M. (1981).** Dictionnaire des industries alimentaires. Ed. Masson; 1146p.
- CRICKMORE N., ZEIGLER D.R., FEITELSON J., SCHNEPF E., RIE J. V., LERECLUS D., BAUM J. & DEAN D.H. (1998).** Revision of the nomenclature for the *Bacillus thuringiensis* pesticidal crystal proteins. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* **62**: 807-813.
- DELARRAS C. (2007).** Microbiologie pratique pour le laboratoire d'analyses ou de contrôle sanitaire. Edition TEC& DOC.Lavoisier.
- DESNEUX N., WAJNBERG E. & al. (2010).** "Biological invasion of European tomato crops by *Tuta absoluta*: Ecology, geographic expansion and prospects for biological control." *Journal of Pest Science* **83**(3): 197-215.
- DOORENBOS J. (1975).** Bulletin FAO d'irrigation et de drainage. Station Agro-météorologie. 20p.
- DROUAI H. (2011).** Comportement de *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) vis-à-vis de trois variétés de tomate dans la région de Biskra. Thèse Magister, Ecol. Nat. Super. Agro., El Harrach, 83p.

- DULMAGE H.T., & AIZAWA K. (1982).** Distribution of *Bacillus thuringiensis* in nature. In: Microbial and viral pesticides (Edited by E. Kurstak). Marcel Dekker, New York. pp. 209-237.
- DUMORTIER P., EVRAD M., MAICHE M., NICOLAS A., DE RIDDER C. & COSTA SANTOS BALTAZAR S. (2010).** Biodiversité chez la tomate, stratégie de conservation et valorisation de collection « luc fichot ». Rapport final, Phytotechnie et horticulture. Gembloux agro bio tech., 105 p.
- DUPONT F. & GUIGNARD J.-L. (2012).** Botanique. Les familles de plantes. 15^{ème} édition, ELSEVIER MASSON.300p.
- EPPO (2008).** Eppo reporting service-pests and Diseases, n°9, 24 pages.
- ESTAY P. (2000).** Pollila del tomato *Tuta absoluta* (MEYRICK).Informativo, la Platina.Insti-Investigation agro-pecuria, centro region-investig. La Platina. 1-4p.
- FAO. (2008).** L'actualité agricole en méditerranée. Ed. CIHEAM, 33p.
- FAOSTAT (2013).** Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture. <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>
- FAUVEL G., MALAUSA J.C. & KASPAR B. (1987).** Étude en laboratoire des principales caractéristiques biologiques de *Macrolophus caliginosus* (Heteroptera: Miridae). Entomophaga, 32 (5), 529–543.
- FAVIER J., IRELAND-RIPERT J., TOQUE C. & FEINBERG M. (2003).** Répertoire Général des Aliments. Ed. Ciqual. pp40-48.
- FERRE J. & VAN RIE J. (2002).** Biochemistry and genetics of insect resistance to *Bacillus thuringiensis*. *Annu. Rev. Entomol.* 47, 501-533.
- FERRERO M. (2009).** Etude de la variabilité des comportements alimentaires du prédateur et conséquences pour la lutte biologique. Thèse doctorat. Montpellier SupAgro., 228 p.
- FILHO M. M., VILELLA E. F., JHAM G. N., ATTYGALLE A., SVATOS A. & MEINWALD J. (2000).** Initial studies of mating disruption of the tomato moth, *Tuta absoluta* (Lepidoptera, Gelechiidae) using synthetic sex pheromone. *J Braz. Chem. Soc.* 11 (6): 621 – 628
- FREDERIKSEN K., ROSENQUIST H., JORGENSEN K. & WILCKS A. (2006).** Occurrence of natural contaminants and residues of *Bacillus thuringiensis* based insecticides on fresh fruit and vegetables. *Appl. Environ. Microbiol.* 72: 3435–3440.
- FREDON CORSE. (2008).** *Tuta absoluta* (Meyrick) la mineuse de la tomate. Teghia BP 15-20117 CAURO. 2pages.
- FREEMAN BB. & REIMERS K. (2010).** American Journal of Lifestyle Medicine, 1-10.
- GALLAIS A. & BANNEROT H. (1992).** Amélioration des espèces végétales cultivées. Objectif et critères de sélection. INRA, Paris. 765p.
- GARCIA M.F. & ESPUL J.C. (1982).** Bioecology of the tomato moth (*Scrobipalpa absoluta*) in Mendoza, Argentine Republic. *Revista de investigaciones Agropecuarias* 17, 135-146.

GHONEIM K. (2014). Parasitic insects and mites as potential biocontrol agents for a devastive pest of tomato, *tuta absoluta* meyrick (lepidoptera: gelechiidae) in the world: a review, journal of Entomology and Zoology Studies, **IJRRAS**. Vol19. Islambad. P.36-68.

GILLIAN F. (2009). La mineuse de la tomate. Cycle évolutif et Stratégies de protection des tomates de serreau canada. <http://www.omafra.gov.on.ca> .

GIMENEZ R.A. (2008). Efficacy imidacloprid to control the tomato bores (*T.absoluta* Meyrick), Volume 26, N°1, p65-72.

GIROUX S., CODERRE D., VINCENT C., & COTE J.-C. (1994). Effects of *Bacillus thuringiensis* var. *san diego* on predation effectiveness, development and mortality of *Coleomegilla maculata lengi* (Col.: Coccinellidae) larvae. Entomophaga 39(1): 61-69.

GONZALES R. H. (1989). Insectos y ácaros de importancia en chilesantiago. Universidaa de chile del tomate. 310p.

GUENAOUI Y. & GHELMALLAH A. (2008). *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera :Gelechiidae) nouveau ravageurde la tomate en Algérie premières donnessor sa biologie en fonction de la température :AFPP-8^{ème} conférence internationale sur les ravageurs en agriculture, Montpellier-22 et 23 octobre 2008.8pages.

GUENAOUI Y. (2008). Nouveau ravageur de tomate en Algérie. Première observation de *Tuta absoluta*, mineuse de la tomate invasive, dans la région de Mostaganem. Phytoma, p. 18-19.

GUENAOUI Y., BENSAAAD D., OUEZZANI K. & VERCHER R. (2011). Perspectives d'utilisation des entomophages autochtones pour lutter contre *Tuta absoluta* MEYRICK (Lepidoptera : Gelichiidae) sur tomate sous abri non chauffé dans la région Nord-Ouest d'Algérie. Atouts et contraintes. AFPP. Neuvième conférence internationale sur les ravageurs en agriculture. Montpellier 26 et 27 octobre 2011.

GUENDOUZ - BENRIMA A., DRIDI B., KHELADI O. & OUDOUID A. (2009). Pullulation de la mineuse de la tomate (*Tuta absoluta*) sur les cultures maraichères de la côte algéroise (Algérie). *Colloque international sur la gestion des risques phytosanitaires*. Marrakech, Maroc, 9 - 11 Novembre 2009.

GUISTOLINE T.A., VENDRAMIM J.D. & PARRA J.R.P. (2002). Number of larval instars of *T.absoluta* (Meyrick) in tomato genotypes, Scientia Agricola, V.59, n°2, p.393-396.

GUNNING R V., MOORES G. D. & DEVONSHIRE A. L. (1996). Esterase and fenvalerate resistance in Australian *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). *Pesticide biochemistry andphysiology*, 54 (1), 12-23.

HEAD, D. J., MCCAFFERY, A. R & CALLAGHAN A. (1998). Novel mutations in the parahomologous sodium channel gene associated with phenotypic expression of nerve insensitivity resistance to pyrethroids in Heliiothine Lepidoptera. *Insect Mol. Biol.*7: 191-196.

HMIMINA M. (2009). La mineuse de la tomate (*Tuta absoluta* Meyrick). Elements de biologie et bases pour la lutte. Agriculture du Maghreb no. 37, 54-59.

HOFTE H. & WHITELEY H. R. (1989). Insecticidal crystal proteins of *Bacillusthuringiensis*. *Microbiological Reviews*, 53, 242-252.

- HUAT J. (2008).** Diagnostic sur la variabilité des modes de conduite d'une culture et de leurs conséquences agronomiques dans une agriculture fortement soumise aux incertitudes : cas de la tomate de plein champ à Mayotte. Thèse doctorat. L'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement, Agro Paris Tech., 264 p.
- JOHNSON D.E. & MCGAUGHEY W.H. (1996).** Contribution of *Bacillus thuringiensis* spores to toxicity of purified cry proteins towards indianmeal moth larvae. *Curr Microbiol* 33(1): 54–59
- KAOUTHAR L. G., MANEL S. & al. (2011).** "Lutte intégrée contre la mineuse de la tomate, *Tuta absoluta* Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae) en Tunisie." *Entomologie faunistique - Faunistic Entomology* 63(3): 125-132.
- KHARRAT S. & JARRAYA A. (1995).** Lien entre la préférence d'oviposition et la performance subséquente des larves chez la mineuse des agrumes *Phyllocnistis citrella* Stainton [Lepidoptera : Gracillariidae]. *Phytoprotection* (86) : 25-29
- KHELLAF N. (2011).** *Contribution à la lutte intégrée contre la mineuse de la tomate Tuta absoluta (Meyrick, 1917) (Lepidoptera : Gelechiidae) sous serre.* Thèse Magister, Ecol. Nati. Super. Agro., El Harrach, 69p
- KOLEV N. (1976).** Les cultures maraîchères en Algérie. Tome I. légumes Fruits. Ed. Ministère de l'Agriculture et des réformes agricoles. 52p.
- KOPPERT (2013).** "*Tuta absoluta*." Koppert Biological Systems. Consulté le 21 Mai 2013, depuis <http://www.koppert.fr/ravageurs/chenilles-papillonslepidopteres/tuta-absoluta>.
- KOTIRANTA A., LOUNATMAA K. & HAAPASALO M. (2000).** Epidemiology and pathogenesis of *Bacillus cereus* infections. *Microbes and Infection* 2: 189-198.
- LACORDAIRE A. & FEUVRIER E. (2010).** *Tuta abosluta* : Suivi de 16 exploitations de production de tomate pour savoir où et comment chercher pour trouver *Tuta* tôt et tester un prédateur. *Phytoma, La défense des végétaux.* 632 : 40 - 44.
- LAMBERT L. (2006).** Lutte anti insectes appliquée aux tomates de serre, MAPAQ ; (QC). Profil de la culture des tomates de serre au Canada. Programme de réduction des risques liés aux pesticides. Centre pour la lutte antiparasitaire. Agriculture et agroalimentaire. Canada. Aout 2006.
- LAMBION J. & AMOUR C. (2009).** Biodiversité fonctionnelle : bénéficiaire des prédateurs naturels d'aleurodes et tétranyques. *PHM*, n° 510, pages 15-18.
- LAUMONIER M. (1979).** Culture légumière et maraichères 3^{ème} Ed, TIII, paris, 246p.
- LEBDI GRISSA K., SKANDER M., MHAFDHI M., & BELHADJ R. (2010).** "Lutte intégrée contre la mineuse de la tomate, *Tuta absoluta* Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae) en Tunisie." *Entomologie faunistique - Faunistic Entomology* 63(3): 125-132.
- LEBOEUF J.M., CUPPELS D. & JIM D. (2005).** Agriculture et Agroalimentaire, tomate solution, Ron Pitblado, Collège de Ridgtown, Steve Loewen, Canada. pp25.
- LEITE G.L.D. (2003).** Intensity of *T.absoluta* (Meyrick, 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae) and *Liriomyza spp.* (Diptera: Agromyzidae) attacks on *Lycopersicum esculentum* Mill.Leaves.Ciênc.Agrotec, Lavras, V.28, n.1, p.42-48.

- LEONG K.L.H., CANO, R.J. & KUBINSKI A.M. (1980).** Factors affecting *Bacillus thuringiensis* total field persistence. Environ. Entomol. 9(5): 593-599.
- LIETTI M.M.M. (2005).** Evaluation de la Resistencia a insecticidas en poblaciones Argentinas de la palilla del tomate *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917). Tesis presentada da para obtener el titulo de Magiste, en contrôle de plagas y su impacto ambientales. Universidad National De General San Martin, Argentinas 91pages.
- LUNA M.G., SANCHEZ N.E. & PEREIRA P.C. (2007).** Parasitism of *T.absoluta* (Lepidoptera: Cheliidae) by pseudapanteles dignus (Hymenoptera, Braconidae) under Laboratory conditions: Entomological Society of America Environ Entomol, 36(4):887-893.
- MAHDI K. (2011).** Quelques aspects de la bio écologie de la mineuse de la tomate *Tuta absoluta* (Povolny, 1994) et essai de lutte dans l'Algérois. Thèse Magister, Ecol. Nati. Sup. Agro., El-Harrach, 284 p.
- MARCANO R. (2008).** Minador pequenô de la hoja del tomate ; palomilla pequena, Minador del tomate *Tuta absoluta* (Meyrick). Plagas Agrícolas de Venezuela. In. <http://www.plagas-agricolas.info.ve/fichas>.
- MARGARIDA M. (2008).** Mineira do tomateiro. Une nova ameaça a producao de tomate. V seminario internacional do tomate de industria, mora, 23 de fevereio de 2008. In. Eppo.org/EPPORreporting/208Rsf-0801.pdf (Juin 2008).
- MAZLIAK A. (1982).** Croissance et développement (Physiologie végétale). Paris. p 465.
- MENG F., SHEN J., ZHOU W. & CEN H. (2004).** Long-term selection for resistance to transgenic cotton expressing *Bacillus thuringiensis* toxin in *Helicoverpa armigera* (hubner) (Lepidoptera: Noctuidae). *Pest Maneg. Sci.* **60**: 167-172.
- MENON A. S. & DEMESTRAL J. (1985).** Survival of *Bacillus thuringiensis* var. Kustaki. *Water, Air and Soil Pollution*, 25, 265-274.
- MESSAIEN C.M., BLANCARD D., ROUXEL F. & LAFON R. (1991).** Les maladies des plantes maraîchères, INRA, Paris, 1991, p. 183-194.
- MIRANDA M.M.M., PICANCO M., ZANUNCIO J.C. & GUEDES R.N.C. (1998).** Ecological life table of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae): Biocontrol Science and technology (8):597-606.
- MOLLA O., MONTON H., BEITIA F. & URBANIJA A. (2008).** La pollila del tomate, Una nueva plaga invasora, *Tuta absoluta* (Meyrick) Eds.Agrotécnicas, SL.CIF, B80194590 Terallia, 69.5pages.
- MONSERRAT DELGADO A. (2009).** La polilla dei tomate "*Tuta absoluta*" en la region de Murcia. ' Bases para su control. 74p.
- MORLEY P. S., CUTHBERTSON A. G. S. & al. (2011).** "Development rate of *Tuta absoluta* under UK glasshouse conditions." Agriculture and Horticulture Development Board. Consulté le 8 Juin 2013, depuis http://www.hdc.org.uk/sites/default/files/research_papers/PE%20002%20Final%20report.doc

- MUNRO D B. & SMALL E. (1998).** Les légumes du Canada .NRC Research Press.
- MUTIN G. (1977).** La Mitidja. Ed ; O.N.R.S., Paris, 607 pages.
- NAIKA S., LIDT J., GOFFAU M., HILMI M. & DAM B. (2005).** La culture de la tomate production, transformation et commercialisation- Ed. Fondation Agromisa et C.T.A., 105 p.
- NAVA D.E., PARRA J.R.P., DIEZ-RODRIGUEZ G. & ES BENTO J.M.S. (2005).** Oviposition behavior of *Stenomoma catenifer* (Lepidoptera: Elachistidae): chemical and Physical Stimuli and Del pattern of Egg Laying: *Ann.Entomol. Soc.Am.*98 (3):409-414.
- NESTER E. W., THOMASHOW L. S., METZ M. & GORDEN M. (2002).** 100 Years of *Bacillus thuringiensis*: A critical Scientific Assessment. *American Acad. Microbiol.*
- NIEDMANN L.L. & MEZA-BASSO L. (2006).** Evaluación de cepas nativas de *Bacillus thuringiensis* como una alternativa de manejo integrado de la polilla del tomate (*Tuta absoluta* Meyrick; Lepidoptera: Gelechiidae) en Chile. *Agric Te'c* 66:235–246.
- NOTIN C. (2006).** Comment *Bacillus thuringiensis* tu t'il les insectes. Extrait de BE-Etat Unis, N°49, 6p.
- NOTZ A.P. (1992).** Distribution of eggs and larvae of *Scrobipalpula absoluta* in potato plants. *Revista de la Facultad d'Agronomia (Maracay)* 18.425-432.
- OEPP/EPPPO (2005).** "Data sheets on quarantine pests: *Tuta absoluta*." *EPPPO Bulletin* 35(3): 434-435.
- OLIVEIRA C.R.F., CYSNEIRES M.C.H. & HATANO EDUARDO. (2007).** Occurrence of pymotes sp on *Tuta absoluta* (Meyrick): Brazilian Archives of biology and Technology . ISSN1516-8913.Vol.50.n.6:pp.929-932.
- OTVOS I.S. & VANDERVEEN S. (1993).** Environmental report and current status of *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*. Use for control of forest and agricultural insect pests. British Columbia Forestry Canada Rep.
- PEREIRA G.V.N. (2005).** Selecao para alto teor de Acilaçucares em gênerions de tomateiro esua relacao com a Resistencia ao acaro vermelho (*Tetranychus evansi*) e a traça (*T.absoluta*): Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras comoparte das exigências do programa de pos-graduação em Agronomia, area de concentração Genetica eMelhoramento de plantas, para a obtenção de titulo de « Doutor ».82pages.
- PEREIRA DOS S.J. (2008).** Incidence of adult males of tomato moth in conventional and integrated tomato production systems in caçador,SC: *Agropec.Catarin.*, v.21,n.1 : 66-73.
- PEREIRA P. C. & SÁNCHEZ N. E. (2006).** "Effect of two solanaceous plants on developmental and population parameters of the tomato leaf miner, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae)." *Neotropical Entomology* 35(5): 671-676.
- PERIAGO M. J., GARCÍA-ALONSO J., JACOB K., OLIVARES A. B., BERNAL A. J. & INIESTA M. D. (2009).** Bioactive compounds, folates and antioxidant properties of tomatoes perspectives de lutte biologique. *Conférence, AFPP, ENSA.INPV. El HARRACH Algérie.7 Phil.Trans. R. Soc. Lond. B.* 353: 1685-1693.
- PESSON P. & LOUVEAUX J. (1984).** Pollinisation et production végétales. Ed. INRA. 663p.

- PINNOCK D.E., BRAND J.R. & MILSTEAD J.E. (1971).** The field persistence of *Bacillus thuringiensis* spores. *J. Invertebr. Pathol.* 18: 405-411.
- PIRES D.S.L.M. (2008).** Effects of the fungi *Metarhizium anisopliae* (METSCH) SOROK and *Beauveria bassiana* (BALS) VUIL on *Tuta absoluta* (Meyrick) and their compatibility with insecticides: Tese apresentada ao programa de pos-Graduação em Entomologia Agrícola, da Universidade Federal Rural de pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Dautor em Entomologia Agrícola. Recife-Pe e Fevereiro-2008. 72pages.
- PITRAT M. & FOURY C. (2003).** Histoires de légumes – Des origines à l’orée du XXI^e siècle. Versailles. *INRA Editions.* 412p.
- POLESE J.M. (2007).** La culture des tomates. Amazon France paris. Edit.n^o1, volartemis. polliladel tomate, *Tuta absoluta*. *Phytoma Espana* no. 194, 16-23.
- POVOLNY D. (1994).** On three neotropical species of Gnorimoshemini (Lepidoptera : Gelechiidae) mining Solanaceae. *ACTA Universalis Agriculturae*, 23, 379-393.
- RAEMAEEKERS R. (2001).** Agriculture en Afrique tropical. Direction générale de la coopération internationale. Quae, France. 679 p.
- RAMADE F. (1984).** Eléments d’écologie – écologie fondamentale. Ed. Mc Graw- Hill, Paris, 397 p.
- RAMEL J.M. (2010).** *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917). L.N.P.V.Station d’entomologie Montpellier RHM: *Revue Horticole* n^o512, 23-25.
- RECKHAUS P. (1997).** Maladies et Ravageurs des cultures maraîchères, Margraf Verlag, GTZ, Allemagne. 1274-3.
- REY et COSTES, 1965.** Physiologie de la tomate. Edition I.N.R.A.Versailles PARIS 1965.
- RODRIGUEZ M.S., GERDING M.P. & FRANCE A. (2006).** Entomopathogenic fungi isolates selection for egg control of tomato moth, *T.absoluta* Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae) eggs: *Agricultura Tecnica* (CHILE) 66(2):0151-158.
- SALEH S.M., HARRIS R.F. & ALLEN O.N. (1970).** Fate of *Bacillus thuringiensis* in soil: effect of soil pH and organic amendment. *Can. J. Microbiol.* 16: 677-680.
- SALVO A. & VALLADARES G.R. (2007):** Leafminer parasitoids and pest management: *Cien.Inv.Agr.*34 (3):167-185.
- SARA H. C., ANDREW R., BEL Y. & FERRE J. (2004).** Isolation and toxicity of *Bacillus thuringiensis* from potato-growing areas in Bolivia. *J. Invertebr. Pathol.* 88 : 8-16.
- SCHNEPF E., CRICKMORE N., VAN RIE J., LERECLUS D., BAUM J., FEITELSON J., ZEIGLER D. R. & DEAN D. H. (1998).** *Bacillus thuringiensis* and its pesticidal crystal proteins. *Microbiol.mol. Biol. Rev.* 62: 775-806.
- SHANKARA N., VAN DAM B. & FLORIJN A. (2005).** La culture de la tomate, production, transformation et commercialisation, cinquième édition révisée, *Agromisa Foundation, coll. « Agrodok »*, Wageningen, 105 p.

- SHARONI Y. & LEVI Y. (2006).** Cancer prevention by dietary tomato lycopene and its molecular mechanisms. In A. V. Rao. Ed. Tomatoes, lycopene & human health. Barcelona: Caledonian Science Press: 111–125p.
- SILVA S.S. (2008).** Fatores da biologia reprodutiva que influenciam o manejo comportamental de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lépidoptera : Gélechiidae) ; 2008, Reproductive biology factors influencing the behavioral management of *Tuta absoluta* (Meyrick)(Lepidoptera: Gelechiidae); dissertação apresentada ao programa de pos-Graduação em Entomologia Agrícola. Da universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de mestre em Entomologia Agrícola: RECIFE-PE Fevereiro-2008. 75pages.
- SIQUEIRA H.A., GUEDES R.N.C. & PICANCO M.C. (2000).** Insecticide resistance in populations of *Tuta absoluta* (Lepidoptera : Gelechiidae) Agricultural and forest Entomology, 2, 147-153.
- SUINAGA F.A. (2004).** Genetic divergence among tomato Leafminer populations based on AFLP analysis pesq. Agropec, bras, Brasília, V.39, n.7, p.645-651.
- TAMIETTI G. & CUGUDDA L. (1987).** Note sur les épidémies causées en Italie par deux bactéries phytopathogènes dans les cultures de tomates sous abri. Bulletin OEPP/EPPO. 27: 295-297.
- TESTA R., TRAPANI A.M., SGROI F. & TUDISCA S. (2014).** *Sustainability*, 6, 7967-7981.
- THOMAS W. E. & ELLAR D. J. (1983).** Mechanism of action of *Bacillus thuringiensis* var. *israeliensis* insecticidal delta-endotoxin. *FEBS Letters*, 154, 362-368.
- TORRES J.B., EVANGELISTA W.S., BARRAS J.R. & GUEDES R.N.C. (2002).** Dispersal of *Podius nigrispinus* (Het., Pentatomidae) nymphs preying on tomato leaf miner. Effect of predator release time, density and satiation level. *J. Appl. Ent.* 126, 326-332.
- TORRES J.B., FARIA C.A., EVANGELISTA W.S. & PRATISSOLI D. (2001).** Within-plant distribution of the leaf miner *Tuta absoluta* (Meyrick) immatures in processing tomatoes, with notes on plant phenology. *International Journal of Pest Management* 47(3), p. 173-178.
- TRAN VINH LIEM (1977).** Morphologie des pièces génitales et nervation alaire des principales pyrales foreurs du riz en Côte d'Ivoire. Description de quelques hyménoptères parasites. *Cahiers ORSTOM, série Biologie* 12, p. 29-45.
- TRONICKOVA A. (1986).** Plantes protégées. Ed. Griind, paris, 223p.
- TROTTIN CAUDAL Y., CHABRIERE C. & TERRENTROY A. (2010).** *Tuta absoluta* Biologie du ravageur et stratégies de protection : Situation actuelle et perspectives. *Carquefou*, 29 p.
- URBANEJA A., MONTON H. & MOLLA O. (2008).** Suitability of the tomato borer *Tuta absoluta* as prey for *Macrolophus pygmaeus* and *Nesidiocoris tenuis*. *Journal of Applied Entomology*. DOI:10.1111/j.1439-0418.2008.01319.X. 5pages.
- URBANEJA A., MONTON H. & MOLLA O. (2009).** Suitability of the tomato borer *Tuta absoluta* as prey for *Macrolophus caliginosus* and *Nesidiocoris tenuis*. *J Appl Entomol* 133:292–296.

USDA (United States Department of Agriculture) (1995). Gypsy moth management in the United States: a cooperative approach. Final environmental impact statement. USDA, Forest Service, Northeastern Area State and Private Forestry. Radnor, PA.

USDA-APHIS (2011). "New Pest Response Guidelines : Tomato Leafminer (*Tuta absoluta*)."
USDA-APHIS-PPQ-EDP-Emergency Management.

UYS M.D.R., THOMPSON A.H. & HOLZ G. (1996). Diseases associated with tomato in the main tomato growing of South Africa. *J. S. Afr. Soc. Hort. Sci.* **6**: 78–81.

VALLADARES G.R. (2007). Leafminer parasitoids and Pest management: *Cien.Inv.Agro* 34(3): 167-185.

VASSAL J.M. (2004). *Bacillus thuringiensis*: mode d'action et résistance. Atelier Projet GERICO du 06 au 10 Décembre 2004 (CDROM).

VERCHER R., CALABUIG A.Y. & FELIPE C. (2010). Ecologia, muestreos y umbrales de *Tuta absoluta* (Meyrick). *Phytoma Espana*, 217 : 23 – 26

WANG K .G., FERGUSON A. & SHIPP J.L. (1998). Incidence of tomato pinworm keiferia *Lycopersicollor walsingham*(Lepidoptera Géléchiidae) on green house tomato in southern Ontario and its control using mating description. Pp 122-136.

WELTY N., Radovich C., MEULIA T. & VAN DER KNAAP E. (2007). Inflorescence development in two tomato species [archive], *Canadian Journal of Botany* 85(1): 111–118.

WHALON M.E. & MCGAUCHEY W.H. (1998). *Bacillus thuringiensis*: use and resistance management. Insecticide with novel mode of action. *Spring.Ver.* 106-137.

YILMAZ E. (2001). *Turk J Agric For*, 25, 149-155.

YOUNG J. M., CHILCOTT C. N., BROADWELL A., WIGLEY P. J. & LECADET M. M. (1998). Identification of serovars of *Bacillus thuringiensis* Berliner 1915 in New Zeland. *New Zeland Journal ofCrop and Horticultural Science*, 26,63-68.

ZAMOUN M., DEMOLIN G. & MARTIN J.C. (2005). Lutte contre la processionnaire du pin : que deviennent les chenilles survivantes après un traitement au Bt aux stades L3 et L4. *Phytoma – la défense des végétaux* 585 : 38-41.

ZUANG A. (1982). La fertilisation des cultures légumières. Ed I: N.V.U.F.L.E.C, Paris 393p.

ANNEXES

Annexe 1

Données de toxicité du *Bacillus tfturingiensis* ssp. *kurstaki*

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

(Adapté de USDA, 1995)

Annexe 2

Formulations commerciales de *Bacillus thuringiensis*

Sous-espèce	Fabricant	Produit
<i>kurstaki</i>	Abbott Laboratories Bactec Corp. Becker Microbial Products, Inc. Ecogen Inc. Forward International Ltd. Thermo Trilogy Sanex Inc. Tecomag Troy Biosciences Inc. Mycogen Corp.	Boibit, DiPel, Foray Bactec Bernan BMP 123 Condor, Crymax, Cutlass, Raven Forwabit Costar, Javelin, Thuricide, Vault Bactosid K Agrobac Troy-BT MVP, MVP II, M-Peril
<i>israelensis</i>	Abbott Laboratories Becker Microbial Products, Inc. Sanex Inc.	Bactimos, Gnatrol, Skeetal, VectoBac Aquabac, Aquabac Primary Powder Vectocide
<i>tenebrionis</i>	Abbott Laboratories Mycogen Corp.	Novodor M-track
<i>aizawai</i>	Abbott Laboratories Thermo Trilogy Mycogen Corp.	Xen Tari Agree, Design Match
<i>morrisoni</i>	Bactec Corp.	Bactec Bernan

(Adapté de *Farm Chemicals Handbook*, 1997)

Annexe 3

**NOUVELLE CLASSIFICATION DE CERTAINES DELTA-
ENDOTOXINES DE BACILLUS THURINGIENSIS**

Nom	Ancien nom	Taille (Da)	Activité
Cry1Aa1	Cry IA(a)	133500	Lépidoptères
Cry1Ab1	Cry IA(b)	130615	Lépidoptères
Cry1Ac1	Cry IA(c)	131000	Lépidoptères
Cry1Ad1	Cry IA(d)	131000	Lépidoptères
Cry1Ae1	Cry IA(e)	131000	Lépidoptères
Cry1Ba1	Cry IB	136500	Lép./Coléopt
Cry1Bb1	ET5	136500	Lépidoptères
Cry1Bc1	Cry IB(c)	138000	Lépidoptères
Cry1Ca1	Cry IC	132000	Lépidoptères
Cry1Cb1	Cry IC(b)	130500	Lépidoptères
Cry1Da1	Cry ID	129500	Lépidoptères
Cry1Db1	PrtB	129000	Inconnue
Cry1Ea1	Cry IE	133236	Lépidoptères
Cry1Eb1	Cry IB(b)	130500	Lépidoptères
Cry1Fa1	Cry IF	130500	Lépidoptères
Cry1Fb1	PrtD	131000	Inconnue
Cry1Ga1	PrtA	129500	Inconnue
Cry1Ha1	PrtC	130000	Inconnue
Cry1Ia1	Cry V	81200	Lép./Coléopt
Cry1Ib1	Cry V	80000	Inconnue
Cry1Ja1	ET4	129500	Lépidoptères
Cry1Jb1	ET1	131000	Lépidoptères
Cry1Ka1	Cry I	-	Inconnue
Cry2Aa1	Cry IIA	70500	Lép./Coléopt
Cry2Ab1	Cry IIB	70500	Lépidoptères
Cry2Ac1	Cry IIC	69000	Lépidoptères
Cry3Aa1	Cry IIIA	72500	Coléoptères
Cry3Ba1	Cry IIIB	74300	Coléoptères
Cry3Bb1	Cry IIIBb	72500	Coléoptères
Cry3Ca1	Cry IIID	73000	Coléoptères
Cry4Aa1	Cry IVA	134545	Diptères
Cry4Ba1	Cry IVB	126000	Diptères
Cry5Aa1	Cry VA(a)	153500	Nématodes
Cry5Ab1	Cry VA(b)	143000	Nématodes
Cry5Ba1	PS86Q3	139000	Coléoptères
Cry6Aa1	Cry VIA	52500	Nématodes
Cry6Ba1	Cry VIB	44000	Nématodes
Cry7Aa1	Cry IIIC	126500	Coléoptères
Cry7Ba1	Cry IIIC(b)	126500	Coléoptères
Cry8Aa1	Cry IIIE	128500	Coléoptères
Cry8Ba1	Cry IIIG	130000	Coléoptères
Cry8Ca1	Cry IIIF	127500	Coléoptères
Cry9Aa1	Cry IIG	128500	Lépidoptères
Cry9Ba1	Cry IX	127000	Lépidoptères
Cry9Ca1	Cry IH	129800	Lépidoptères
Cry10Aa1	Cry IVC	75000	Diptères
Cry11Aa1	Cry IVD	71500	Diptères
Cry11Ba1	Jeg80	-	Diptères
Cry12Aa1	Cry VB	139500	Nématodes
Cry13Aa1	Cry VC	89000	Nématodes
Cry14Aa1	Cry VD	132800	Coléoptères
Cry15Aa1	-	38000	Lépidoptères
Cyt1Aa1	CytA	27340	

Source : CRICKMORE *et al.* (1998)

Annexe 4

Données observées pour la génération de *T. absoluta* à 15 °C

	DV Œuf	DV Larve	DV Nymphe	DV Adulte	DV Total	Sexe
1	11	31	19	17	78	F
2	10	30	21	22	83	M
3	9					
4	9	29	20	18	76	F
5	10	32	21	22	85	M
6	9	31	20	17	77	F
7	8	34	20	22	84	M
8	9	32				
9	8	28	19	18	73	F
10	9	29	21	24	83	M
11	9	29	20	17	75	F
12	8					
13	10	31	18	16	75	F
14	9	30	19	17	75	F
15	8	32	20	23	83	M
16	9	31	21	23	84	M
17	9	31	21			
18	9	34	19	22	84	M
19	9	33				
20	10	31	19	18	78	F
21	9	35	18	21	83	M
22	10	33				
23	9	34	18	18	79	F
24	9	37	19			
25						

Annexe 5

Données observées pour la génération de *T. absoluta* à 25 °C

	DV Œuf	DV Larve	DV Nymphe	DV Adulte	DV Total	Sexe
1	7	15	7	16	45	M
2	6	14	8	16	44	M
3	6	14				
4	7	15	7	12	41	F
5	5					
6	6	16	7	11	40	F
7	6	15	7	12	40	F
8	5	16	8	15	44	M
9	6					
10	7	17	7	16	47	M
11	5	16	6	13	40	F
12	6	14	8	12	40	F
13	7	16				
14	6	15	6	13	40	F
15	8	14	8	11	41	F
16	4	15	6	12	37	F
17	7	15	7	16	45	M
18	5	12	8			
19	7	15	7			
20	6	14	6	13	39	F
21	5					
22	7	15	8	15	45	M
23	6	15	8	15	44	M
24	7	15	7	11	40	F
25	6	14	6	13	39	F

Annexe 6

Données observées pour la génération de *T. absoluta* à 30 °C

	DV Œuf	DV Larve	DV Nymphe	DV Adulte	DV Total	Sexe
1	3	11	6	7	27	F
2	4	10	7	6	27	F
3	4	11	7	11	33	M
4	3	11	6	7	27	F
5	3	11	5	11	30	M
6	4	10				
7	3					
8	3	12	6	6	27	F
9	4	11	5	11	31	M
10	4	12	6	10	32	M
11	5	11	5	5	26	F
12	3	10				
13	3	10	7	6	26	F
14	2	11	7	10	30	M
15	3					
16	3	9	5	7	24	F
17	4	11	6	6	27	F
18	4	9	5			
19	3	10	6	11	30	M
20	4	11	7	10	32	M
21	4	9	6	11	30	M
22	3	12	7	5	27	F
23	4	10	7			
24	3	9	6	6	24	F
25	3	10	6	11	30	M

Annexe 7

Analyse statistique de l'Essai d'efficacité de *Btk* sur les populations de *T. absoluta* sous serre En utilisant les taux, sans cumul,

	Dose1			Dose2			Dose3			Dose4			Dose5		
	J+2	J+4	J+6	J+2	J+4	J+6	J+2	J+4	J+6	J+2	J+4	J+6	J+2	J+4	J+6
L1	0	0	0	11.11	0	0	33.33	16.66	16.66	60	20	20	100	0	0
	0	0	0	0	0	0	33.33	16.66	16.66	66.66	33.33	0	100	0	0
	0	0	0	16.66	0	0	50	33.33	16.66	60	40	0	100	0	0
L2	0	0	0	0	0	0	20	40	20	83.33	16.66	0	100	0	0
	0	0	0	0	0	0	16.66	33.33	16.66	57.14	28.57	14.28	100	0	0
	0	0	0	0	0	0	33.33	16.66	16.66	80	0	20	100	0	0
L3	0	0	0	0	0	0	37.5	12.5	0	75	25	0	71.42	14.28	14.28
	0	0	0	0	0	0	50	25	0	60	40	0	77.77	11.11	11.11
	0	0	0	0	0	0	50	0	16.66	57.14	14.28	28.57	71.42	28.57	0
L4	0	0	0	0	0	0	33.33	16.66	0	33.33	66.66	0	83.33	16.66	0
	0	0	0	0	0	0	25	0	0	50	33.33	16.66	60	20	20
	0	0	0	0	0	0	50	0	0	66.66	16.66	0	66.66	16.66	16.66

L'analyse statistique des taux de mortalité liés aux différentes doses et aux différentes larves a été faite en utilisant une analyse de la variance à deux facteurs (Doses-durée et larves). Le résultat de cette analyse se résume dans le tableau suivant.

Tableau récapitulatif de l'ANOVA 2 facteurs avec répétitions

Source des variations	ddl	Somme des carrés	Moyenne des carrées	F de Fisher	Prob. Critique	
Larves	3	271.584362	90.5281207	1.43903923	0.23483711	H ₀ est maintenue
Dose/Jour	14	111307.179	7950.51276	126.381722	9.1725E-65	H ₀ est rejetée
Interaction	42	7937.23477	188.98178	3.0040632	1.5017E-06	H ₀ est rejetée
Erreur	120	7549.04678	62.9087232			
Total	179	127065.045				

L'analyse du tableau ci-dessus nous indique qu'il n'y a pas de différence significative entre les larves (Pvalue=0.2346711). Cependant les doses (couplées avec durée) sont différentes (pvalue=9.1725.10⁻⁶⁵). De même pour l'interaction entre Larves et Dose/jour avec une Pvalue=1.5017.10⁻⁶.

La création des groupes homogènes a été faite en utilisant le test LSD de Fisher (Least Significant Difference).

Annexes

Concernant les dose/jours, les groupes suivants ont été formés.

Variable	Moyenne	Groupe						
Dose1/J+2	0	A						
Dose1/J+4	0	A						
Dose1/J+6	0	A						
Dose2/J+2	2.31481481	A						
Dose2/J+4	0	A						
Dose2/J+6	0	A						
Dose3/J+2	36.0416667		B					
Dose3/J+4	17.5694444			C				
Dose3/J+6	10				D			
Dose4/J+2	62.4404762					E		
Dose4/J+4	27.8769841						F	
Dose4/J+6	8.29365079	A			D			
Dose5/J+2	85.8862434							G
Dose5/J+4	8.94179894	A			D			
Dose5/J+6	5.17195767	A			D			

L'analyse du tableau précédent impose les commentaires suivants :

La dose5 et le jour j+2 se distingue par rapport aux autres avec un le taux le plus élevé (Moyenne 85.88%).

Les doses suivantes: dose3 et le jour j+6, dose4 et le jour j+6, dose5 et le jour j+4 et en fin la dose5 et le jour j+6 sont toutes semblables. Ceci veut dire qu'au niveau du jour j+4 de la dose 5 donnera les mêmes résultats qu'au niveau du jour j+6 pour les doses 3 et 4. Effet plus rapide.

L'analyse des différentes T°

Variable	Moyenne	Groupe				
Larve(15°C)	31,6818182	A				
chrysalide (15°C)	19,6315789		B			
Adulte (15°C)	19,7058824		B			
Total (15°C)	70,5294118			C		
Larve(25°C)	14,8636364		B		D	
chrysalide (25°C)	7,1				D	
Adulte (25°C)	13,4444444		B			
Total (25°C)	82,4444444					E
Larve(30°C)	10,5		B			
chrysalide (30°C)	6,1				D	
Adulte (30°C)	8,1111111				D	E
Total (30°C)	79,8333333			C		

Interaction

Variable	Moyenne	Groupe				
Larve(15 ° C)/15°C	31,6818182	A				
chrysalide (15 ° C)/15°C	19,6315789		B			
Adulte (15 ° C)/15°C	19,7058824		B			
Total (15 ° C)/15°C	63,8636364			C		
Larve(15 ° C)/25°C	14,8636364				D	
chrysalide (15 ° C)/25°C	7,1					E
Adulte (15 ° C)/25°C	13,4444444				D	
Total (15 ° C)/25°C	32,3181818	A				
Larve(15 ° C)/30°C	10,5				D	
chrysalide (15 ° C)/30°C	6,1					E
Adulte (15 ° C)/30°C	8,1111111				D	E
Total (15 ° C)/30°C	22,6818182		B			



Contribution to the study of some biological aspects of *Tuta absoluta* in the region of Mascara (Algeria)

M. Elouissi^{1,2*} and A. Berkani²

¹Laboratory for Research on Biological systems and Geomatics, Faculty of Nature and Life Sciences, University of Mascara, Algeria

²Faculty of Nature and Life Sciences, University of Mostaganem, Algeria

ABSTRACT

Tuta absoluta (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae), is a serious pest species that recently became a major threat to tomato production in the Mediterranean Basin. In Algeria, it was observed for the first time in 2008. The present study followed some biological aspects of this devastating agent in tomato greenhouses installed in the experimental station of the University of Mascara. Our results showed that sex pheromone traps were effective as *T. absoluta* males were trapped and their number increased during the season (from December, 2013 to July, 2014). Furthermore, dynamics of the populations seem to be closely linked to weather conditions. Captures are maximal when the temperatures vary from 20 to 25 °C and when the hygrometry is situated between 50 and 70 %. On the other hand, we demonstrated that attacks on the first floor are significantly higher than those of the intermediate and superior floors.

Key words: *Tuta absoluta*; tomato; Mascara; Greenhouse; Algeria.

INTRODUCTION

The tomato (*Lycopersicon esculentum*, Mill) is a member of the Solanaceae family and originated Tropical America, probably in Mexico or in Peru [1]. Tomatoes and tomato products are the most consumed nonstarchy vegetable and are the most significant source of dietary lycopene; a powerful antioxidant that has greater bioavailability after cooking and processing [2]. In 2012, tomato area in the world amounted to 4.8 million hectares, denoting, during the last ten years (2012–2003), an increase of 17.3%. This increase was due essentially to the African (+34.9%) and Asian (+30.8%) continents, which in 2012, represented, respectively, 21.0% and 58.8% of world tomato areas [3].

The tomato borer, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae), is a serious pest species native to South America that recently became a major threat to tomato production in the Mediterranean Basin [4]. Larvae feed on the mesophyll of all aerial parts of the plants, as well as on the fruit, resulting in significant yield loss and cosmetic damage to fresh market tomato [5]. The potential impact of *T. absoluta* can be very high, in case of introduction of the pest in greenhouses. Both yield and fruit quality can be significantly reduced and crop losses up to 100% have been reported. Without any control measure the potential damage may be 100% [6]. *Tuta absoluta* Meyrick became the most important pest of tomato crops in Algeria since 2008. It causes extensive damage on tomato in the north western of Algeria [7].

The present study followed some biological aspects of this devastating agent in tomato greenhouses installed in the experimental station of the University of Mascara.

EXPERIMENTAL SECTION

2.1. Experimental site

The present study was carried out in plastic greenhouses at the experimental station of the University of Mascara. Mascara province (5941 km²) is located in the north west of Algeria, (at 360 km of Algiers) with mediterranean climate and mean annual precipitations of about 450 mm [8,9,10].

2.2. Climatic data

Climatic data provided by the laboratory's meteorological station installed in the experimental station.

2.3. Trapping of *T. absoluta*

For the capture of adults *T. absoluta*, traps of type *Delta* (INRA) were used. The trap is constituted by a cardboard tent with a mobile stuck cardboard at the bottom and provided with a capsule in charge of pheromone (Fig. 01). Males are mainly attracted.



Figure 01: Trap Delta with pheromone (A) for the capture of adults *Tuta absoluta* (B)

To estimate the population of *Tuta absoluta*, two (02) traps are placed. These traps are positioned at the bottom of the foliage (approximately 1m of the ground) to avoid that they are covered by the vegetation.

To be able to follow the evolution of *Tuta absoluta* populations, observation of the traps was realized every week and the trapped adults were counted and removed to avoid being counted again in the next statement. Pheromone dispensers were replaced every 4 weeks. Patches stuck the traps were regularly changed to avoid their saturation.

2.4. Statistical analysis

Mean data values are presented, with their standard deviations (mean \pm SD). All statistical comparisons were made by Student's *t* test, and statistical significance was defined as $p < 0.05$.

RESULTS AND DISCUSSION

In the Mediterranean Basin and Europe, the tomato crop has recently been affected by the new exotic pest *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) [11]. Recently, non-insecticide control strategies of *T. absoluta* have been developed, including biological control mating disruption and mass trapping using light and pheromone water traps [12]. The present study aimed to follow the dynamics of *T. absoluta* at greenhouses installed in the experimental station of the University of Mascara.

3.1. Spatiotemporal dynamics of the population of *Tuta absoluta*

We made a follow-up of the number of *T. absoluta* trapped in the traps Delta. The dynamics of *Tuta absoluta* followed during the period from December, 2013 till July, 2014 by captures in the traps with pheromone were established (Fig.02).

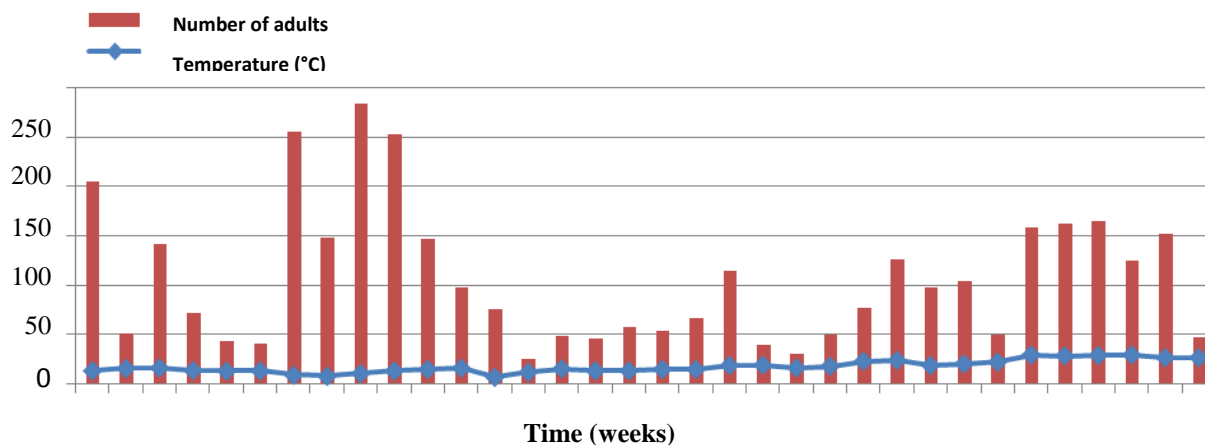


Figure 02: Populations of *Tuta absoluta* trapped according to temperature

As shown in our results (figure 02), *T. absoluta* adults are present in every statement and their number increased during the season. *T. absoluta* adults trapped increases from 26 on 16/03/2014 to 294 on 17/02/2014 which corresponds to the observed peak.

The first adults were captured on 15/12/2013, just after installation of the capsule with pheromone. Our results demonstrate a good effectiveness of the trapping system used in the present study. Numbers of *T. absoluta* adults trapped are higher than those reported in similar studies in Maghreb region. Abbas and Chermiti (2012) [13] reported lower numbers of *T. absoluta* adults trapped with sex pheromone water traps in greenhouses in Tunisia. Similar findings have been also reported in Iraq [14].

The dynamics of the populations seems closely linked to weather conditions. If we juxtapose the statements of temperatures and hygrometry, we notice that captures are low when temperatures are extreme (10 °C) with too low hygrometry or too high. Captures are maximal when the temperatures vary from 20 to 25 °C and when the hygrometry is situated between 50 and 70 % with the exception of dates 10/02 and 17/02/2014. Our findings are in consistence with those previously reported [15]. On the other hand, influence of winds in general, and sirocco particularly, on the captures of *T. absoluta* adults was verified. Captures were clearly reduced when the sirocco occurred. This seems to be due to the high temperatures superior to 40 °C and hygrometry lower than 40 %.

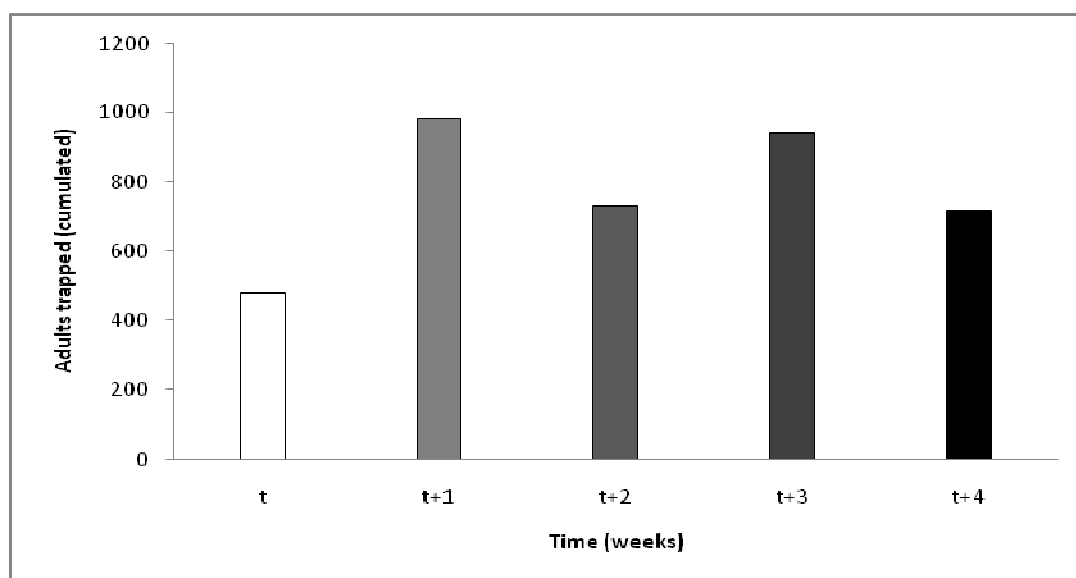


Figure 03: Impact of pheromone's capsules change on *T absoluta* trapping

3.2. Significant impact of replacement of pheromone's capsules

According to our results (Fig.03), we noticed that after every replacement of pheromone's capsule, a significant increase of *T. absoluta* adults trapped is observed in the week which follows, and that the trapping is similar other weeks.

This effect may be explained by the attractive activity of sex pheromones on males *T. absoluta*. In fact, the sex pheromone for *T. absoluta* has been found to be highly attractive to male moths. Pheromone lures are used extensively throughout Europe, South America, North Africa and the Middle East for the monitoring and mass-trapping of *T. absoluta* [16].

3.3. Distribution of the insect in the greenhouse

Our results demonstrated that the first damages were all observed at the walls of greenhouses. Indeed, hundred percent of the first damages is situated in the North of the greenhouse and, more exactly, 92 % on the northwest wall of shelters. The number of stings and larvae increases according to the culture's evolution and temperature's rise (Fig.04). From the week of 20/06/2010, the daily average temperatures exceeded 22°C; we noted a strong intensity of damages as well as the appearance of the first damages against walls in the North and on the West shelters.

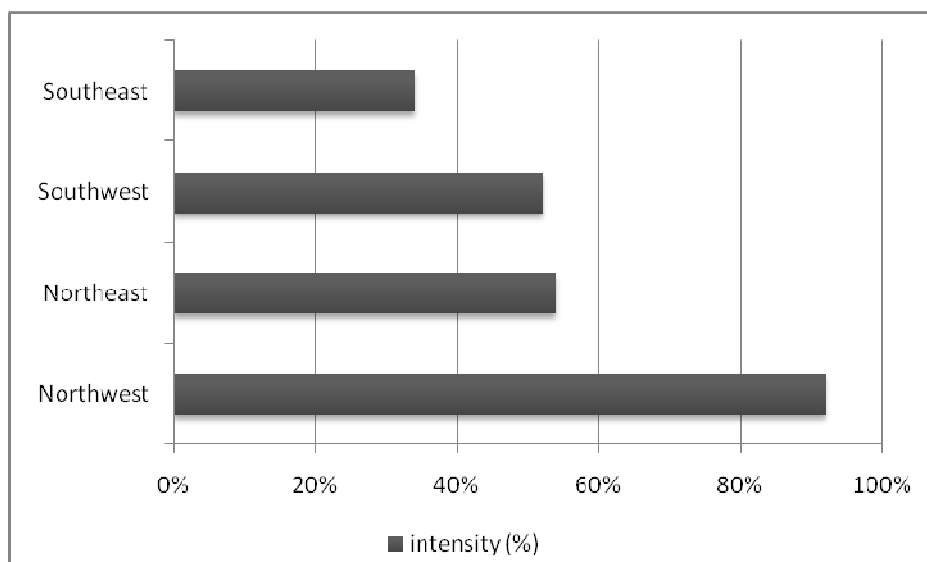


Figure 04: Intensity of the damages according to the cardinal orientation

3.4. Distribution of the damages by foliar floor of plants

In order to determine the damage levels, we have taken (at random) in consideration 25 plants affected. Distribution of the damages by foliar floor according to the level of affection of the plant is given in Fig.05.

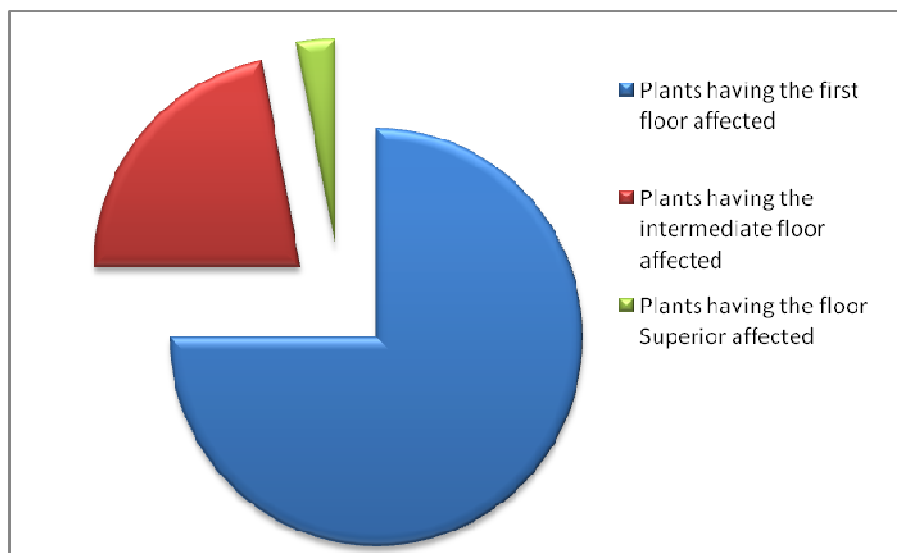


Figure 05: Distribution of the damages by foliar floor of plants according to the level of affection of the culture
As shown, attacks on the first floor are significantly higher than those of the intermediate floor. The latter is also higher than those of the upper floor. These results corroborate the findings reported by Cely *et al.* (2010) [17]. Furthermore, a relation between the frequency of attack of the culture and the localization of the damages on the plant can be revealed.

CONCLUSION

The present study showed the effectiveness of sex pheromone trap for the capture of *Tuta absoluta* adults males in greenhouses. Furthermore, our results suggest a strong relationship between Adults capture and weather conditions. Also, we give evidence that attacks on the first floor are significantly higher than those of the intermediate and superior floors. Further studies may be useful to more understand population's dynamics of *Tuta absoluta* in greenhouses in Algeria.

Acknowledgement

The authors gratefully acknowledge Dr Bachir Benarba (Department of Biology, University of Mascara) for appreciated assistance.

REFERENCES

- [1] Yilmaz E. *Turk J Agric For*, **2001**, 25, 149-155.
- [2] Freeman BB; Reimers K. *American Journal of Lifestyle Medicine*, **2010**, 2010, 1-10.
- [3] Testa R; Trapani AM; Sgroi F; Tudisca S. *Sustainability*, **2014**, 6, 7967-7981.
- [4] Guillemaud T; Blin A; Le Goff I; Desneux N; Reyes M; Tabone E; Tsagkarakou A; Ninõ L; Lombaert E. *Scientific Reports*, **2015**, 5, 8371, 1-5.
- [5] Bawin T; De Backer L; Dujeu L; Legrand P; Megido RC; Francis F; Verheggen FJ. *Insects*, **2014**, 5, 877-884.
- [6] Netherlands Plant Protection Service (NPPS). *Tuta absoluta* Povolny (*Gelechiidae* – tomato leaf miner - in tomato packaging facility in The Netherlands. Pest record (February 2009), Ministry of Agriculture, Nature and Food Quality of Netherlands, **2009**.
- [7] Gacemi A; Guenaoui Y. *Academic Journal of Entomology*, **2012**, 5, 37-40.
- [8] Benarba B; Meddah B; Hamdani H. *Excli J*, **2014**.13, 709-723.
- [9] Benarba B; Meddah B; Tir-Touil A. *Adv Pharmacol Sc*, **2014**, 2014, 1-4.
- [10] Benarba B; Ambroise G ; Aoues A ; Meddah B ; Vazquez A. *International Journal of Green Pharmacy*, **2012**, 6, 45-49.
- [11] Ingegno B.L., Ferracini C., Gallinotti D., Alma A., Tavella L., **2013**. *Biological Control* 67, 246–252.
- [12] Cocco A; Deliperi S. Delrio G. Potential of mass trapping for *Tuta absoluta* management in greenhouse tomato crops using light and pheromone traps. *IOBC-WPRS Bulletin*, **2012**, 80, 319-324.
- [13] Abbes K; Chermiti B. *IOBC-WPRS Bulletin*, **2012**, 80, 1-6.
- [14] Assaf LH; Hassan FR; Ismael HR; Saeed SA. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science*, **2013**, 5, 7-10.
- [15] Braham M. *Research Journal of Agriculture and Environmental Management*, **2014**, 3, 290-298.
- [16] Kaoud HA. *Global journal of multidisciplinary and applied sciences*, **2014**, 2, 41-46.
- [17] Cely LP; Cantor F; Rodríguez D. *Agronomía Colombiana*, **2010**, 28, 401-411,