



Democratic and Popular Republic of Algeria  
Ministry of Higher Education and Scientific Research  
University Mohamed Khider of Biskra



Faculty of Exact Sciences and Science of Nature and Life  
Department of Agricultural Sciences

Ref : .....

Thesis Presented to obtain the degree of

**Doctorate in Agricultural Sciences**

Option: Plant protection in arid regions

Entitled:

**Approach to the study of biocontrol for the  
integrated protection of greenhouse crops in the  
Biskra region, case of *Tuta absoluta*.**

Presented by:  
**Miss AFISSA Wahiba**

Publicly defended on: 15/11/2023

**In front of the Jury committee composed of:**

<b>Mr. Mehaoua Mohamed Seghir</b>	Professor	University of Biskra	President
<b>Mme. Demnati-Allache Fatma</b>	Professor	University of Biskra	Supervisor
<b>Mme. Marniche Faiza</b>	Professor	ENSV, Algiers	Co-supervisor
<b>Mme. Neffar Fahima</b>	Professor	University of Batna 2	Examiner
<b>Mr. Hadjeb Ayoub</b>	Professor	University of Biskra	Examiner



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Mohamed Khider de Biskra



Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la vie  
Département des Sciences Agronomiques

Ref : .....

Thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme de

**Doctorat LMD en sciences agronomiques**

Option: Protection des végétaux en régions arides

Intitulé:

**Approche à l'étude du biocontrôle pour la protection intégrée des cultures sous serres dans la région de Biskra, cas de *Tuta absoluta*.**

Présentée par :  
**Melle AFISSA Wahiba**

Soutenue le: 15/11/2023

**Devant le Comité du Jury composé de :**

<b>Mr. Mehaoua Mohamed Seghir</b>	Professeur	Université de Biskra	President
<b>Mme. Demnati-Allache Fatma</b>	Professeure	Université de Biskra	Superviseure
<b>Mme. Marniche Faiza</b>	Professeure	ENSV d'Alger	Co-superviseure
<b>Mme. Neffar Fahima</b>	M.C.A	Université de Batna 2	Examinatrice
<b>Mr. Hadjeb Ayoub</b>	M.C.A	Université de Biskra	Examiner





# Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à l'esprit du Dr. Allache Farid, qui nous a quittés avant la fin du travail, et que je souhaite être présent avec nous aujourd'hui, je prie Dieu qu'il soit dans le vaste paradis.*

*À ma grand-mère et mes parents que Dieu les protège et prolonge leur vie, avec mes vœux de santé et de bien-être.*

*Cette thèse est dédiée également à toutes les personnes proches de mon cœur, surtout à mon oncle Abd El-Hamid, sa femme et leur fils Mohammed El-Charif.*

*À mes chers frères (Abd El-Alie, Hamza, Tarek, Zouheir, Nasreddin) pour leurs encouragements permanents et leur soutien moral et à leurs petites familles.*

*À Ma chère sœur Nora pour son appui et ses encouragements, et à ses petites familles.*

*À mes amis tout au long du cycle d'études.*

*À toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à l'accomplissement de cette thèse.*

*À tous mes enseignants du département d'Agronomie de Biskra, ENSV.*

*À toutes les personnes proches de mon cœur qui ont été oubliées par mon créant mais ne sont pas oubliées par mon cœur.*

*À mon pays (l'Algérie, spécialement Ouled-Djellal).*

*Afissa Wahiba*



# Remerciements

Au terme de notre travail de fin d'étude, je remercie tous d'abord Dieu de m'avoir donné le courage et la patience afin de réaliser ce modeste travail qui est le fruit de plusieurs années de labour.

Je tiens à adresser mes vifs remerciements et mes sincères gratitude à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à sa réussite.

Je tiens tout d'abord à remercier la professeure Demanti Fatma, directrice de thèse, pour avoir eu l'amabilité de j'accueillir au sein de son bureau d'étude, et de j'avoir ménagée aucun effort pour me permettre de mener à bien mes travaux, ainsi que pour tous les conseils qu'elle m'a prodigués tout au long de mon étude. Je lui suis également reconnaissante de m'avoir assuré un encadrement rigoureux durant toutes ces années, tout en me donnant toutefois la possibilité de trouver par moi-même mon cheminement personnel. Mme Demanti m'a toujours accordé généreusement le temps nécessaire pour partager avec moi ses idées et sa grande expérience, et j'ai particulièrement apprécié sa grande ouverture face à ma condition et la confiance qu'elle a su garder en ma capacité à rendre ce projet à terme. Puissiez-vous trouver ici l'expression de ma profonde gratitude.

Je tiens à remercier tout particulièrement Madame Marniche Faiza, professeure d'Etat en sciences agronomiques et docteur d'état Madame Diab-Degiche Nassima à CRSTRA, qui ont été pour moi plus que parraines, elles m'ont donné le temps, la confiance en soi et la passion de travailler et de produire. Je les remercie du fond du cœur pour son intérêt, sa patience, sa disponibilité.

Mes sincères remerciements et salutations au Dr Derek Binns pour le temps qu'il m'a accordé durant la période de mes travaux au laboratoire, et pour avoir contribué à de nombreuses informations de recherche.

Je remercie aussi les membres du jury, Mr. le professeur Mehaoua Mohamed Seghir et Mme. la professeure d'état Tahar Chaouche Souad de m'avoir fait l'honneur d'accepter de participer à mon jury de thèse.

Un grand merci également à Monsieur Fouad Bendjeddou, le directeur de l'ITDAS et leur équipe des travailleurs (messieurs) au soutien logistique et l'aide précieuse qui m'a été dispensé lors des enquêtes.

Aussi, à tous le staff de l'INPV qui ont facilité nos travaux d'étude au niveau institutionnel en mettant à ma disposition les équipements de laboratoire nécessaires.

Enfin, je remercie les travailleurs de la station du Département sciences agronomiques de l'Université de Biskra pour avoir m'accompagné tout au long du travail de terrain.



## Résumé

### « Approche à l'étude du biocontrôle pour la protection intégrée des cultures sous serres dans la région de Biskra, cas de *Tuta absoluta* ».

*Tuta absoluta* est devenue le ravageur le plus redoutable des cultures de tomates dans les milieux agricoles arides depuis 2008. Les problèmes croissants de contrôle leurs dégâts nécessitent le développement d'un programme de lutte intégrée afin de maintenir la densité de population la plus faible possible. L'étude porte sur la lutte biologique contre *T.absoluta* dans la région de Biskra. Au cours de la période 2019-2020, une étude sur ce ravageur et ses ennemis naturels a été réalisée dans deux serres de tomates cultivées, l'une située dans un milieu rural et l'autre dans un milieu urbain. Des échantillons aléatoires ont été prélevés tous les 15 jours à l'aide de pièges à bac jaunes, de bouteilles colorées, de pots Barber, d'un aspirateur, de plaquettes engluées colorées et un prélèvement floristique des plantes adventices a été élaboré; suivis par des méthodes de conservation et d'identification aux laboratoires. Les résultats obtenus ont montré que les femelles préfèrent pondre leurs œufs sur les feuilles médianes et apicales des tomates, ainsi que sur d'autres hôtes secondaires comme : *Spinacia oleracea* (Amaranthaceae), *Sonchus arvensis* (Asteraceae), *Daucus carota* (Apiaceae), *Medicago sativa* (Fabaceae), *Malva parviflora* (Malvaceae). Les populations sont bien établies au cours de la culture, et leurs infestations ont continué à augmenter au fil du temps dans des conditions de serre appropriées, en particulier au printemps, où l'on a noté 3 à 4 générations successives. Au total, 501 individus d'arthropodes bénéfiques sont identifiés, 51.1% prédateurs et 48.9% parasitoïdes, répartis en 6 ordres, 19 familles, 37 espèces. Les familles les plus représentées sont les *Formicidae* (21.6%), suivies de *Braconidae* (20.5%), *Miridae* (17.7%), *Ichneumonidae* (13.2%), *Trichogrammatidae* (5.4%), *Vespidae* (4.9%), *Eulophidae* (4.9%). Sept nouvelles espèces sont signalées pour la première fois dans la région (*Telenomus remus*, *Horismenus sp*, *Necremnus tutae*, *Pristemus pallidus*, *Diadegma pulchripes*, *Diadegma ledicola*, *Hockeria sp*) et deux nouvelles espèces pour la première fois en Algérie (*Diadegma mollipla*, *Campoplex haywardi*). Les indices de diversité de ces agents du biocontrôle indigènes sont plus importants pendant la période printanière que pendant la période hivernale dans les serres situées dans des milieux divers, car leur adaptabilité aux variations saisonnières, souvent liées à la température, le développement d'un grand nombre d'espèces récoltées est absent entre 30°C-39°C. L'abondance, la diversité et la distribution globales de ces agents sont insuffisantes pour contrôler le ravageur, en raison de sa faible abondance et de sa présence sporadique tout au long de la saison agricole par rapport à l'hôte, en plus de son apparition tardive sur la tomate. Le test de parasitisme de *Trichogramma pretiosum* sur les œufs de *T.absoluta* a donné une mortalité de 30.5% sous les conditions contrôlées (T=25°C, HR=60%). Il serait intéressant d'étendre ces études à d'autres localités afin de rechercher des antagonistes indigènes potentiels pour ce ravageur, tout en menant des études approfondies qui sont nécessaires pour connaître les caractéristiques de vie de ces différentes espèces.

**Mots clés :** *Tuta absoluta*, région de Biskra, lutte intégrée, serres, tomate, agents du biocontrôle.

**Abstract****« Approach to the study of biocontrol for the integrated protection of greenhouse crops in the Biskra region, case of *Tuta absoluta* ».**

*Tuta absoluta* has become the most formidable pest of tomato crops in arid agricultural circles of Algeria since 2008. Increasing challenges in controlling their damage require the development of an integrated pest management program in order to keep the population density as low as possible. The study concerns on the biological control of *T. absoluta* in the region of Biskra. During the 2019-2020 period, a survey of this pest and its natural enemies was carried out in two cultivated tomato greenhouses grown on rural and urban sites. Random samples were collected every 15 days using yellow pan traps, colored bottle traps, Barber traps, aspirator, colored sticky traps and regular monitoring of weeds; followed by laboratory methods of conservation and identification. The results showed that females prefer to lay their eggs on the middle and apical leaves of tomatoes, as well as on other secondary hosts such as: *Spinacia oleracea* (Amaranthaceae), *Sonchus arvensis* (Asteraceae), *Daucus carota* (Apiaceae), *Medicago sativa* (Fabaceae), *Malva parviflora* (Malvaceae). Populations become well-established in the region, and their infestations continued to increase over time under suitable greenhouse conditions, especially in spring, where 3 to 4 successive generations were observed. In total, 501 beneficial arthropods have attracted to this pest, comprising 51.1% predators and 48.9% parasitoids, divided into 6 orders, 19 families and 37 species. The most represented families were *Formicidae* (21.6%), followed by *Braconidae* (20.5%), *Miridae* (17.7%), *Ichneumonidae* (13.2%), *Trichogrammatidae* (5.4%), *Vespidae* (4.9%) and *Eulophidae* (4.9%). Seven new species were reported for the first time in the region (*Telenomus remus*, *Horismenus sp*, *Necremnus tutae*, *Pristemus pallidus*, *Diadegma pulchripes*, *Diadegma ledicola*, *Hockeria sp*) and two new species for the first time in Algeria (*Diadegma mollipla*, *Campoplex haywardi*). The diversity indices of these indigenous biocontrol agents are more important during the spring period than during the winter period in greenhouses located in diverse environments, because their adaptability to seasonal variations, often related to temperature, the development of a large number of species collected is absent between 30°C-39°C. The global abundance, diversity and distribution of these agents are insufficient to control the pest, due to its feeble abundance and sporadic presence throughout the agricultural season compared to the host, besides to its late appearance on tomatoes. The parasitism test of *Trichogramma pretiosum* on *T. absoluta* eggs gave a mortality rate of 30.5% under laboratory conditions (T=25°C, HR=60%). It would be interesting to extend such studies to other localities in order to search for potential indigenous antagonists for this pest, whilst, conducting in-depth studies are necessary to know the life features of these different species.

**Key words :** *Tuta absoluta*, region of Biskra, integrated pest management, greenhouses, tomato, biocontrol agents.

## الملخص

« نهج لدراسة مكافحة الحيوية من أجل الحماية المتكاملة لمحاصيل الببوت البلاستيكية بمنطقة بسكرة، حالة توتا أبسولوتا ».

أصبحت حافرة الطماطم توتا أبسولوتا أكثر الآفات ضرارا لمحاصيل الطماطم في البيئات الزراعية الجافة منذ عام 2008. تتطلب المشاكل المتزايدة للسيطرة على أضرارها تطوير برنامج الحماية المتكاملة لإدارة الآفات من أجل الحفاظ على الكثافة السكانية للأفة منخفضة قدر الإمكان. تركز الدراسة على مكافحة البيولوجية لأفة توتا أبسولوتا *Tuta absoluta* في منطقة بسكرة. خلال الفترة 2019-2020، تم إجراء دراسة عن هذه الآفة وأعدائها الطبيعيين في دفيئتين من الطماطم المزروعة، أحدهما في بيئة ريفية والآخر في بيئة حضرية. تم أخذ عينات عشوائية كل 15 يوماً باستخدام مصائد الحاوية الصفراء، القنبيات الملونة، مصائد الخُر، الشفاطة، المصقات اللاصقة الملونة، والرصد المنتظم للأعشاب الضارة. تليها طرق مخبرية للحفاظ وتحديد الأنواع. أظهرت النتائج التي أن الإناث تفضل وضع بيضها على الأوراق الوسطى والقيمة للطماطم، وعلى عوائل ثانوية أخرى مثل *Spinacia oleracea* (Amaranthaceae)، *Sonchus arvensis* (Asteraceae)، *Daucus carota* (Apiaceae)، *Malva parviflora* (Malvaceae). رسخ السكان بشكل جيد أثناء الزراعة واستمر انتشارهم مع مرور الوقت في ظل ظروف البيوت البلاستيكية المناسبة، خاصة في الربيع، وقد لوحظت 3 إلى 4 أجيال متتالية. في المجموع، تم تحديد 501 فرداً من المفصليات المفيدة ضد هذه الآفة، 51.1% مفترسات و 48.9% طفيليات، مقسمة إلى 6 رتب، 19 عائلة، 37 نوعاً. أكثر العائلات تمثيلاً هي *Formicidae* (21.6%)، تليها *Braconidae* (20.5%)، *Miridae* (17.7%)، *Ichneumonidae* (13.2%)، *Trichogrammatidae* (5.4%)، *Vespidae* (4.9%)، *Eulophidae* (4.9%)، تم الإبلاغ عن سبعة أنواع جديدة لأول مرة في المنطقة (*Necremnus*، *Horismenus sp*، *Telenomus remus*)، *tutae* (*Pristemus pallidus*، *Diadegma pulchripes*، *Diadegma ledicola*، *Hockeria sp*) ونوعين جديدين لأول مرة في الجزائر (*Diadegma mollipla*، *Campoplex haywardi*). تكون مؤشرات التنوع لعوامل مكافحة الحيوية الأصلية أكبر خلال فترة الربيع منها خلال فترة الشتاء في الصوبات الزراعية الموجودة في بيئات متنوعة، نظراً لقدرتها على التكيف مع التغيرات الموسمية، والتي غالباً ما تكون مرتبطة بدرجة الحرارة، وتطور عدد كبير من الأنواع المحصورة غائب بين 30 درجة مئوية و 39 درجة مئوية، لكن الوفرة الإجمالية لهذه العوامل وتنوعها وتوزيعها غير كافية لمكافحة الآفة، بسبب قلة وفرتها ووجودها المتقطع طوال الموسم الزراعي مقارنة بالعائل، بالإضافة إلى ظهورها المتأخر في طماطم. أعطى اختبار التطفل لطفيليات *Trichogramma pretiosum* على بيض توتا أبسولوتا *T. absoluta* سيكون من المثير للاهتمام توسيع هذه الدراسات لتشمل مناطق أخرى من أجل البحث عن مضادات أصلية محتملة لهذه الآفة، بينما إجراء دراسات متعمقة ضروري لمعرفة خصائص الحياة لهذه الأنواع المختلفة. أعطى اختبار التطفل لطفيل *T. pretiosum* على بيض *T. absoluta* معدل وفيات قدره 30.5% في الظروف المخبرية ( $T = 25^{\circ}C$ ،  $HR = 60\%$ ). سيكون من المثير للاهتمام توسيع هذه الدراسات لتشمل مناطق أخرى من أجل البحث عن أعداء طبيعيين أصليين آخرين محتملين لهذه الآفة، كما أن إجراء دراسات متعمقة ضروري لمعرفة سمات الحياة لمختلف هذه الأنواع.

الكلمات المفتاحية: *T. absoluta*، منطقة بسكرة، الحماية المتكاملة لإدارة الآفات، البيوت البلاستيكية، الطماطم، عوامل مكافحة الحيوية.



## Liste des abréviations

**µg, g, Kg, t** : microgramme, gramme, kilogramme, tonnes.

**µM, mm, cm, m**: micromètre, millimètre, centimètre, mètre.

**ha**: hectare.

**h** : heure.

**Gy** : gray.

**g/l** : gramme par litre.

**kg/m<sup>2</sup>** : kilogrammes en mètres carrés.

**qx/ha**: quintal par hectare.

**ml/ha**: millilitre en hectare.

**LD** : Longueur d'onde.

**HR** : humidité relative.

**T°** : température.

**T°max** : température maximale

**Jrs** : jours.

**P** : principaux.

**NP**: non- principaux.

**T. absoluta**: *Tuta absoluta*.

**ABN**: Ain Ben Noui.

**ADN**: Acide désoxyribonucléique.

**DDT** : Dichlorodiphényltrichloroéthane.

**WPTC** : World Processed Tomato Association.

**FAO**: Food and Agriculture Organization.

**MADR** : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural.

**DSA** : Direction des Services Agricoles.

**INPV** : Institut National de Protection des Végétaux.

**OECD**: Organization for Economic Cooperation and Development.

**EPPO**: European and Mediterranean Plant Protection.

**UE** : Union européenne.

**OMS**: Organisation mondiale de la Santé.

**IBMA** : International Biocontrol Manufacturers Association.

**ONU** : Organisation des Nations unies.

**DEDSPAZA**: Diversité des écosystèmes et dynamiques des systèmes de production agricoles en zones arides.

**CRSTRA** : Centre de Recherche Scientifique et Techniques sur les Régions Aride.

**ENSV** : École Nationale Supérieure Vétérinaire.

## Liste des figures

- Figure I-1.** Origine et diffusion de la tomate dans le monde (Gilles & Raffard 2018).
- Figure I-2.** Structure de l'appareil reproducteur de la tomate (Anonyme 2020).
- Figure I-3.** Différentes formes du fruit (Shankara et al. 2005) : a. Cultivar hâtif aux fruits aplatis et côtelés. b. Cultivar tardif aux grands fruits. c. Cultivar anglo-néerlandais. d. Cultivar aux fruits allongés. e. Différents cultivars de la tomate cerise.
- Figure I-4.** Évolution de la production mondiale de tomates (en tonnes) (Olivier 2020).
- Figure I-5.** Origines des jeunes agriculteurs migrant vers Biskra (Naouri et al. 2015).
- Figure I-6.** Carte de répartition de *Tuta absoluta* dans le monde (Santana et al. 2019).
- Figure I-7.** Tête et morphologie générale d'un adulte mâle de *Tuta absoluta* (Marja et al. 2015): a. Palpe labial. b. Antenne. c. Aile antérieures. d. Aile postérieure.
- Figure I-8.** Appareil génital de *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917); Genitalia ♂ (A) et ♀ (B), d'après (Marja et al. 2015) : a. Gnathos. b. Valve. c. Vinculum. d. Pénis ou édéage. e. Bourse copulatrice. f. Signum. g. Canal copulateur. h. Apophyse. i. Papilles anales.
- Figure I-9.** Différentes formes de *Tuta absoluta* : a. Œufs de *Tuta absoluta* (Marja et al. 2015). b. Larves de *Tuta absoluta* (Gr.x40), caractérisées par une bande noire sur le pronotum (Marja et al. 2015). c. Chrysalide de *Tuta absoluta* (Gr.x40) (Ouedraogo 2020).
- Figure I-10.** Arbre phylogénétique montrant la relation entre *Tuta absoluta* et 18 autres papillons nocturnes sur la base de la méthode de jointure des voisins (Zhang et al. 2020).
- Figure I-11.** Cycle de vie de l'espèce *Tuta absoluta* sur la culture de tomate (Originale).
- Figure I-12.** Symptômes de *Tuta absoluta* sur la culture de tomate sous serre (Originale). a. Feuilles, les mines des larves et les effets secondaires sur la partie aérienne. b. Tiges, points noirs et des nécroses. c. Nécroses sur le calice ou des trous de sortie à leur surface.
- Figure I-13.** Représentation schématique des différentes étapes impliquées dans le fonctionnement d'une interaction hôte-parasitoïde (Ounis 2017).
- Figure I-14.** Institutions mondiales du biocontrôle (Ait Kaki 2014).
- Figure II-1.** Localisation de la zone et les sites d'étude.
- Figure II-2.** Sites d'étude (Originale) : A. Site urbain de département agronomique à AlAlia. B. Site rural de l'ITDAS à Ain Ben Noui.
- Figure II-3.** Dispositif expérimental adopté pour la plantation des tomates sous serres situées à Ain Ben Noui (A) et AlAlia (B), (Originale).
- Figure II-4.** Herbiers des espèces floristiques collectées (Originale).
- Figure II-5.** Schémas d'échantillonnage dans l'ensemble du champ, la récolte de *T. absoluta* dans des pièges à phéromones (a) et les trois niveaux d'échantillonnage des feuilles infestées (b) (Originale).
- Figure II-6.** Pièges d'échantillonnage faunistiques (Originale): a. Piège à eau jaune ou rouge. b. Piège Barber. c. Pièges adhésifs de différents couleurs utilisés dans les serres. d. Pièges aériens en différentes couleurs. e. Collecte manuelle à l'aide d'apériteur et de collecte directe.
- Figure II-7.** Dispositif expérimental pour l'utilisation des pièges dans chaque parcelle partielle (Originale).
- Figure II-8.** Collection du matériel utilisé au laboratoire dans la présente étude (Originale).
- Figure II-9.** Méthodologie adoptée au laboratoire (Originale) : a. Nettoyage et conservation des espèces capturées par différents pièges. b. Collection des espèces conservées dans des boîtes en bois. c. Observation microscopique pour l'identification des espèces capturées.
- Figure II-10.** a. Élevage d'*Ectomyelois ceratoniae* Zell (Originale).
- Figure II-10.** b. Élevage de *Tuta absoluta* (Originale).
- Figure II-10.** c. Élevage de *Trichogramma pretiosum* (Originale).
- Figure II-11.** Protocole et test de biocontrôle sur les femelles de *Trichogramma pretiosum* (Originale): a. Masse de *T. pretiosum* ; b. Différence des antennes mâles et femelles de l'espèce *Trichogramma sp* ; c. Couple de *T. absoluta* sur les plants de tomate en cage (Avant 24h); d. Couple de *T. pretiosum* sur les plants de tomate en cage (Après 24h) ; e. Œufs parasités de *T. pretiosum* (Après 72h) (dans des boîtes sous la loupe (Gx60).
- Figure II-12.** Nombre d'espèce par famille.
- Figure II-13.** Hôtes secondaires de *Tuta absoluta* dans la région de Biskra (Originale) : a. *Spinacia oleracea*. b. *Medicago sativa*. c. *Sonchus arvensis*. d. *Malva parviflora*. e. *Daucus carota*.
- Figure II-14.** Évolution des effectifs de *Tuta absoluta* à Ain Ben Noui et AlAlia en Biskra entre décembre 2019 et mai 2022 par 200 feuilles de tomate sous serres : a. Adultes, b. Œufs. c. Larves. d. Pupes.
- Figure II-15.** Densité de différentes populations de *Tuta absoluta* sur la plante de tomate.

- Figure II-16.** Variation temporelle du taux d'infestation de *Tuta absoluta* sur les feuilles de la tomate en relation avec les températures moyennes dans les deux sites d'étude.
- Figure II-17.** Distribution des ordres d'ennemis naturels associés à *Tuta absoluta* dans la région de Biskra.
- Figure II-18.** Richesse spécifique et abondance des différents ordres d'ennemis naturels au cours de la période d'étude dans ABN (A) et AlAlia (B).
- Figure II-19.** Nombre de familles et d'individus des ennemis naturels associés à *Tuta absoluta* dans les agroécosystèmes de la tomate en Biskra.
- Figure II-20.** *Archytas sp* Jaenicke, 1867 (Originale).
- Figure II-21.** *Goniozus nigrifemur* Ashmead, 1894 (Originale).
- Figure II-22.** *Telenomus remus* Nixon, 1937 (Originale).
- Figure II-23.** a. *Stenomesus japonicus* Ashmead, 1904; b. *Horismenus sp* Walker, 1843; c. *Necremnus tuta* Ribes & Bernardo, 2015 (Originale).
- Figure II-24.** a. *Trichogramma achaeae* Nagaraja & Nagarkatti, 1970; b. *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 (Originale).
- Figure II-25.** a. *Dacnusa sibirica* Telenga, 1934; b. *Cotesia sp* Cameron, 1891; c. *Bracon sp* Fabricius, 1804; d. *Habrobracon hebetor* Say, 1836; e. *Dolichogenidea (Apanteles) sp* Viereck, 1911; f. *Apanteles gelechiidivoris* Förster, 1862 (Originale).
- Figure II-26.** *Halticoptera aenea* Walker, 1833 (Originale).
- Figure II-27.** a. *Pristomerus pallidus* Kriechbaumer, 1884; b. *Pristomerus sp* Curtis, 1836; c. *Diadegma pulchripes* Kokujev, 1915; d. *Diadegma ledicola* Horstmann, 1969; e. *Diadegma mollipla* Holmgren, 1868; f. *Campoplex haywardi* Blanchard, 1947 (Originale).
- Figure II-28.** a. *Brachymeria secundaria* Ruschka, 1922; b. *Haltichella spinola*, 1811; c. *Hockeria sp* Walker, 1834 (Originale).
- Figure II-29.** a. *Nesidiocoris tenuis* Reuter, 1895; b. *Macrolophus pygmaeus* Rambur, 1839, c. *Deraeocoris punctulatus* Fallén, 1807 (Originale).
- Figure II-30.** *Selenophorus sp* Dejean, 1831 (Originale).
- Figure II-31.** *Chilocorus politus* Mulsant, 1850 (Originale).
- Figure II-32.** *Anthicus sp* Paykull, 1798 (Originale).
- Figure II-33.** *Orius sp* Wolff, 1811 (Originale).
- Figure II-34.** *Lasiochilus sp* Reuter, 1884 (Originale).
- Figure II-35.** *Geocoris punctipes* Say, 1832 (Originale).
- Figure II-36.** *Chrysoperla carnea* Stephens, 1836 (Originale).
- Figure II-37.** *Tapinoma nigerrimum* Nylander, 1856 (Originale).
- Figure II-38.** *Polistes carnifex* Fabricius, 1775 (Originale).
- Figure II-39.** *Salticidae sp* Blackwall, 1841 (Originale).
- Figure II-40.** Ajustement des abondances de populations ennemies naturelles au modèle Poisson sur la culture de tomate sous serre (AD\_tuta : Adulte *T.absoluta* ; Par-1er : Parasitoïdes primaires ; Par-sec : Parasitoïdes secondaires ; Mir\_ : *Miridae*).
- Figure II-41.** Groupes fonctionnels des principaux ennemis naturels associés à *T.absoluta*.
- Figure II-42.** a. Projection des principaux ennemis naturels de *T.absoluta* sur le plan principal F1xF2 de l'AFC.
- Figure II-42.** b. Projection des effectifs des principaux ennemis naturels de *T.absoluta* trouvés sur le plan d'ordination F1xF2 de l'ACP.
- Figure II-42.** c. Classification ascendante hiérarchique (CAH) des effectifs totaux des insectes trouvés de la première sortie (T1) à la deuxième sortie (T11).
- Figure II-43.** Variations temporelles de *T.absoluta* et de ses principaux ennemis naturels (A) et de quelques espèces dans les deux sites d'étude (B). ABN. (C). AlAlia.
- Figure II-44.** Régressions entre le nombre d'ennemis naturels et le taux d'infestation dans les serres des sites ABN (A) et AlAlia (B).
- Figure II-45.** Taux de parasitisme ; A : Nombre de contacts par femelle parasitoïde *T. pretiosum* sur les œufs de *T.absoluta* et *E. ceratoniae* en 72h (20 observations/femelle au total). B : Boîte à moustaches indique un milieu (ligne continue), les moustaches montrent une plage de données et les signes représentent les contours. Différentes limites indiquent des différences significatives entre *T. pretiosum*. (+) : Moyenne de parasitisme.

---

## Liste des tableaux

**Tableau I-1.** Normes d'évaluation des niveaux de risque selon les captures.

**Tableau II-2.** Liste systématique des ennemis naturels autochtones capturés à Ain Ben Naou et AlAlia dans la région de Biskra.

**Tableau II-3.** La richesse qualitative des parasitoïdes primaires et secondaires (hyperparasitoïdes) de *T.absoluta* rencontrés en milieu naturel de la région de Biskra.

**Tableau II-4.** Richesse qualitative des prédateurs de *T.absoluta* rencontrés en milieu naturel de la région de Biskra.

**Tableau II-5.** Richesse et abondance globale des principaux parasitoïdes et prédateurs autochtones associées à la mineuse de tomate *T. absoluta* dans la région de Biskra.

**Tableau II-6.** Valeurs de la qualité d'échantillonnage pour les principaux ennemis naturels de *T.absoluta* dans les serres d'étude.

**Tableau II-7.** Valeurs de richesse totale et moyenne des principaux ennemis naturels de *T.absoluta* capturés par mois.

**Tableau II-8.** Valeurs de la densité (D), l'abondance relative (AR%) et la fréquence d'occurrence (FC%) en fonction des principales espèces auxiliaires de *T.absoluta* dans les serres d'étude.

**Tableau II-9.** Indices de diversité des principaux ennemis naturels de *T.absoluta* dans les serres d'étude selon les mois de capture.

**Tableau II-10.** Indices de diversité des principaux ennemis naturels de *T.absoluta* dans les serres de tomates de Biskra selon les sites d'étude.

**Tableau II-11.** Distribution spatiale des principaux ennemis naturels de *T.absoluta* (X : Moyenne;  $S^2$  : variance ;  $Ia=S^2/X$ : indice de distribution).

## Table de matières

Dédicace .....	I
Remerciements.....	II
Résumé.....	III
Liste des abréviations .....	IV
Liste des figures .....	V
Liste des tableaux .....	VI
Table des matières.....	VII
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
<b>PARTIE I. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE</b>	
<b>Chapitre I.1- Filière de tomate sous serre aux échelles nationale et internationale, instabilité et besoin d'un nouveau mode de coordination.</b>	
1. Aperçu global de la culture de la tomate .....	5
1.1. Origine et historique .....	5
1.2. Nomenclateurs et classification botanique .....	6
1.3. Description botanique de la plante de tomate.....	7
2. Modes de production.....	9
3. Importance de la culture de la tomate sous serre .....	9
3.1. Dans le monde.....	9
3.2. Dans le bassin méditerranéen .....	11
3.3. Situation des cultures sous serre en Algérie.....	11
3.3.1. Évolution des superficies et des productions des cultures de tomates sous serre en Algérie....	11
3.3.2. Évolution des superficies cultivées et des productions de tomates sous serre à Biskra.....	12
4. Contraintes au développement de culture de la tomate en Algérie.....	13
<b>Chapitre I.2- Monographie, surveillance et détection de la mineuse de la tomate <i>Tuta absoluta</i>.</b>	
1. Origine et aire de répartition.....	15
1.1. Au monde.....	15
1.2. Géo-information de référence de <i>Tuta absoluta</i> .....	16
1.3. En Algérie.....	17
2. Nomenclateurs et position taxonomique.....	17
3. Identification de <i>Tuta absoluta</i> .....	18
3.1. Identification morphologique.....	18
3.2. Identification moléculaire.....	21
4. Bioécologie et cycle de développement de <i>Tuta absoluta</i> .....	21
5. Dégâts de <i>Tuta absoluta</i> .....	23
6. Hôtes secondaires de <i>Tuta absoluta</i> .....	25
7. Moyens de lutte .....	25
<b>Chapitre I.3- Gestion des risques et dangers liés aux pesticides et leur compatibilité avec le biocontrôle de lutte intégrée.</b>	
1. Lutte conventionnelle .....	28
1.1. Aperçu global.....	28
1.2. Dangers de l'emploi intensif des pesticides.....	29
1.2.1. Dangers liés à l'environnement.....	29
1.2.2. Problème de résistance chez les ravageurs.....	30
1.3. Gestion des problèmes liés aux pesticides.....	31
2. De la lutte conventionnelle à la lutte intégrée.....	31
3. Biodiversité et stimulation de régulation écologique.....	32
3.1. Notion du biocontrôle.....	33
3.1.1. Types de biocontrôle.....	33
3.1.2. Stratégies de biocontrôle.....	36
3.2. Règlements mondiaux des produits biologiques.....	37
3.2.1. Règlements européens des produits biologiques.....	37
3.2.2. Règlements nationaux des produits biologiques.....	38
3.3. Organisations mondiales de biocontrôle.....	38

**PARTIE II. PARTIE EXPERIMENTALE****Chapitre II.1- Matériels et méthodologie de travail.**

1. Description de la région et les sites d'étude .....	40
1.1. Choix des sites .....	41
1.2. Préparation des sites.....	42
2. Relevés des flores hôtes secondaires de ravageur <i>Tuta absoluta</i> dans les sites d'étude.....	44
2.1. Matériel et méthodes.....	44
2.1.1. Echantillonnage des espèces floristiques.....	44
3. Biodynamique du ravageur <i>Tuta absoluta</i> et son taux d'infestation dans les sites d'étude .....	45
3.1. Matériel et méthodes.....	45
3.1.1. Dénombrements de <i>Tuta absoluta</i> .....	45
3.1.2. Taux d'infestation.....	46
4. Echantillonnage des faunes associées au ravageur <i>Tuta absoluta</i> dans la région de Biskra.....	47
4.1. Matériel et méthodes adoptés au terrain .....	47
4.1.1. Matériels de piégeage des espèces faunistiques associées à <i>Tuta absoluta</i> .....	47
4.1.2. Dispositif expérimental pour les pièges.....	49
4.1.3. Echantillonnage des espèces faunistiques .....	50
4.2. Matériel et méthodes adoptés au laboratoire.....	51
4.2.1. Matériels utilisés .....	51
4.2.2. Méthodologie adoptée .....	51
5. Etude de l'activité parasitaire (taux de parasitisme) du <i>Trichogramma pretiosum</i> .....	54
5.1. Matériel et méthodes adoptés au laboratoire .....	54
5.1.1. Matériels biologiques.....	54
5.1.2. Elevage en masse d' <i>Ectomyelois ceratoniae</i> Zell.....	55
5.1.3. Elevage en masse de <i>Tuta absoluta</i> .....	55
5.1.4. Elevage en masse de <i>Trichogramma pretiosum</i> .....	56
5.1.5. Dénombrement et évaluation du parasitisme chez <i>Trichogramma pretiosum</i> .....	57
6. Analyses statistiques des données.....	58

**Chapitre II.2- Résultats et discussions.**

1. Résultats et discussion de l'inventaire floristique associés à <i>Tuta absoluta</i> .....	60
1.1. Systématique de la flore spontanée .....	60
1.1.1. Plantes hôtes secondaires de <i>Tuta absoluta</i> dans les serres d'étude .....	60
1.2. Discussion.....	61
2. Résultats et discussion de la dynamique et l'infestation du ravageur <i>Tuta absoluta</i> .....	63
2.1. Fluctuations des peuplements <i>Tuta absoluta</i> dans les sites d'étude .....	63
2.2. Distribution verticale de la population immature de <i>Tuta absoluta</i> .....	64
2.3. Détermination du taux d'infestation dans les sites d'étude .....	65
2.4. Discussion.....	65
3. Résultats et discussion de l'inventaire faunistique associés à <i>Tuta absoluta</i> .....	68
3.1. Inventaire quantitatif des ennemis naturels associés à <i>Tuta absoluta</i> dans la région de Biskra.....	68
3.2. Inventaire qualitatif des ennemis naturels associés à <i>Tuta absoluta</i> dans la région de Biskra.....	71
3.2.1. Inventaire qualitatif des parasitoïdes primaires et secondaires autochtones de <i>T. absoluta</i> .....	71
3.2.2. Inventaire qualitatif des prédateurs autochtones de <i>T. absoluta</i> .....	77
3.3. Analyse fonctionnelle des parasitoïdes et des prédateurs autochtones de <i>T. absoluta</i> .....	82
3.3.1. Principaux parasitoïdes et prédateurs autochtones de <i>T. absoluta</i> .....	83
3.4. Discussion.....	84
3.5. Analyse structurale des principaux parasitoïdes et prédateurs autochtones de <i>T. absoluta</i> .....	89
3.6. Discussion.....	97
4. Résultats de parasitisme de <i>Trichogramma pretiosu</i> .....	98
4.1. Taux de parasitisme de <i>Trichogramma pretiosum</i> .....	100
4.2. Discussion.....	101
<b>CONCLUSION GÉNÉRALE</b> .....	104
<b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	107
<b>Annexes</b> .....	119

# INTRODUCTION GÉNÉRALE

En Algérie, la filière tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) revêt une importance stratégique dans l'agriculture nationale en raison de son rôle dans la promotion de l'industrie agro-alimentaire, de même que dans la satisfaction de la consommation nationale de tomates fraîches, puisqu'elle constitue une filière pourvoyeuse d'emplois dans la cueillette et la transformation de la tomate (Bacci et al. 2018). La production de tomates dans la région de Biskra a connu une forte progression depuis environ deux décennies après la période de fluctuation des années 1990 (Amichi 2018 ; Khiari 2018), notamment après le renforcement et le développement des unités de production dédiées à l'exportation de tomates (Ghelamallah 2016). De plus, la mise en place du mode de production sous serres, dont le nombre a été multiplié par 5 jusqu'en 2019, dépasse même les zones de production sous serre traditionnelle dans le nord (Soudani et al.2020).

Cependant, malgré les efforts déployés, les bioagresseurs restent un obstacle significatif entravant l'amélioration du rendement et de la qualité de ce produit horticole ; cette problématique est souvent exacerbée par les conditions climatiques à l'intérieur des serres, qui attirent de nombreuses espèces nuisibles (Raj et al. 2020). Parmi les ravageurs notables, la mineuse de tomate *Tuta absoluta* Meyrick (Lepidoptera, Gelechiidae) se distingue comme l'une des menaces les plus marquantes récemment identifiées ; elle représente un danger sérieux pour la pérennité de la filière de tomate subsaharienne, tant du point de vue de la production locale que de l'accès aux marchés d'exportation (Santana et al. 2019). La présence de ce redoutable ravageur, *T. absoluta*, a été signalée dans la région du Ziban (Biskra) lors de la campagne 2008-2009, marquée par la destruction de parcelles de tomates en plein champ et l'intrusion dans les serres productrices de tomates (Allache et al. 2012 ; 2015). Il peut causer des pertes allant jusqu'à 100%, ces pertes sont encore plus graves dans les pays en voie de développement (Desneux et al. 2010).

Dès l'apparition de ce ravageur dans la région de Biskra, la lutte chimique est la principale stratégie de lutte mise en œuvre pour protéger les cultures sous serres (INPV 2015). Cependant, l'utilisation intensive d'intrants agrochimiques a provoqué l'émergence d'une résistance accrue au sein de la population de *T.absoluta* en raison du comportement des chenilles (Ghoneim 2014). De plus, ces mauvaises pratiques et ces fréquentes dérives dans l'utilisation des insecticides ont engendré une dégradation de la santé humaine et de la biodiversité, en dépit de rigoureuses préconisations d'emploi (Abdelmaksoud et al. 2016).

Les stratégies de gestion de la mineuse ont traditionnellement été élaborées à l'échelle du champ et ont souvent reposé sur l'utilisation de pesticides à large spectre, mais la gravité des dégâts causés par ce ravageur et les difficultés de contrôle des populations ont obligé les



chercheurs et les producteurs à trouver des méthodes de lutte alternatives (IOBC 2021). La lutte antiparasitaire est devenue une préoccupation majeure ; comprendre les interactions plante-insecte et la dynamique de reproduction des ravageurs est un prérequis au développement de stratégies innovantes pour protéger les cultures et accroître la durabilité des agroécosystèmes (Sylla 2018).

Plusieurs travaux de recherche ont suggéré la lutte intégrée contre ce ravageur *T.absoluta*, vu la gravité de la situation qui pouvait influencer d'une façon remarquable l'économie nationale. Allache et al. (2015) ont montré que bioécologie est un paramètre important en serre pour proposer un programme de lutte intégrée. Tandis que Badaoui (2018) a signalé que les stades larvaires sur les feuilles et les fruits des cultures de tomate sous serres et l'effet de milieu sous serre sont les causes principales qui diminuent la production.

Des approches basées sur l'usage des ennemis naturels et de produits d'origine biologique sont prometteuses dans le domaine du biocontrôle (Fauvergue et al. 2020). Badaoui (2018) a signalé que la souche entomopathogène autochtone *Beauveria sp* induit une mortalité de 52% chez *T.absoluta*. Gacemi & Guénaoui (2012) ont confirmé l'efficacité des biopesticides homologués à base du composé Emamectin-benzoate, entraînant une mortalité de 87% chez les larves de ce lépidoptère dans les serres de tomates à Mostaganem. Par ailleurs, de nombreuses recherches basées sur l'utilisation des prédateurs et des parasitoïdes indigènes de *T.absoluta*, telles que celles de Boualem et al. (2012) et koudjil et al. (2014) ont confirmé l'existence des trois espèces de prédateurs et des six espèces de parasitoïdes dans les zones côtières du pays (Mostaganem, Mitidja et Chlef). Mais, Dehliz (2016) a affirmé la présence des six espèces parasitoïdes appartiennent aux familles *Eulophidae*, *Braconidae* et deux espèces prédatrices de la famille *Miridae* sur la mineuse de tomate *T.absoluta* dans la région d'Oued Righ. Cependant les communautés d'agents du biocontrôle de ce ravageur restent mal connues dans les régions arides de notre pays, qui se caractérisent par des conditions climatiques, topographiques et même des pratiques culturelles différentes de celles utilisées dans le nord.

L'importance économique de la tomate au Ziban, les conséquences néfastes à la santé humaine et à l'environnement des produits phytosanitaires utilisés, justifient très largement l'intérêt d'identifier et d'analyser des solutions « alternatives » mobilisant plusieurs moyens de lutte. Dans cette optique, notre objectif d'une part est de renforcer la connaissance sur la dynamique des populations de l'insecte *T.absoluta*, de déterminer les conditions qui favorisent l'exportation de ses populations, de recenser les plantes hôtes secondaires qui permettent à ses populations de se maintenir ou de se multiplier et d'évaluer leur incidence sur les cultures de

tomate sous serres. D'autre part, il s'agit d'inventorier les différentes espèces associées à la mineuse de tomate *T.absoluta* pour sélectionner les principaux groupes d'ennemis naturels indigènes (prédateurs et parasitoïdes) et les moyens disponibles pour contrôler les infestations de ce ravageur principal.

Le travail a été organisé et présenté en deux principales parties comme suit: la première partie est une synthèse bibliographique divisée en trois chapitres. Le premier chapitre décrit la filière de tomate sous serre à l'échelle nationale et internationale, ainsi que les contraintes à la croissance de ce secteur en Algérie, le deuxième chapitre vise à approfondir les connaissances sur la dynamique d'expansion de *T.absoluta* à l'échelle nationale, à décrire le niveau des dégâts sur les cultures de tomate et à présenter les dernières méthodes de protection contre ce ravageur. Tandis que le dernier chapitre de cette partie porte sur les approches du biocontrôle pour la lutte intégrée à travers une présentation séquentielle du développement de cette protection au niveau international et local. La deuxième partie expérimentale regroupe un chapitre descriptif des sites d'études, des matériels et de la méthodologie de travail suivie pendant l'étude. Un autre chapitre regroupe les résultats obtenus avec leurs interprétations et discussions détaillées. Enfin, nous terminerons par une conclusion où nous esquissons une vision plus approfondie de cette approche de protection étudiée.

PARTIE I  
REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

## Chapitre I.1.

### Filière de tomate sous serre aux échelles nationale et internationale, instabilité et besoin d'un nouveau mode de coordination.

#### 1. Aperçu global de la culture de la tomate

En moins d'un siècle, la tomate est devenue une culture vivrière majeure, principalement en raison de sa valeur nutritive exceptionnelle, de ses avantages pour la santé et de sa capacité à générer des rendements élevés par unité de surface (Rekibi 2015). Cependant, la production de tomates se heurte à divers obstacles, qu'ils soient biotiques ou liés au stress abiotique. Ces facteurs, notamment les ravageurs et les maladies, ont un impact négatif sur le rendement et la qualité des fruits destinés à la commercialisation. De plus, les contraintes réglementaires et logistiques peuvent entraver la production et la commercialisation, entraînant des dommages et des pertes de rendement à toutes les étapes, de la germination à la récolte. En tenant compte de ces éléments, ce chapitre se concentrera sur une étude globale de la culture de la tomate, mettant en lumière son importance ainsi que les obstacles les plus influents entravant son développement, en particulier dans notre pays.

#### 1.1. Origine et historique

La tomate trouve son origine dans la région de la Cordillère des Andes (entre l'Équateur, le Pérou et la Bolivie), le long de la côte ouest de l'Amérique du Sud. Les Incas étaient familiarisés avec la tomate à l'état sauvage, mais c'est surtout chez les Aztèques qu'elle était cultivée en diverses espèces aux formes et couleurs variées, près de 1500 ans avant notre ère actuelle (Saavedra et al. 2017). Elle a été domestiquée et développée par la sélection, puis elle a attiré l'attention du colonisateur Hernán Cortés sur un marché aztèque au Mexique. En 1519, elle a été envoyée en Espagne (Ercolano et al. 2021), initialement utilisée comme plante ornementale, a rapidement gagné en importance lors des échanges commerciaux, atteignant le Portugal en 1523, l'Italie en 1544, puis le sud de la France en 1560, s'adaptant aux conditions climatiques européennes et trouvant sa place dans les catalogues de graines dès 1778 (Campetella 2018). Au cours de la révolution française, les Parisiens ont découvert la tomate grâce aux Marseillais, mais ce n'est qu'en 1887 qu'elle a été officiellement classée comme légume, plus de deux siècles après sa découverte (Quinio 2016). Par la suite, les Européens ont diffusé la culture de la tomate au cours du 17<sup>e</sup> siècle en Asie, au Moyen-Orient, puis au 18<sup>e</sup> siècle au Japon et aux États-Unis (Métailié 2016) (Figure I-1). En Afrique du Nord, la tomate a été introduite au Maroc, puis en Algérie à la fin du 18<sup>ème</sup> siècle par des cultivateurs espagnols (Tomateros), attirés par les conditions climatiques propices à sa culture. Sa consommation a débuté dans nos pays avec l'apparition de la tomate dans la région d'Oran en 1905, avant de s'étendre vers le centre, notamment le littoral algérois. Cette expansion a été facilitée par l'adoption de systèmes de serres qui ont permis à la production nationale de rivaliser (Allache et al. 2015).

En 1949, la société semencière BURPEE, basée en Californie, lance sur le marché la première variété hybride F1 BIG BOY, caractérisée par son homogénéité, sa précocité et sa productivité supérieures aux variétés existantes. Plus tard en 1994, une autre entreprise californienne CALGENE propose la première variété transgénique sous le nom commercial

FLAV SAVR. En 2012, les scientifiques décodent le génome de la tomate domestique (*Solanum lycopersicum*), séquencé par le Tomato Genome Consortium (TGC) (Michaud 2018). Aujourd'hui, la tomate est le premier fruit produit dans le monde et largement consommé, que ce soit frais ou sous diverses formes transformées.

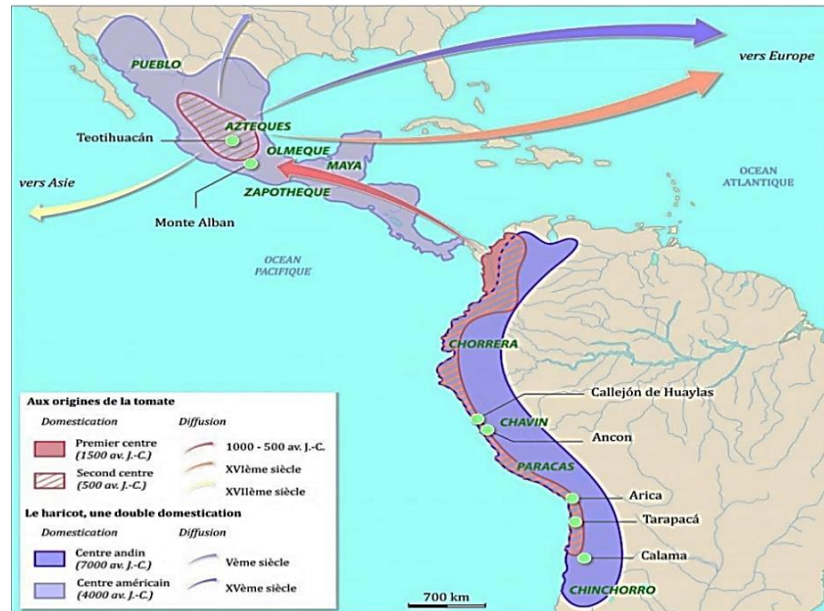


Figure I-1. Origine et diffusion de la tomate dans le monde (Gilles & Raffard 2018).

## 1.2. Nomenclateurs et classification botanique

La tomate est une plante herbacée issue d'un croisement naturel au sein des premières populations sauvages sur les montagnes d'Amérique latine (Saavedra et al. 2017). Certains individus de tomate instables ont été subis aux lois de la nature par croisement spontané pour s'installer aux premières mutations génétiques de la plante *Solanum* qu'était mieux adaptée au milieu écologique de l'Amérique centrale (OCDE 2017). Jusqu'au début du 20<sup>ème</sup> siècle, les variétés cultivées provenaient d'introductions à partir de son air naturel ou mutations et hybridations naturelles, sous le nom de « Tomatl », qui dans la langue nahuatl dans la région de Mexico, correspond à *physalis philadelphica* (Saavedra et al. 2017). Cependant, le nom finalement retenu est *Lycopersicon esculentum* Mill, introduit par Philip Miller en 1754 (OCDE 2017). Le nom du genre « *Lycopersicon* » vient du gréco-latin, signifiant " pêche de loup ", et le nom d'espèce « *esculentum* » signifie en latin « comestible » (Ounis 2017).

Dans les années 1920, un véritable programme d'amélioration génétique de la tomate a commencé aux États-Unis avec la variété cultivée « *Lycopersicon esculentum* Mill », en tant qu'espèce diploïde avec  $2n=24$  chromosomes (Ercolano et al. 2021). Cette variété présente également de nombreux mutants monogéniques, dont certains sont cruciaux pour la sélection morphologique, la résistance aux maladies ou servent de marqueurs iso-enzymatiques (OECD 2017). Actuellement, sa carte chromosomique compte précisément 235 gènes localisés (Ercolano et al. 2021).

Parmi les noms communs utilisés pour désigner la tomate, on trouve: tomate (Espagnol, Français), tomat (Indonésien), faan ke'e (Chinois), tomati (Afrique de l'Ouest), tomatl (Nahuatl, langue indigène du Mexique), jitomate (espagnol mexicain), pomodoro ou pomme

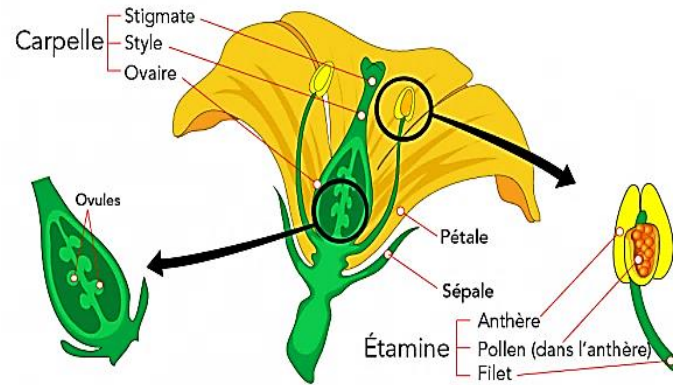
d'or (Italien), Nyanya (Swahili) (Shankara et al. 2005). Et Gausson et al. (1982) rappellent que la tomate appartient la classification botanique suivante :

Règne.....	<i>Plantae</i>
Sous règne.....	<i>Tracheobionta</i>
Division.....	<i>Magnoliophyta</i>
Classe.....	<i>Magnoliopsida</i>
Sous classe.....	<i>Asteridae</i>
Ordre.....	<i>Solanales</i>
Famille.....	<i>Solanaceae</i>
Genre.....	<i>Solanum</i> ou <i>Lycopersicon</i>
Espèce.....	<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill 1753

### 1.3. Description botanique de la plante de tomate

Aujourd'hui, il existe plus de 4000 variétés de tomate, qui se distinguent par les caractéristiques de leurs fruits, leur précocité et leur type de croissance : indéterminé ou déterminé ; ces différences conduisent à deux types de cultures bien distincts (Shankara et al. 2005). Il est important de noter que la plupart des variétés utilisées en Algérie sont des cultivars indéterminés tels que Panekra, Valouro, Kawa, Tofen, Tyerno, Timgad, Keylago, Agora et Zahra (Chougar 2011). Ces variétés continuent de pousser et de produire des bouquets floraux, tant que les conditions sont favorables (Si Mohammed 2017). Elles présentent une production plus échelonnée et étalée que les cultivars déterminés. En effet, les tiges de ce groupe émettent seulement 2 à 6 bouquets floraux, puis leur croissance s'arrête naturellement en raison de l'absence de la dominance apicale (Michaud 2018).

En général, la première cueillette peut avoir lieu 45-55 jours après la floraison, ou 90-120 jours après le semis (Shankara et al. 2005). Ces plantes annuelles possèdent des racines pivotantes qui poussent vigoureusement jusqu'à une profondeur de 50 cm ou plus, selon le type de sol. Leur racine principale produit une haute densité de racines latérales et adventices, tandis que leurs tiges sont pleines, fortement poilues et glandulaires, avec un port de croissance variant entre érigé et prostré atteignant une longueur de 2 à 4 m (Aisso et al. 2016). L'inflorescence est une cyme formée de 6 à 12 fleurs, et un pétiole mesure entre 3 à 6cm. Les feuilles sont disposées en spirale, mesurant de 15 à 50cm de long et 10 à 30cm de large. Les feuilles sont ovées à oblongues, couvertes de poils glandulaires, et les grandes feuilles sont parfois pennatifides à la base (Si Mohammed 2017). L'appareil reproducteur est bisexué, régulier, avec un diamètre compris entre 1,5 et 2 cm. Il se caractérise par un tube du calice court et velu ainsi que des sépales persistants (Badaoui 2018; Anonyme 2020). En général il y a 6 pétales soudés à la base, en forme de cloche ou en étoile, devenant jaunes et courbés lorsqu'ils sont mûrs (Quinio 2016). Il y a également 6 étamines dont les anthères ont une couleur jaune vif, entourant le style qui présente une extrémité stérile allongée (Decrouy 2021). L'ovaire est supère, composé de 2 à 9 carpelles, conférant à la plante un caractère autogame, bien que la fécondation croisée puisse également avoir lieu (Anonyme 2020) (Figure I-2).



**Figure I-2.** Structure de l'appareil reproducteur de la tomate (Anonyme 2020).

Les fruits varient selon le cultivar, se présentant généralement sous l'aspect d'une baie charnue à deux loges, de forme globulaire ou aplatie avec un diamètre compris entre 2-15 cm (Si Mohammed 2017). Leur couleur varie dans la gamme du jaune et vert poilu (pas encore mûrs) au rouge (mûrs) en passant par l'orange. Le pigment responsable de cette coloration, le lycopène, est un antioxydant dont la teneur augmente à la cuisson (Figure I-3). Les fruits renferment de nombreuses graines, appelées pépins, qui sont en forme de rein ou de poire (Aisso et al. 2016). Elles sont poilues, beiges, mesurant 3 à 5 mm de long et 2 à 4 mm de large. L'embryon est enroulé dans l'albumen et le poids moyen de 1000 graines est d'environ 2.5 à 3.5 g (Quinio 2016; Campetella 2018). Ces graines constituent d'importantes sources de matières premières végétales et industrielles, souvent utilisées directement comme ressource alimentaire et/ou comme semences. La tomate est aujourd'hui un légume extrêmement important en cuisine, intervenant dans la composition de nombreuses recettes. Elle peut être consommée crue, cuite, séchée ou sous forme de jus (Michaud 2018). Les tomates sont riches en minéraux, en vitamines, en acides aminés essentiels, en sucres, ainsi qu'en fibres alimentaires et beaucoup de vitamines B et C, du fer et du phosphore (Syndoux et al. 2019).



**Figure I-3.**

Différentes formes du fruit (Shankara et al. 2005) : a. Cultivar hâtif aux fruits aplatis et côtelés. b. Cultivar tardif aux grands fruits. c. Cultivar anglo-néerlandais. d. Cultivar aux fruits allongés. e. Différents cultivars de la tomate cerise.

## 2. Modes de production

Grâce à sa grande adaptabilité, la tomate est cultivée par plusieurs modes de production, en plein champ et sous abris (Ramasamy & Ravishankar 2018), afin de produire de nombreux végétaux hors de leur zone originaire, de réaliser des cultures hors saison, d'augmenter les rendements et d'obtenir des produits en meilleure qualité. Saavedra et al. (2017) ont indiqué que le système de culture en plein champ est le plus répandu, notamment si l'irrigation est disponible en saison sèche, et que la mécanisation est souvent nécessaire pour la préparation du sol. D'autre part, la culture sous abri fournit aujourd'hui une part essentielle du marché des produits frais pour les légumes-fruits tels que la tomate (Ramasamy & Ravishankar 2018). Ce mode de culture protégée implique l'utilisation de matériaux de couverture sur les plantes durant la totalité ou une partie de la culture, sous des bâches à plat, des petit tunnels, des grands tunnels, des bi-tunnels, ou des abris multi-chapelles à couverture plastique, ainsi que dans des serres, dans le but de produire les tomates tout au long de l'année sous un microclimat contrôlable, avec un minimum de mécanisation et de travail au sol. Ce mode de culture a également favorisé le développement de techniques modernes telles que les productions hors-sol ou hydroponiques, dans lesquelles les racines baignent dans un liquide nutritif s'écoule pour optimiser la croissance de chaque plante, supprimant ainsi certaines contraintes liées au sol. L'aéroponique, dans laquelle les racines sont placées dans un brouillard nutritif, a également été mise en œuvre (Didi 2018). L'environnement contrôlé dans la serre permet d'augmenter la qualité et la quantité de produits cultivés par unité de terre exploitée dans un temps minimum possible, tout en fournissant des conditions de travail plus agréables pour les producteurs et leurs équipes, dans des conditions thermiques, hygrométriques et photopériodiques adaptées et contrôlées automatiquement ou manuellement (Bensaha et al. 2019).

## 3. Importance de la culture de la tomate sous serre

La culture sous serre connaît depuis plusieurs années un développement important dans tous les pays concernés par la volonté d'augmenter la qualité et la quantité des produits agricoles, destinés à la consommation alimentaire des populations.

Afin d'évaluer cette filière, nous présentons quelques statistiques locales et globales dans ce sous-titre.

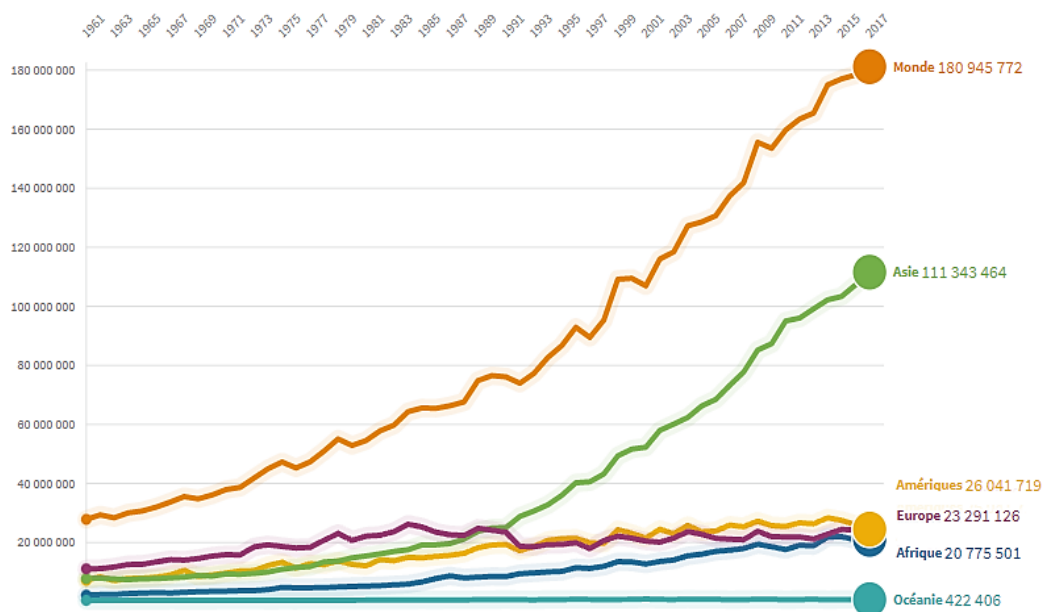
### 3.1. Dans le monde

Actuellement, la culture de la tomate est répandue dans de nombreux pays à travers le monde (170 selon la FAO) s'adaptant à divers climats (Ramasamy & Ravishankar 2018), même dans des régions relativement froides grâce au développement des cultures sous abri (Badaoui 2018). Les serres sont essentiellement utilisées en Amérique du Nord et en Europe, où les systèmes de production sont extrêmement intensifs et peuvent produire des rendements très élevés (jusqu'à 700 t/ha) (Heuvelink & Dorais 2005). Sa production mondiale a battu des records au cours de l'année 2018 avec 182256458 t, montrant une progression de 29.08% en 10 ans, occupant une superficie évaluée à 3.9 millions d'hectares (Olivier 2020). Selon la même source, les trois grands pays producteurs (Chine, Inde et Etats-Unis) contribuent à hauteur de 51.4% à la production mondiale, soit 90% de la production mondiale obtenue dans



l'hémisphère nord (Bassin Méditerranéen, Californie et Chine) (Chougar 2011; Ramasamy & Ravishankar 2018).

La Chine est de loin le premier producteur mondial avec un peu plus du quart du total (61631581 t/ an), avec un rendement moyen s'établissant à 59.25 t/ha (Atlas big 2021) et une production destinée essentiellement (environ 85%) au marché intérieur pour la consommation en frais (Rekibi 2015). Elle est suivie par cinq pays produisant plus de 5 millions de tonnes: l'Inde, les États-Unis, la Turquie, l'Egypte et l'Iran (Gaudiaut 2020 ; Atlas big 2021). Considérée globalement, l'Union européenne se placerait au troisième rang avec 12.77% de la production mondiale (23.2 millions de tonnes) (Olivier 2020). Les rendements varient entre 50 et 90 t/ha dans les pays du Sud de l'Europe, tandis que les pays du Nord, dont la production est quasi exclusivement assurée sous serre, affichent des rendements records: 509 t/ha aux Pays-Bas, 499 t/ha en Belgique et 418 au Royaume-Uni (Costa 2018; FAO 2020). Des records de 100 kg/m<sup>2</sup>, soit 1000 t/ha, ont même été obtenus aux Pays-Bas dans des serres avec éclairage artificiel (Costa 2018). L'Afrique se positionne comme la seconde principale région productrice de tomates dans le monde en matière de surface récoltée, couvrant plus de 77% de la superficie mondiale, avec une production 20.77 millions de tonnes (Rekibi 2015; Olivier 2020; FAO 2020) (Figure I-4).



**Figure I-4.** Evolution de la production mondiale de tomates (en tonnes) (Olivier 2020).

La production de tomates connaît deux grandes filières: la tomate destinée à la consommation en frais (tomate de marché) et la tomate destinée à la transformation et à la conserve (tomate d'industrie) (Arfa & Elloumi 2021). Sa production a connu une prévision globale de transformation estimée à 38.547 millions de tonnes, dont 96% provenaient des pays membres du WPTC, soit 36982 tonnes, Cette production se répartit comme suit : 10255 millions de tonnes en Californie, 5800 millions de tonnes en Chine, 5160 millions de tonnes en Italie, 2650 millions de tonnes à l'Espagne, 2500 millions de tonnes en Turquie puis 1300 millions de tonnes en Iran (WPTC 2020). De même, la surface des serres dans le monde a atteint environ 1 million d'hectares, qui produisent environ 40% des légumes frais dans le

Monde (FAO 2020). Selon le rapport « Carte du monde des légumes 2018 » de l'institution financière néerlandaise Rabobank que la Chine (82000 ha) et l'Espagne (70000 ha) sont les pays qui ont le plus de serres, représentant 30% des serres agricoles du monde. Pendant ce temps, l'Europe était le continent qui concentrait le plus de serres avec 210000 ha, suivi de l'Asie avec 180000 ha, de l'Afrique avec 44700 ha, du Moyen-Orient avec 27000 ha, de l'Amérique du Nord et centrale avec 23000 ha, de l'Amérique du Sud avec 14000 ha et enfin de l'Océanie avec seulement 1300 ha (Gaudiaut 2020).

Dans cette perspective, les productions sous serre offrent des opportunités pour lutter contre l'insécurité alimentaire et éliminer l'accès insuffisant à la nourriture (Rekibi 2015). En effet, les revenus issus de cette activité garantissent une accessibilité économique rentable pour les pays productifs (Arfa & Elloumi 2021). De plus, la consommation des fruits de la tomate contribue à un régime sain et équilibré, car ils sont riches en minéraux (notamment potassium, magnésium et phosphore), en vitamines, en acides aminés essentiels, en sucres ainsi qu'en fibres alimentaires (Métailié 2016). Ces fruits contiennent beaucoup de vitamines B et C, de fer et de phosphore ; ils peuvent être consommés frais ou cuits, transformés en purée, en jus et en ketchup ou de les séchées et de conservées (Shankara et al. 2005; Rekibi 2015).

### **3.2. Dans le bassin méditerranéen**

L'agriculture méditerranéenne est une région caractérisée par l'importance de production de légumes, essentiellement les tomates, où le climat est plus propice à la production sous serre sans chauffage (Rekibi 2015). Elle couvre 31% de la production mondiale de tomates, soit un volume global d'environ 50 millions de tonnes, dont la Turquie (10%) assure près du tiers, suivie de l'Égypte (7%), de l'Italie (4.77%), de l'Espagne (3.92%), du Maroc (0.77%), de la Tunisie (0.74%), de l'Algérie (0.72%) et de la France (0.58%), qui sont les grands pays producteurs (FAO 2020).

### **3.3. Situation des cultures sous serre en Algérie**

#### **3.3.1. Evolution des superficies et des productions des cultures tomate sous serre en Algérie**

De par son importance, la tomate constitue la 3<sup>ème</sup> activité agricole en Algérie, après les céréales et la pomme de terre (Khiari 2018). Selon les statistiques du ministère de l'agriculture, on constate une croissance continue de la production de tomates maraîchères, attribuée à l'accroissement des rendements des cultures de tomates sous serre dans les zones à fort potentiel de production. Cela s'explique également par la mise en œuvre de la nouvelle politique agricole lancée depuis 2008, comme le système d'irrigation goutte à goutte, les itinéraires culturales et le biais de l'infrastructure offerte par la plasticulture (serre chapelle, serre tunnel, etc.). Ces pratiques ont légèrement changé le développement du secteur au cours des dernières années, entraînant une croissance annuelle de la production de 8.3% entre 2010 et 2014, comparée à une moyenne de 6% entre 2000 et 2008 (MADR 2019).

En Algérie, la tomate est cultivée selon deux modes de production, à savoir en culture maraîchère et en culture industrielle (Arfa & Elloumi 2021). Sa superficie totale cultivée est actuellement autour de 39400 ha, représentant 7.94% de la superficie agricole totale réservée

aux cultures maraichères et industrielles, avec 22500 ha sont dédiés à la tomate fraîche représentée par 63.06%, et 16900 ha à la tomate industrielle donnée par 36.93%; les rendements sont de 43 t/ha pour la tomate en plein champ et de 0.13 t/ha pour la tomate sous serre. Ces cultures sont principalement localisées dans les plaines du Nord, la zone littorale (Skikda, les plaines du Cheliff, S.B.A, Mostaganem) ainsi que dans les régions de Biskra, Ouargla et Adrar pour le Sud (Chougar 2011). La campagne 2018-2019 a enregistré près de 1.5 million de tonnes de tomates fraîches, permettant au pays d'atteindre l'autosuffisance dans la filière de la tomate (FAO 2020).

### 3.3.2. Evolution des surfaces cultivées et des productions des cultures de tomate en serres à Biskra.

Depuis les années 1980, la migration de jeunes ruraux du nord de l'Algérie (Tipaza, Médéa, Ain Defla) à la recherche de nouvelles opportunités en agriculture dans le Sahara a stimulé l'essor de la production maraichère sous serre (Naouri et al. 2015) (Figure I-5). La région de Biskra est devenue un pôle agricole qui alimente l'Algérie en produits maraichers (Amichi 2018), avec une augmentation de 1370 ha en 2000 à 3524 ha en 2013, ce qui représente près de 90000 serres selon les statistiques agricoles de la wilaya (Naouri et al. 2015). Ces serres se trouvent principalement dans deux grands oasis agricoles à l'est, de Sidi Okba, Ain Naga et M'Ziraa, et à l'ouest de El Ghrous et Doucen (Khiari 2018) [Annexe I-1].

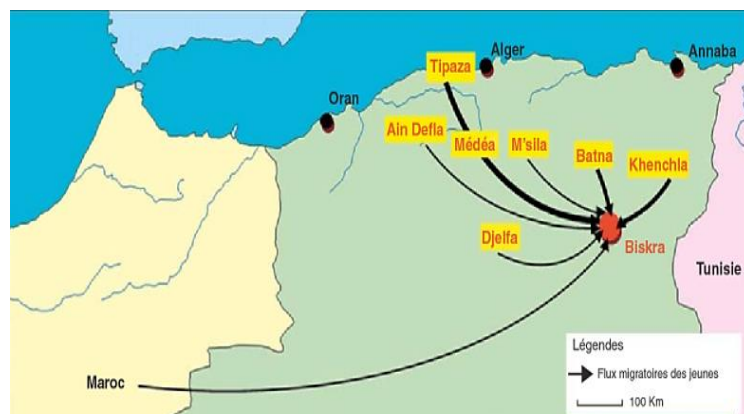


Figure I-5. Origines des jeunes agriculteurs migrant vers Biskra (Naouri et al. 2015).

Les agriculteurs cultivent la tomate principalement en primeur durant l'avant-saison (Aisso et al. 2016). C'est au cours de cette période qu'elle devient rémunératrice grâce à sa précocité sur le marché national. En saison, elle entre en concurrence avec la tomate du Nord du pays et est donc moins attractive au niveau économique (Amichi 2015). La surface agricole consacrée à la culture de la tomate sous serre dans la wilaya de Biskra a été revue à la hausse avec une extension estimée à 60%, passant de 2700 ha en 2010 (MADR 2019) à 9072 ha au titre de l'actuelle saison, comptant 150.000 serres consacrées à la culture de la tomate à raison de 25 serres/ha et un rendement moyen de 750 qx/ha, cela donne une production totale de 4469500 qx/ha, se divisant en 3430000 qx/ha dans les serres tunnels sur 8060 ha et 1039500 qx/ha dans les serres multi chapelles sur 1012 ha (DSA 2020) [Annexe I-1]. Sa production couvre jusqu'à 40% des besoins nationaux et est récemment orientée vers l'export (FAO 2020).

#### 4. Contraintes au développement de la tomate en Algérie

Le développement de la tomate fait face à de nombreux obstacles, comme la pression foncière, entraînant la surexploitation des terres, ainsi que des attaques biotiques et abiotiques (notamment le stress hydrique, les températures extrêmes) (Boudjedjou & Fenni 2011). Ces facteurs occasionnent d'énormes pertes de production, surtout dans les conditions de culture sous serres (INPV 2015). Le présent sous-titre traite des principaux ravageurs et maladies de la tomate, et offre des conseils de prévention et de répression.

##### - Contraintes sanitaires

Il existe quatre principaux groupes de limitations phytopathologiques associées à la culture de la tomate, susceptibles de survenir à différents stades de développement:

- **Ravageurs** : Ces organismes causent d'importants dommages, que ce soit pendant la prise culturale ou par la transmission de maladies biotiques. Selon Claude & Claude (1994), les nématodes tels que "*Meloidogyne incognita*, *M. javanica* et *M. arenaria*" peuvent entraîner une diminution d'environ 30% de la capacité productive de plante de tomate. De plus, les larves du papillon "*Helicoverpa armigera*" se nourrissent de feuilles, de fleurs, de fruits et même de racines, causant des dégâts considérables aux rendements. Certains vecteurs de maladies, tels que l'aleurode "*Trialeurodes vaporariorum*" et les thrips "*Frankliniella schultzei*", peuvent transmettre des virus tels que le TYLCV et la maladie bronzée de la tomate (TSWV). Les larves de la mouche mineuse "*Liriomyza trifolii*" et du papillon "*Tuta absoluta*" présentent également des risques de production allant jusqu'à 30% et 100%, respectivement (Raj et al. 2020; Abdelmaksoud et al. 2016).

- **Maladies cryptogamiques et virales** : Ces maladies touchent toutes les parties de la plante par le biais de blessures causées par des accidents naturels ou physiques. Parmi elles, on trouve le mildiou provoqué par les oomycètes de "*Phytophthora infestans*", la pourriture grise due à "*Botrytis cinerea*", et l'oïdium causé par "*Pseudoidium neolycopersici*". Le chancre bactérien dû à "*Clavibacter michiganensis subsp. Michiganensis*". Les maladies virales, telles que le mosaïque du tabac (TMV), le Tomato Yellow Leaf Curl Virus (TYLCV) et le Tomato Big-Bud mycoplasma (TBB), se propagent souvent dans la culture par l'intermédiaire d'insectes vecteurs comme les mouches blanches, les thrips et les pucerons (Si Mohammed 2017).

- **Désordres physiologiques** : Ces problèmes sont généralement provoqués par un éclairage insuffisant ou excessif, des conditions météorologiques défavorables (trop chaudes, trop froides, trop pluvieuses, etc.), un mauvais drainage ou un manque de nutriments (carence). Parmi ces désordres, on compte les nécroses apicales, les fentes de croissance et le coup de soleil ou la brûlure solaire (Ramasamy & Ravishankar 2018).

- **Adventices ou mauvaises herbes** : Des plantes telles que le Chiendent pied de poule, le Chiendent rampant, le Cyperus, le Pourpier potager, le Souchet comestible, la lampourde glouteron, les Digitaires, etc., peuvent servir de réservoirs à divers organismes tels qu'insectes ravageurs, champignons parasites, nématodes, etc. (Chougar 2011).

##### - Contraintes commerciales

En outre, les contraintes commerciales sont une réalité pour la production agricole, avec des pertes exposées à plusieurs pertes pouvant survenir tout au long du processus, de la

culture à la transformation des produits agricoles ; ces pertes représentent environ 50% de la production agricole mondiale (Isidore 2019).

Pratiquement tous les ravageurs et maladies sont réprimés adéquatement pendant la période de culture grâce à l'application de pesticides synthétiques chimiques. Les cultures sous abris consomment à elles seules environ 15% des pesticides et des engrais utilisés dans le maraîchage, consommant entre 2 à 4 fois plus de ces produits que les cultures en plein champ (Rahmoune et al. 2020). Cependant, l'utilisation abusive de produits de traitement systémique peut entraîner des résidus dans les légumes et les fruits frais en raison du non-respect des doses, des techniques et des délais d'application (Rekibi 2015). En outre, la plupart des pesticides sont coûteux, augmentant ainsi le coût de production (Shankara et al. 2005).

En Algérie, le rendement agricole est relativement faible, se situant considérablement en deçà des niveaux enregistrés dans d'autres pays méditerranéens tels que le Maroc, l'Espagne et l'Italie, où les rendements varient de 350 qx/ha à 1500 qx/ha (FAO 2020). Les exportations de tomates fraîches produites sous abris ne représentent que 2% de la quantité totale produite, soit une moyenne de 1.950 tonnes au cours des 5 dernières années (MADR 2019). Cette faible quantité s'explique principalement par les exigences des marchés internationaux en termes de qualité visuelle (maturité, couleur) et qualité gustative (goût), qui demeurent les principaux déterminants des exportations (Assassi et al. 2020). En plus de la valeur nutritive et sanitaire du produit, le produit biologique gagne rapidement une meilleure position sur le marché international grâce à un calendrier de production et à des schémas de culture judicieusement établis (Syndoux et al. 2019).

Avec la fin de l'année 2020, l'État algérien a accordé une grande attention au secteur agricole en raison du rôle crucial qu'il a joué pendant la crise du Covid-19 et la baisse des revenus pétroliers, qui constituaient la principale source de devises du pays. La nouvelle politique agricole vise à encourager les investissements privés et publics par la création de l'Office National pour le Développement de l'Agriculture Saharienne et de l'Office de Développement de l'Agriculture Industrielle dans le Sud du pays.

L'objectif est de réaliser des produits agricoles conformes aux normes internationales et de s'orienter vers une production biologique basée sur l'introduction de techniques de lutte intégrée pour répondre aux exigences globales des marchés internationaux (OECD 2017). Par ailleurs, la gestion des systèmes de production est envisagée comme une solution pour lever les contraintes dans le secteur de la tomate industrielle (Arfa & Elloumi 2021). Cette approche comprend l'analyse de la compétitivité du secteur sur le marché national et international, ainsi que l'identification de nouveaux mécanismes de promotion (Assassi et al. 2020), basés sur la valeur nutritionnelle des légumes et sur les méthodes avancées de conservation et de stockage (Lubello et al. 2017).

Actuellement, la chenille de la mineuse des tomates représente une menace significative pour la qualité des fruits, risquant d'entraver l'exportation des produits vers divers pays. Les dommages restent importants si une lutte raisonnée n'est pas appliquée (Rekibi 2015), posant ainsi un nouveau défi pour la politique agricole nationale (Naouri et al. 2015).

## Chapitre I.2

### Monographie, surveillance et détection de la mineuse de tomate *Tuta absoluta*.

#### 1. Origine et aire de répartition

##### 1.1. Au monde

*Tuta absoluta* a été initialement décrite comme originaire d'Amérique centrale (Santana et al. 2019). Cependant, grâce à l'utilisation de marqueurs microsatellites, les chercheurs ont découvert que la région centrale du Chili est à l'origine de la population de ravageurs (Guillemaud et al. 2015). Ce ravageur a commencé à se propager dans les pays d'Amérique latine au cours des années 1960 et a été déclaré pour la première fois comme un ravageur majeur en 1962 au Japon, puis en 1964 en Argentine, et plus tard en Bolivie et au Brésil en 1980 (Ghaderi et al. 2020). Après plus de 50 ans, il s'est répandu dans toute l'Amérique latine. Le ravageur envahissant s'est adapté au climat chaud et s'est rapidement déplacé vers le sud de l'Europe, l'Afrique du Nord et tous les pays de la Méditerranée (Biondi & Desneux 2019).

Depuis sa première détection en Espagne en 2006, il a été signalé en France, en Italie, en Grèce, à Malte, au Maroc, en Algérie et en Libye en 2008 (Mansour et al. 2018). Ensuite en 2009, il a été détecté pour la première fois en Turquie. L'avancée de *T. absoluta* s'est poursuivie vers l'est pour atteindre la Syrie, le Liban, la Jordanie et la Palestine (Alili 2016). Récemment, l'insecte a été signalé en Egypte en 2011, puis il s'est rapidement propagé en Afrique subsaharienne (Sabbour 2014). En 2012, il a été signalé au Soudan et en Éthiopie à l'Est et au Sénégal à l'Ouest, suivi en 2013 au Niger et plus tard au Nigeria en 2015, cette propagation rapide peut être attribuée à la culture intensive et le commerce transfrontalier de fruits de tomate, qui constituent l'hôte principal pour l'insecte (Tonnang et al. 2015 ; Aigbedion-Atalor et al. 2019). De plus, les conditions écologiques et climatiques en Afrique sont similaires à celles qui prévalent dans les pays d'Amérique du Sud (Santana et al. 2019). En Asie, il est apparu en Irak et en Iran avant de se propager en Arabie saoudite, au Yémen, à Oman et dans le reste des États du golfe Persique (Alili 2016). Dernièrement, ce ravageur a été identifié dans plusieurs districts du Népal et est maintenant hautement endémique au Myanmar, en particulier dans les zones de culture de tomates tropicales telles que Mandalay, Sagaing et Monywa (Bajracharya et al. 2016). Il est cependant apparu tardivement en Chine, seulement en 2020 (Zhang et al. 2020) (Figure I-6).

Le service d'inspection zoosanitaire et phytosanitaire (USDA-APHIS) du département de l'Agriculture des États-Unis estime qu'il est présent dans la plupart des pays du monde (Santana et al. 2019). Cette présence s'explique par plusieurs facteurs tels que la proximité géographique avec les pays envahis, l'absence de barrières physiques, mais aussi la rapidité de son adaptation aux nouvelles zones (Aigbedion-Atalor et al. 2019). Aujourd'hui, on observe une invasion mondiale de ce ravageur, et sa présence est signalée en Europe, en Afrique et en Asie où il est considéré comme un ravageur primaire de la tomate (Ouedraogo 2020).

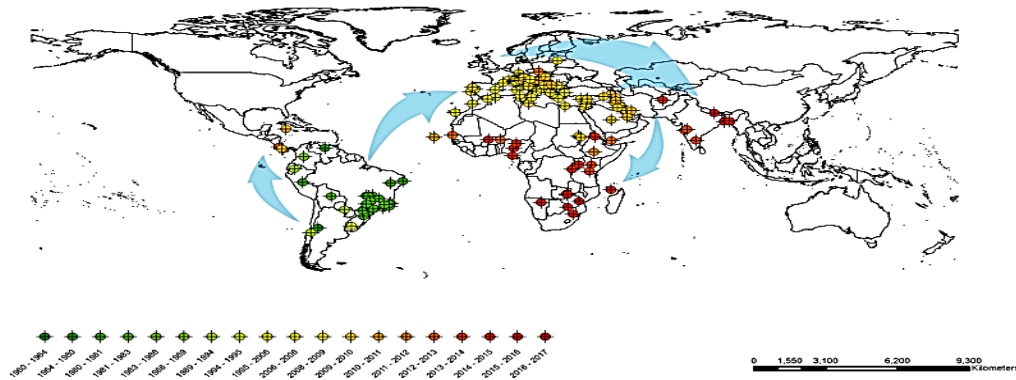


Figure I-6. Carte de répartition de *Tuta absoluta* dans le monde (Santana et al. 2019).

## 1.2. Géo-information de référence de *Tuta absoluta*

Les informations utilisées pour générer la distribution mondiale de *T. absoluta* contiennent de nombreux défis, car des informations détaillées sur certains enregistrements n'ont été fournies qu'au niveau national et régional, rendant ainsi ces informations inutilisables pour le géoréférencement (Tonnang et al. 2015). La carte d'incidence et d'établissement de la référence géographique absolue a montré que la propagation du ravageur est limitée aux 45° de latitude nord et sud des zones tempérées, situées au-dessus de la frontière des régions subtropicales (Khiari 2018). Cependant, l'organisme nuisible a été trouvé dans certains pays situés juste au-dessus de cette fourchette (Ukraine, Russie et Royaume-Uni) sans connaissance détaillée de leur répartition (Santana et al. 2019). La propagation naturelle du ravageur n'est pas encore bien connue, mais il est prouvé que les adultes de la tomate peuvent se propager sur plusieurs kilomètres par le vol ou par le vent (Tonnang et al. 2015). Cela indique que l'insecte a la capacité de se propager facilement par des moyens naturels ou par les échanges de produits agricoles (Aigbedion-Atalor et al. 2019).

Selon Santana et al. (2019), la distribution spatiale mondiale prévue de *T. absoluta*, en tenant compte des changements climatiques projetés pour les années 2050 et 2100, verra une diminution dans les régions situées sur l'équateur (Amérique du Sud, Méditerranée, Afrique subsaharienne et certaines zones en Asie), passant de 44% à 54% selon les données actuelles (Xian et al. 2017). Cette baisse a été imputée à l'effet croissant du stress lié à la chaleur et/ou à l'humidité sur la croissance du ravageur (Santana et al. 2019). En revanche, les changements climatiques attendus auront un impact négatif sur *T. absoluta* autour de l'équateur, notamment dans le sud-est et le centre-ouest des États-Unis, ainsi que dans d'autres pays d'Europe du Nord et de l'Est tels que le Royaume-Uni, le Danemark, la Russie et la Turquie (Desneux et al. 2010). Dans ces régions, le ravageur deviendra plus adapté à sa croissance en raison de la diminution du stress dû au froid dans le futur (Tonnang et al. 2015).

Selon la même référence, les surfaces propices à la culture de la tomate augmenteront de 15% d'ici 2100 par rapport à l'heure actuelle, et les surfaces impropres à leur croissance augmenteront respectivement de 9% et 8% d'ici 2050 et 2100 (Santana et al. 2019). De même, des pays comme la Chine, le Mexique, les États-Unis d'Amérique et les pays d'Europe du Nord sont les zones les plus favorables à être infestées par les ravageurs aujourd'hui et à l'avenir (Xian et al. 2017).

### 1.3. En Algérie

L'histoire de l'introduction de la mineuse des feuilles *T. absoluta* en Algérie est assez récente (Si Mohammed 2017). Son premier signalement remonte au printemps 2008, et a été enregistré dans les zones côtières de l'ouest, notamment dans la Wilaya de Mostaganem, au centre, à Tipasa, Chlef, Boumerdès ainsi qu'à la capitale et sur une partie de la côte Est, à Tizi-Ouzou (Chougar 2011), Jijel, avant de se diffuser vers le sud du pays (EPPO 2007). Sa présence à Biskra remonte à fin 2008, et les facteurs probables de cette expansion sont les échanges commerciaux et l'introduction de plantes maraichères infestées, et les dégâts n'ont été enregistrés qu'en culture de tomate (Allache & Demnati 2020). Sa dispersion rapide d'Ouest en Est a alerté les autorités phytosanitaires, qui ont déclaré cet insecte comme un ennemi majeur de la tomate à la fois en plein champ et sous serre, il pourrait infester toutes les régions de production agricole, mettant en danger de nombreuses cultures horticoles considérées comme des produits de rente dans la région (INPV 2015). L'abondance des petits exploitants peut également faciliter sa propagation rapide, c'est pourquoi des inspections phytosanitaires vigilantes du matériel génétique végétal importé sont effectuées et des mesures de quarantaine strictes sont adoptées pour échanger du matériel de plantation et de récolte frais des wilayas endémiques vers des wilayas non endémiques, dans le but de ralentir la propagation de ce ravageur dévastateur. (Tonnang et al. 2015).

## 2. Nomenclateurs et position taxonomique

La mineuse à feuilles de tomate *T. absoluta* est une teigne oligophage néotropicale de la famille de Gelechiidae qui attaque des solanacées, en particulier la culture de tomates, elle est également connue sous le nom de tordeuse de la tomate d'Amérique du Sud, de pyrale de la tomate et d'oxyure de la tomate d'Amérique du Sud (Krechemer & Foerster 2017). Initialement décrit en 1917 par Meyrick sous le nom de *Phthorimaea absoluta* à partir d'individus prélevés à Huancayo (Pérou) (Ounis 2017), le ravageur a été signalé ultérieurement sous les noms de *Gnorimoschema absoluta* en 1962, *Scrobipalpula absoluta* (Povolny) en 1964 ou *Scrobalpulo absoluta* (Polovny) en 1987, il a finalement été décrit sous le nom de *T. absoluta* par Povolny en 1994, suite à plusieurs modifications antérieures de la nomenclature ; son nom scientifique, "*Tuta absoluta*", est dérivé du qualificatif "désastre absolu", soulignant ainsi la gravité des dommages qu'il peut causer (Sunil et al. 2020).

Selon Meyrick (1917), la mineuse de la tomate se classe comme suit :

Embranchement	<i>Arthropoda</i>
Sous-embr.	<i>Hexapoda</i>
Classe	<i>Insecta</i>
Sous-classe	<i>Pterygota</i>
Infra_classe	<i>Neoptera</i>
Ordre	<i>Lepidoptera</i>
Sous-ordre	<i>Hétérocères</i>
Super-famille	<i>Tineoidea</i>
Famille	<i>Gelechiidae</i>
Genre	<i>Tuta</i>
Espèces	<i>Tuta absoluta</i>



### 3. Identification de *Tuta absoluta*

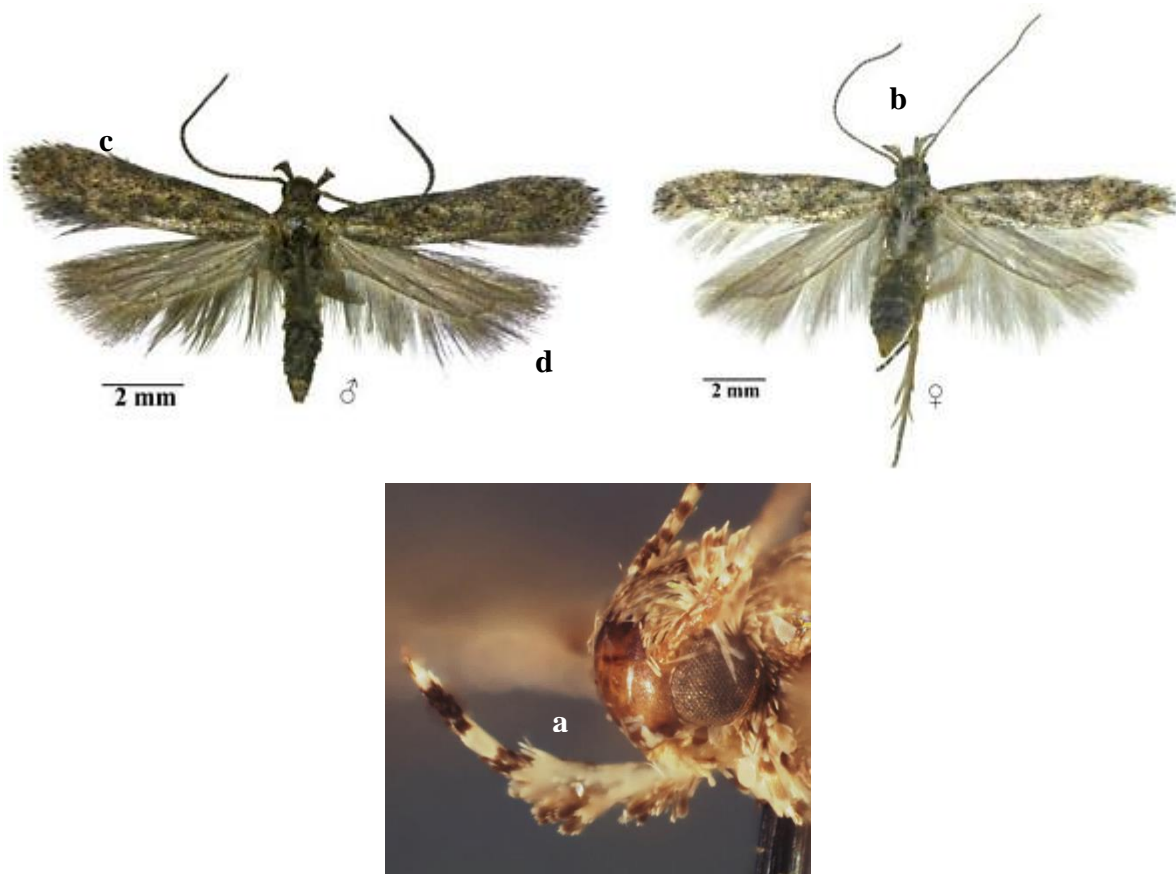
#### 3.1. Identification morphologique

Les espèces de *T. absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera : Gelechiidae) sont des micro-lépidoptères, dont les caractéristiques morphologiques sont modifiées pendant leur stade de développement.

##### - Reconnaissance des adultes

Les papillons adultes ont une petite taille, mesurant environ 5 à 7 mm de longueur corporelle et de 8 à 10 mm d'envergure ; leurs ailes antérieures sont étroites, couvertes d'écailles de couleur brune, grise et argentée, agrémentées de taches noires, tandis que les ailes postérieures sont lancéolées avec un apex pointu, grises, et caractérisées par une longue frange poilue. Les nervations alaires sont identiques à celles de la famille des Gelechiidae (Chougar 2011).

Les mâles présentent une coloration légèrement plus sombre que les femelles ; ces dernières ont un ventre plus large, de couleur crème, mais celui des mâles est gris. Leurs antennes sont filiformes et bicolores, alternant entre le brun et le noir, avec un palpe labial est renversé (Zhang et al. 2020) (Figure I-7).

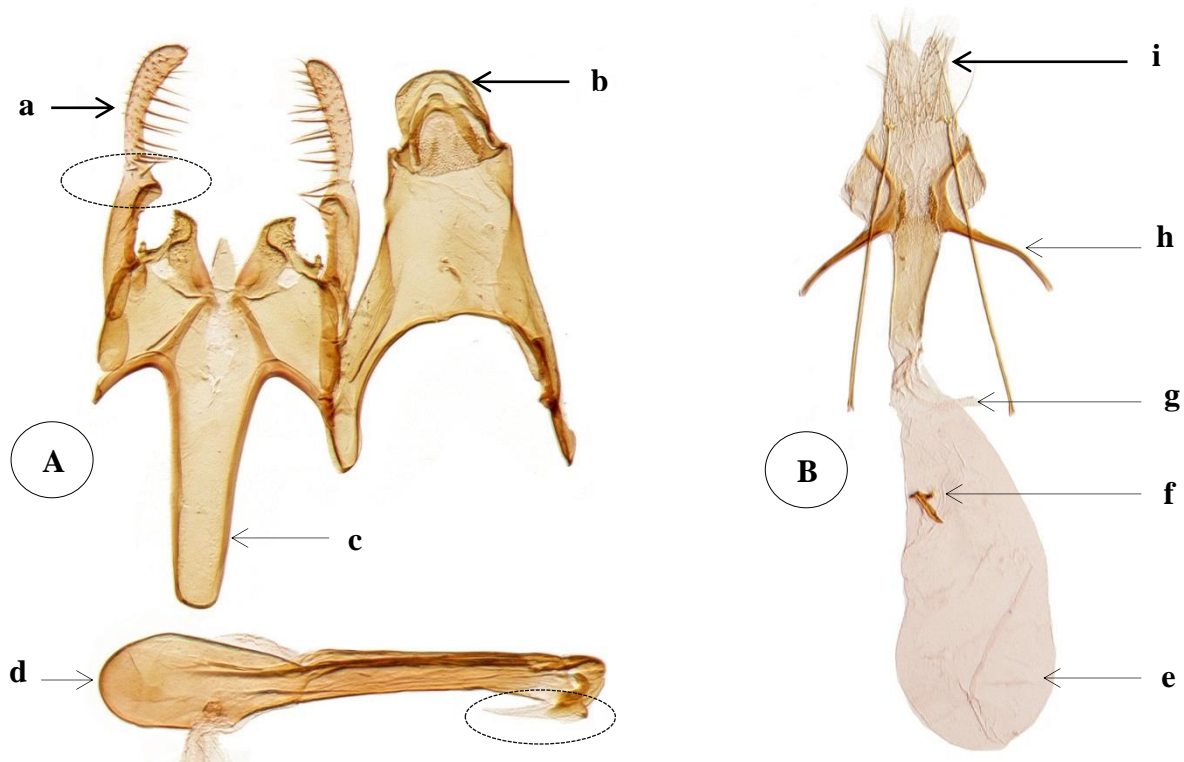


**Figure I-7.**

Tête et morphologie générale d'un adulte mâle de *Tuta absoluta* (Marja et al. 2015): a. Palpe labial. b. Antenne. c. Aile antérieures. d. Aile postérieure.

Les organes génitaux masculins ont un large gnathos en forme de fer à cheval et une valve digitée avec une bosse médiane et une constriction. Le vinculum est large,

profondément creusé médialement, avec des processus en forme de trapèze appariés, dont les extrémités sont incurvées vers l'extérieur. En revanche, les femelles ont un huitième segment avec une plaque fortement sclérifiée, exhibant une marge proximale arquée, et le bord interne de cette plaque est plié et recouvert d'une texture semblable à de la mousse. L'antre est long et largement en forme d'entonnoir, s'étendant au-delà de l'apophyse antérieure, et le corps boursa à un petit signe en forme d'épine (Elouissi 2016) (Figure I-8).



**Figure I-8.**

Appareil génital de *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917); Genitalia ♂ (A) et ♀ (B), d'après (Marja et al. 2015) : a. Gnathos. b. Valve. c. Vinculum. d. Pénis ou édéage. e. Bourse copulatrice. f. Signum. g. Canal copulateur. h. Apophyse. i. Papilles anales.

- **Stades immatures**

✓ **Œufs**

Selon Chougar (2011), l'œuf possède une forme cylindrique (ovale) avec des dimensions de 0.36 mm de longueur et 0.22 mm de diamètre, invisibles à l'œil. À la ponte, ils sont de couleur blanc-crème et deviennent jaune-orange en plein développement, devenant plus foncés à l'approche de l'éclosion. Ils sont entourés par une cuticule translucide pour les protéger (Figure I-9a).

✓ **Formes larvaires**

En général, les larves sont éruciformes de couleur crème au début ; les plus âgées deviennent verdâtres, puis elles tiennent une large bande rosâtre sur le dos, avec deux étroites bandes noires sur le côté et en dessous de la tête comme des signes distinctifs. Elles sont également 5 paires claires de «fausses pattes» (Marja et al. 2015).

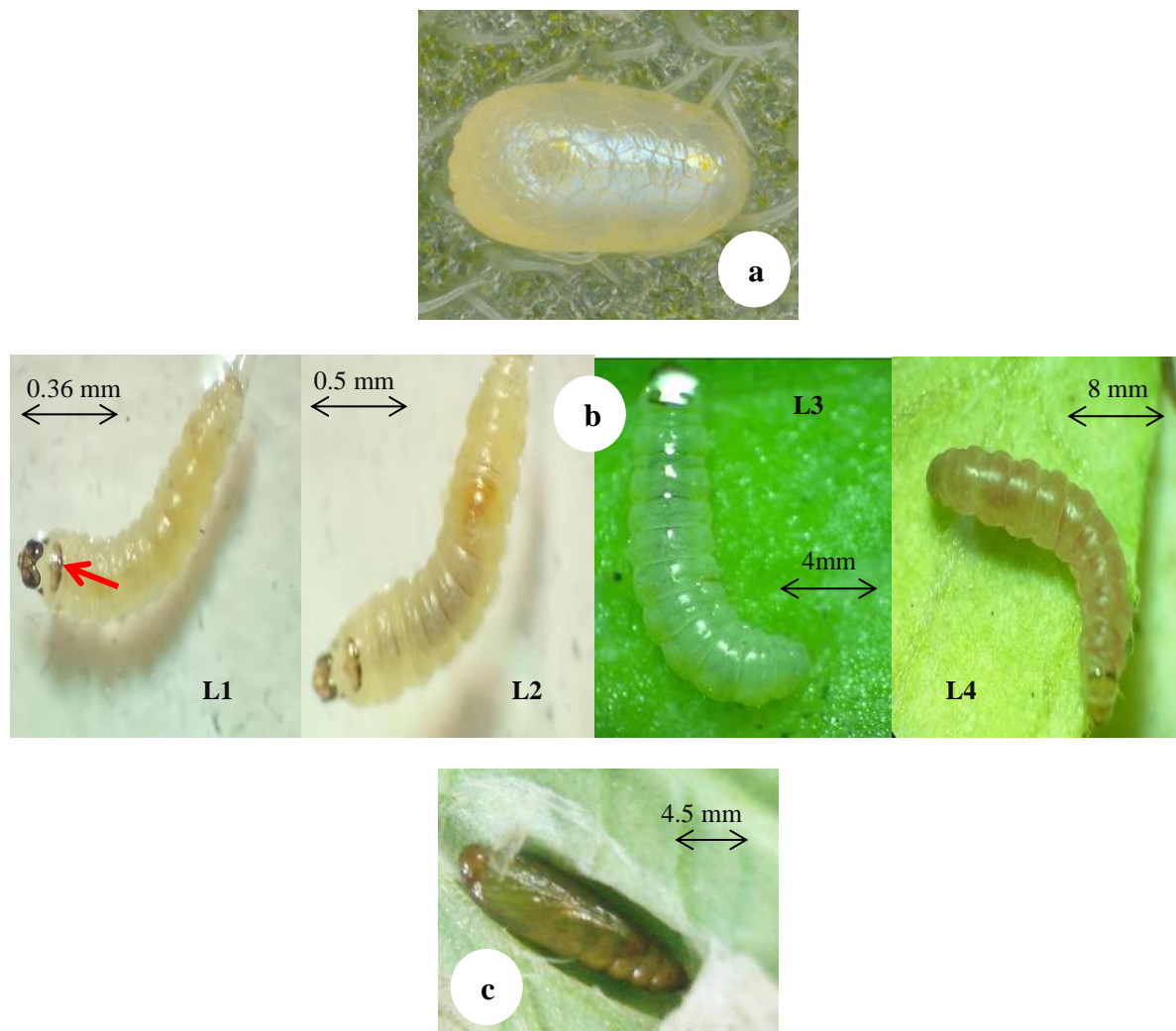
Leur croissance se fait par des mues successives, au cours desquelles la longueur des chenilles augmente de 0.4 à 7.3 mm (la taille de la larve L4 est en moyenne 10 fois plus

longue que la larve L1), alors que les tailles de la capsule céphalique varient de 0.1 à 0.6 mm du 1er au 4ème stade larvaire (Dehliz 2016). La microscopie électronique à balayage a révélé que la tête des larves de *T. absoluta* est une capsule sclérotisée arrondie avec des pièces buccales mandibulaires dirigées vers le bas (hypognathe) (Abd El-Ghany & Faucheux 2021).

La partie frontale de la capsule céphalique du quatrième stade larvaire comprend les antennes et les pièces buccales (composées d'un labrum, d'une paire de mandibules, d'une paire de maxillaires, d'un labium et d'un hypopharynx). L'antenne est courte et émerge d'une base membraneuse proéminente (Chougar 2011). De plus, différentes séries de soies sensorielles et de perforations ou de pores sont présentes sur la tête (Marja et al. 2015) (Figure I-9b).

#### ✓ **Forme Chrysalide**

Cette dernière, initialement cylindrique et de couleur verte ; au début elle vire au brun foncé à l'approche de l'émergence, mesurant de 4 mm à 5 mm de long et 1.1 mm de diamètre. Généralement, elle se recouvre d'un cocon blanc et soyeux aux fils peu serrés (Ouedraogo 2020) (Figure I-9c).



**Figure I-9.**

Différentes formes de *Tuta absoluta* : a. Œufs de *Tuta absoluta* (Marja et al. 2015). b. Larves de *Tuta absoluta* (Gr.x40), caractérisées par bande noire sur le pronotum (Marja et al. 2015). c. Chrysalide de *Tuta absoluta* (Gr.x40) (Ouedraogo 2020). c. Chrysalide de *Tuta absoluta* (Gr.x40) (Ouedraogo 2020).

### 3.2. Identification moléculaire

Les adultes sont de petite taille, avec une envergure d'environ un centimètre et sont dépourvus de marques distinctives, ce qui rend l'identification morphologique difficile (Zink et al. 2020). Des outils moléculaires, tels que l'ADN Barcoding, ont été utilisés pour l'identification moléculaire des espèces ; ce système utilise la diversité des séquences dans de courtes régions de gènes normalisées facilitant ainsi l'identification des espèces Gelechiidae (Pompanon & Shehzad 2019). Cette méthode normalisée d'identification des espèces concentre les efforts de séquençage sur un gène cible, la sous-unité I du cytochrome c oxydase (COI). Le séquençage du génome de *T. absoluta* a montré des liens génétiques étroitement apparentés avec les génomes de deux espèces gelechiidae, *Keiferia lycopersicella* et *Phthorimaea operculella* (Tabuloc et al. 2019) (Figure I-10).

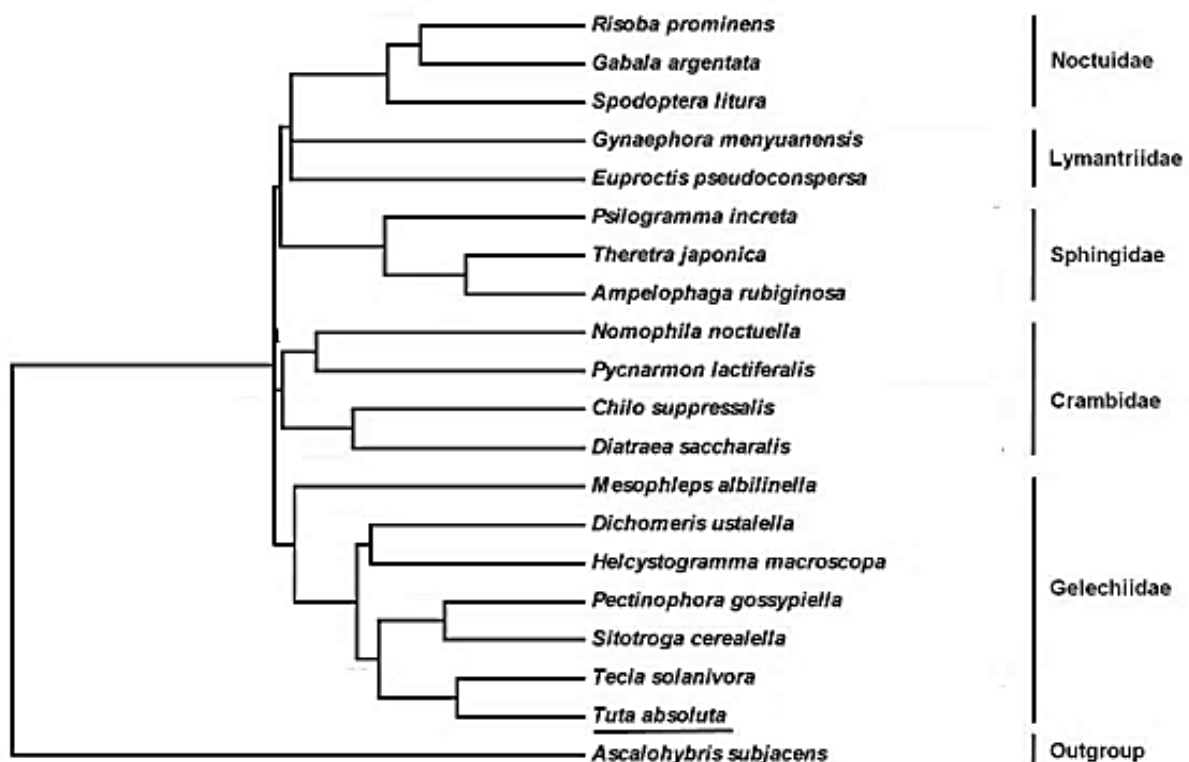


Figure I-10. Arbre phylogénétique montrant la relation entre *Tuta absoluta* et 18 autres papillons nocturnes sur la base de la méthode de jointure des voisins (Zhang et al. 2020).

### 4. Bioécologie et cycle de développement de *Tuta absoluta*

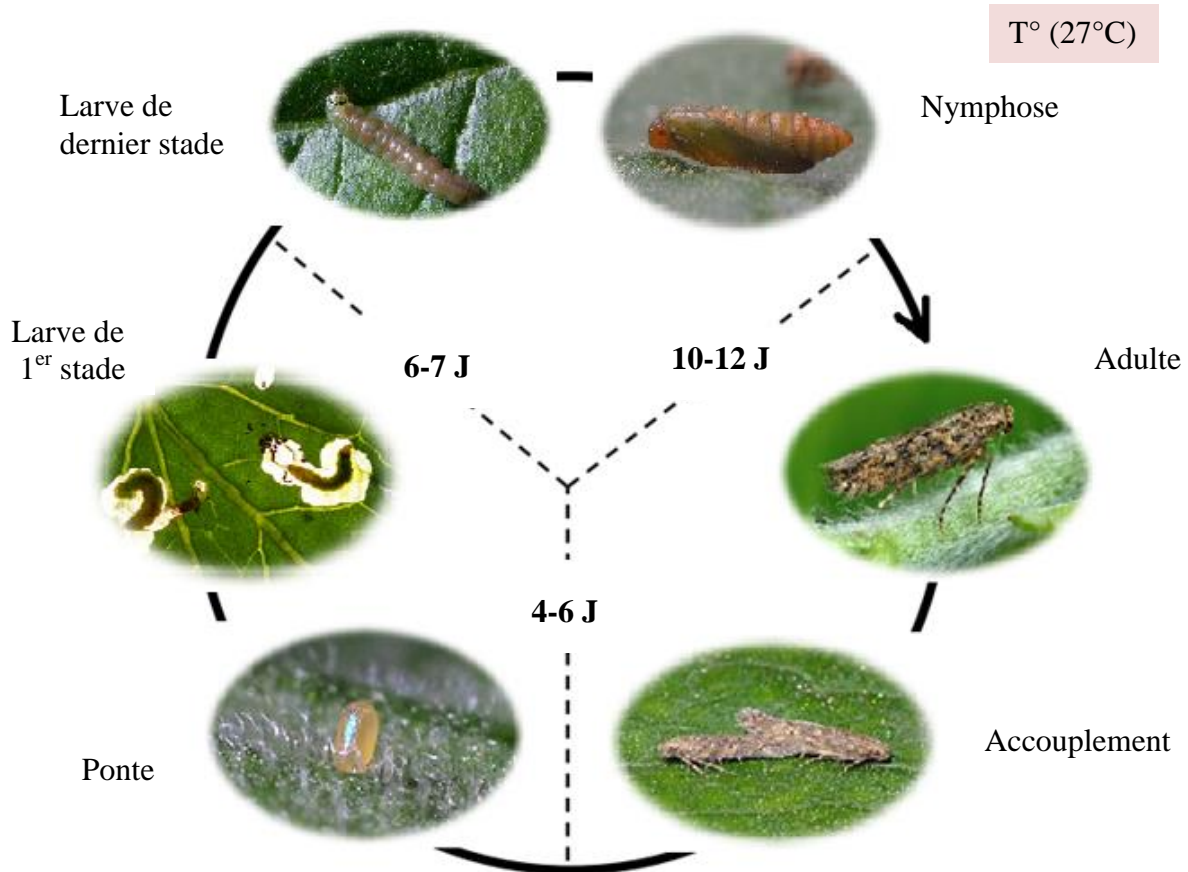
Le développement de *T. absoluta* est holométabole, comprenant quatre stades de développement distincts au cours de sa vie : œuf, larve, chrysalide (nymphe) et adulte, comme chez tous les Lépidoptères ; chaque stade présente des caractéristiques morphologiques et écologiques spécifiques, et la durée de croissance de chacun de ces stades est généralement constante à une température moyenne donnée (Alili 2016).

Les adultes restent cachés durant la matinée parmi les feuilles de la plante hôte, puis émergent la nuit pour l'alimentation ou l'accouplement, qui ne fait qu'une fois par jour aux premières heures de la journée ; elles atteignent généralement jusqu'à six accouplements au cours de leur vie (Elouissi 2016). Sachant qu'un seul accouplement suffit pour fertiliser tous

les œufs pondus, que ce soit de nuit ou tôt le matin, les femelles fécondées piquent les feuilles des plantes-hôtes provoquant ainsi des lésions sur la partie inférieure qui serviront ensuite un site de ponte (Desneux et al. 2010). Ces piqûres provoquent la mort d'un grand nombre de cellules et sont visibles à l'œil nu ; les mâles sont incapables de piquer les feuilles mais ont été observés se nourrissant sur des piqûres produites par des femelles, et les œufs sont déposés séparément ou en groupes de façon aléatoire à raison de 2 à 5 œufs, de couleur blanc crème à la ponte (Alili 2016). Chaque femelle peut pondre un total d'environ 260 œufs au cours de sa vie (Ounis 2017).

Au début de l'infestation, les nouveau-nés nouvellement émergés (premier stade) pénétrant la feuille dans le mésophylle après 2-3 jours, se couchent et s'alimentent entre les surfaces inférieure et supérieure de la feuille pour former de petites mines transparentes (Elouissi 2016). En raison de l'alimentation continue, les larves passent par quatre stades larvaires, où les larves L2, L3 se disséminent rapidement et forment des mines irrégulières qui se combinent pour finalement créer des galeries sur les feuilles (Sunil et al. 2020). Jusqu'au stade L4, les larves acquièrent une grande mobilité, engendrant plus de dégâts sur les cultures avant de se nymphoser à l'extérieur, soit dans le sol ou soit sur les feuilles recourbées en fonction des conditions environnementales (Desneux et al. 2010). La nymphose est inversement affectée par la sécheresse et l'humidité élevée, et la *T. absoluta* n'entre pas en diapause quand la nourriture est disponible (Urbaneja et al. 2009) (Figure I-11).

La sortie des adultes de toutes les espèces du genre *Tuta* se produit 7 à 14 jours après la nymphose, à des températures comprises entre 20°C et 30°C (Allache et al. 2012 ; 2015). Toutefois, à des températures plus basses, la sortie est retardée, montrant une tolérance au froid avec 50% de survie larvaire et nymphale (Badaoui 2018). Au Chili, le pays natal du ravageur, des études ont démontré que leur cycle de développement prend 76.3 jours à 14°C, 39.8 jours à 19.7°C et 23.8 jours à 27.1°C (Ounis 2017; Mansour et al. 2018). Les caractéristiques biologiques de *T.absoluta* lui permettent d'accomplir plus de 10 générations par an (Biondi & Desneux 2019). De plus, les études de Sylla (2018) et Chougar (2011) indiquent que les paramètres de développement, de reproduction, de survie et démographiques de *T. absoluta* varient selon les cultivars commerciaux de tomates et/ou les plantes hôtes en général.



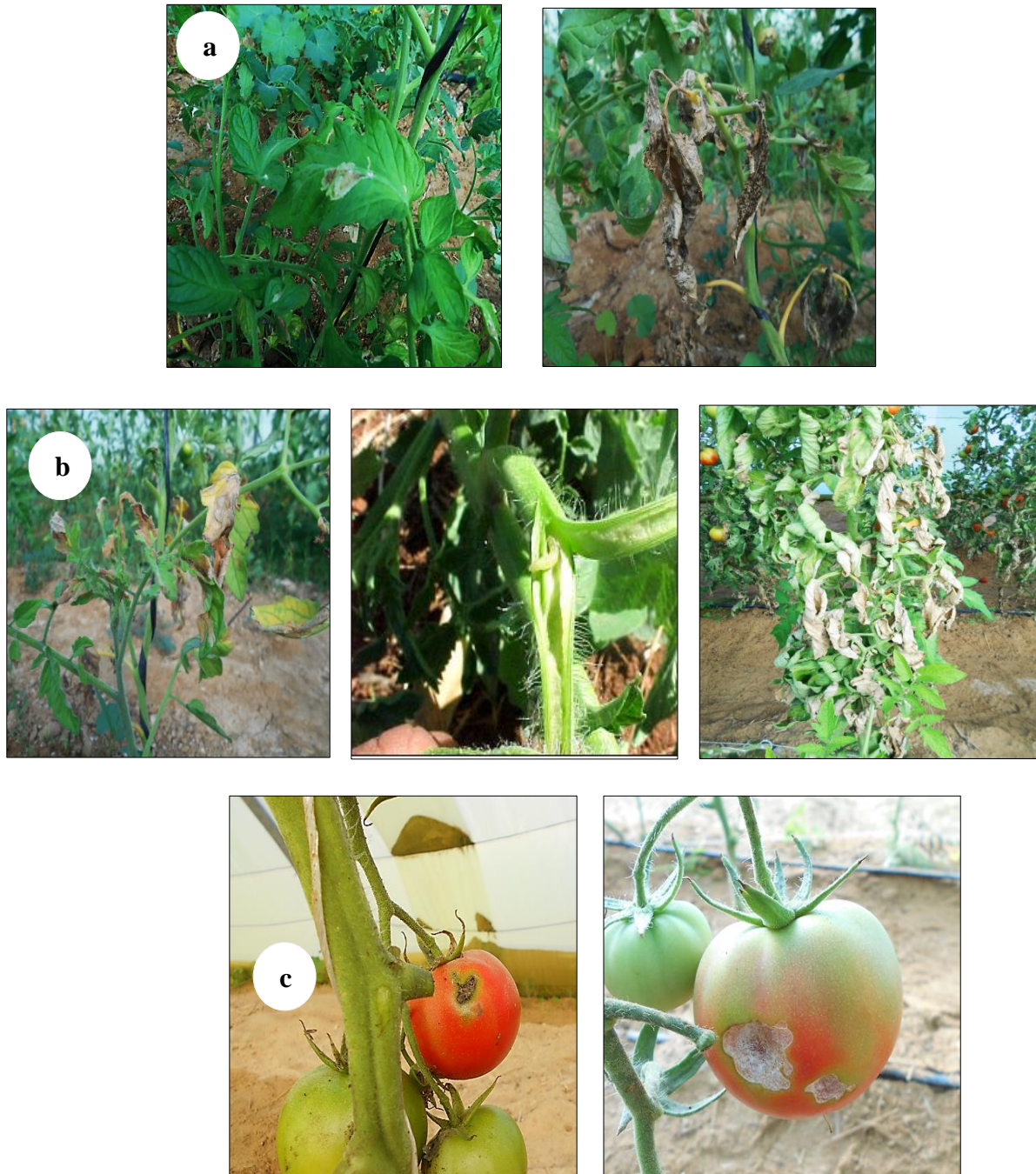
**Figure I-11.** Cycle de vie de l'espèce *Tuta absoluta* sur la culture de tomate (Originale).

## 5. Dégâts de *Tuta absoluta*

On distingue plusieurs niveaux de nuisibilité en fonction de l'effet direct sur la culture, de la fréquence des attaques ou de leur intensité (Elouissi 2016). Sur la base de ces critères, les ravageurs peuvent être classés en trois catégories: "majeurs", "secondaires" ou "occasionnels" (Alili 2016).

Selon son mode d'alimentation, ce ravageur oligophage est classé parmi les insectes majeurs et les plus nuisibles dans plusieurs pays du monde, car il s'attaque aux espèces de la famille des Solanacées, en particulier aux plants de tomates (EPPO 2007). Les larves pénètrent dans les feuilles et se nourrissent du parenchyme (tissus intérieurs), tandis que leurs déjections noires grumeleuses sont dispersées de manière désordonnée à l'extérieur des mines (Sylla 2018). Chaque larve consomme en moyenne 2.8 cm<sup>2</sup> de surface foliaire au cours de son développement (Badaoui 2018), entraînant la formation de mines irrégulières à la surface des feuilles (Figure I-12a). Ces mines affectent négativement la capacité photosynthétique de la plante et diminuent ses défenses naturelles contre d'autres agents nocifs (Si Mohammed 2017). De plus, les dommages causés directement aux fruits, qu'ils soient verts ou mûrs, peuvent entraîner des pertes de rendement graves, allant de 80% à 100% de la production (Figure I-12b) (Sylla 2018), surtout en l'absence de détection précoce du ravageur et d'une lutte raisonnée (Badaoui 2018). Les dommages indirects contribuent à accroître les dégâts et les coûts de contrôle, tout en diminuant la valeur marchande des fruits (Campos et al. 2017).

Les stades larvaires du troisième au quatrième stade sont considérés comme particulièrement préjudiciables en raison de leur rapidité et de leur aptitude à se nourrir de toutes les parties aériennes de la plante ; leurs attaques sévères se traduisent par des feuilles présentant un aspect brûlé (Figure I-12c), des perforations visibles, ainsi que des pourritures très graves sur les tiges et les fruits (Badaoui 2018).



**Figure I-12.**

Symptômes de *Tuta absoluta* sur la culture de tomate sous serre (Originale) : a. Feuilles, les mines des larves et les effets secondaires sur la partie aérienne. b. Tiges, points noirs et des nécroses. c. Nécroses sur le calice ou des trous de sortie à leur surface.

D'après Montserrat-Delgado (2009), les risques d'infection commencent à se faire ressentir à partir de 30 captures par piège et par semaine (Tableau I-1).

**Tableau I-1.** Normes d'évaluation des niveaux de risque selon les captures :

Niveaux de risque selon les captures	
Pas de risqué	0 captures par semaine
Risque faible	Moins de 10 captures dans le mois ou moins, 03 captures dans la semaine
Risque modéré	03 à 30 captures par semaine
Risque élevé	Plus de 30 captures par semaine

Des statistiques estiment que 84.9% des zones de culture de tomates et 87.4% de la production totale de tomates dans le monde sont directement menacées par ce ravageur, et d'autres zones sont déjà infestées ou pourraient l'être dans un proche avenir (Desneux et al. 2010; Sylla 2018).

## 6. Hôtes secondaires de *Tuta absoluta*

Bien que *T. absoluta* manifeste une préférence marquée pour la tomate, elle peut également se nourrir, se développer et se reproduire sur d'autres plantes hôtes alternatives, ce qui est considéré comme l'un des principaux facteurs facilitant sa propagation à l'échelle mondiale ; ces plantes hôtes appartiennent à des espèces sauvages, qu'elles soient secondaires ou occasionnelles, ainsi qu'à des espèces cultivées, réparties au sein de trois familles botaniques distinctes: Solanaceae, Amaranthaceae et Fabaceae (Sylla 2018). Parmi les plantes hôtes identifiées, on peut citer :

- Les Solanacées cultivées telles que l'aubergine (*Solanum melongena*), la pomme de terre (*S. tuberosum*) qui n'est attaquée que des ses parties aériennes, pouvant indirectement réduire le rendement dans des conditions climatiques appropriées (Desneux et al. 2010), en plus le poivron doux (*S. muricatum*), le poivron (*Capsicum annuum*), le tabac (*Nicotiana tabacum*), *Lycopersicon hirsutum* et *Solanum lyratum*.

- Les solanacées non cultivées, notamment les morelles (morelle jaune *Solanum elaeagnifolium*, morelle noire *S. nigrum*), *S. bonariense*, *S. sisymbriifolium*, *S. saponaceum* et *Lycopersicon puberulum* (Sylla 2018).

- Des plantes-hôtes naturellement disponibles, telles que la stramoine épineuse (*Datura ferox*), *D. stramonium* et le tabac glauque (*Nicotiana glauca*), *Solanum americanum*, *Solanum habrochaites*, *S. hirtum*, *S. puberulum*, *Physalis angulata*, *Datura stramonium*, *Chenopodium rubrum*, *Chenopodium bonus-henricus*, *Spinacia oleracea*, *Beta vulgaris* et *Phaseolus vulgaris* (Sunil et al. 2020).

## 7. Moyens de lutte

### - À titre préventif

Avant toute implantation, il est nécessaire de prendre connaissance du climat, des cultures voisines, des mesures prophylactiques dans les parcelles et aux alentours, ainsi que de la connaissance des variétés qui confèrent une moindre sensibilité aux bioagresseurs ; ensuite, il est possible de combiner l'apport variétal avec d'autres méthodes de traitement afin



de valoriser pleinement le potentiel de réduction de la pression liée (ZIRI 2011).

Aussi, les pratiques culturelles (densité des plants, calendrier de production et rotation) représentent des éléments importants dans la gestion de l'agroécosystème afin d'éviter la colonisation par les individus venus de l'extérieur, d'interrompre le cycle de *T. absoluta* (Ramasamy & Ravishankar 2018) et d'éliminer les chrysalides qui se cachent dans le sol ; la mise en place de barrières physiques sous serre, comme les filets insect-proof, qui couvrent les cultures depuis la pépinière jusqu'à la récolte, est également recommandée pour limiter la pénétration des insectes ; de même, il est conseillé d'installer un système de double porte afin d'empêcher également l'entrée des mineuses (Ounis 2017).

#### - **Détection et piégeage de masse**

Dans ce cadre, la lutte est plus efficace en conditions de culture sous abri qu'en plein champ (Ramasamy & Ravishankar 2018). Habituellement, la technique de piégeage de masse implique la surveillance de *T. absoluta* au moyen d'une inspection hebdomadaire à l'aide de pièges à phéromones synthétiques et/ou sexuelles, positionnés au centre de la serre pendant tout au long de la saison végétative (Komivi et al. 2020). Ces pièges permettent de détecter la présence des adultes à l'intérieur de pièges contenant des insecticides (Raj et al. 2020) et de perturber l'accouplement en saturant l'atmosphère avec des phéromones sexuelles altérant la capacité des mâles à localiser les femelles, tout en évaluant les risques potentiels d'infestation au niveau de la parcelle (Komivi et al. 2020).

Le nombre de pièges à disposer varie selon le mode de production, avec 20 à 25 pièges/ha en plein champ, la distance minimale entre chaque piège étant de 25 m. Les pièges de type Delta sont installés à environ 1.25 m de hauteur pour éviter qu'ils ne soient recouverts par la végétation (Ounis 2017). Souvent, il est recommandé de relever régulièrement les captures au moins une fois par semaine pour suivre l'évolution des populations, alors que les plaques engluées doivent être changées dès qu'elles commencent à perdre de l'adhérence, et les capsules de phéromones doivent être changées toutes les 4 à 6 semaines en fonction de la température (Raj et al. 2020). Il est à noter que les pièges à eau sont plus efficace (3-4 fois plus), moins sensibles aux poussières et ont une capacité de capture avant de saturation jusqu'à 300 individus /jrs /piège (EPPO 2007). En revanche, les pièges Delta sont plus efficaces en condition de champ ouvert (Raj et al. 2020). Au début de 2009, l'INPV a lancé une opération de grande envergure visant la lutte contre la *T. absoluta* au moyen de phéromones sexuelles dans toutes les wilayas productrices de tomates sous serre, distribuées gratuitement aux agricultures (Ounis 2017).

#### - **A titre curatif**

Les mesures prophylactiques peuvent s'avérer insuffisantes, dans ce cas, des interventions chimiques et biologiques sont nécessaires afin de maintenir le nombre de *T. absoluta* sous le seuil de nuisibilité suivant un programme de lutte intégrée.

Différentes matières actives sont utilisées dans la plupart des pays du monde, telles que les pyréthroïdes, la cartap, le thiocyclame, le tébufonozide, le chlorfénapyr, la metaflumizone, le cyromazine, l'emamectin benzoate et d'Indoxacarbe dans l'Amérique latine (EPPO 2007). En Europe, l'abamectine, le cyromazine, le pipéronylbutoxyde (120 g/l+ Pyrethrines 24 g/l),

l'imidacloprid et le lufenuron sont recommandés ; en Égypte, l'acide jasmonique à un taux de (1.141 µM/plante) et la nanosilica à une concentration de 600 ppm (Sabbour 2014). En Algérie, les régulateurs de croissance abamectine et spinetoram (50 ml/ha), metaflumizone (1l/ha), chlorantraniliprole + abamectine (0.3-0.45 l/ha) (INPV 2015).

Actuellement, différentes méthodes de lutte biologique (par auxiliaires et par biopesticides) sont introduites contre ce ravageur (Chougar 2011), telles que les prédateurs *Maccroplophus basicornis*, *Dicyphus marrocannus*, *Engytatus varians*, *Campyloneuropsis infumatus* de la famille *Miridae*, aussi les familles de *Formicidae*, *Chrysopidae*, *Carabidae*, *Vespidae* et *Forficulidae* (Biondi & Desneux 2019).

Nombreux parasitoïdes potentiels ont été reconnues (Ramasamy & Ravishankar 2018), comme les espèces du genre *Necremnus* en méditerranée ; *Apanteles litae*, *Chelonus sp.*, *Cotesia vestalis* et *Meteorus laphygmarum* en Afrique (Elouissi 2016) ; *Diglyphus isaea*, *Pnigalio sp*, *Nabis pseudoferus* dans plusieurs pays du monde (Mohammadpour et al. 2020).

Récemment, les nématodes *Steinernema feltiae*, *Steinernema carpocapsae* et *Heterorhabditis bacteriophora* ont été utilisés sur les larves de 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> stades (Van Damme et al. 2016). Les champignons *Metarhizium anisopliae* et *Beauveria bassiana* ont été appliqués sur les œufs à différentes doses, mélangés avec de l'eau d'irrigation (Komivi et al.2020).

Les isolats viraux de *Phthorimaea operculella granulovirus* (PhopGV) et les biopesticides à base de *Bacillus thuringiensis* peuvent réduire les dégâts du 1er stade jusqu'à 98% sous les conditions contrôlées (Gómez-González et al. 2014). Les biopesticides d'origine végétale de *Thymus vulgaris* sur L2 l'huile essentielle de *Syzygium aromaticum* sur les larves, sont également utilisés (Karkanis & Athanassiou 2021). Les extraits aqueux d'*Euphorbia guyoniana* (Dehliz et al. 2018) et de l'arbre *Trigonella foenum-graecum* avec 50% de mortalité à 48h et 72% à 96 h sur 100 µg ml<sup>-1</sup> (Ramasamy & Ravishankar 2018) sont également des moyens de lutte. De plus, la technique de confusion sexuelle par irradiation des mâles à rayons X (200 Gy) pour empêcher la fécondation de femelles, et les moyens génétiques par l'introduction des plantes tomates transgéniques tolérantes aux mineurs de feuilles sont explorés (Ercolano et al.2021).

## Chapitre I.3

### Gestion des risques et dangers liés aux pesticides et leur compatibilité avec le biocontrôle de lutte intégrée.

#### 1. Lutte conventionnelle

##### 1.1. Aperçu global

Fondamentalement, les traitements de protection conventionnelle en agriculture sont réalisés grâce à des produits chimiques plus ou moins nocifs visant à prévenir et/ou contrôler les maladies et les organismes nuisibles aux cultures (Ercolano et al. 2021).

L'histoire de cette forme de protection est apparue au XIX<sup>e</sup> siècle avec le développement de la chimie minérale et l'intensification des cultures, qui fournissait de nombreux pesticides minéraux à base de sels de cuivre, comme la bouillie bordelaise, utilisée pour lutter contre les invasions fongiques de la vigne et de la pomme de terre (EPPO 2007). Cependant, l'ère des pesticides de synthèse a réellement commencé dans les années 1930, profitant le développement de la chimie organique de synthèse et la découverte des propriétés insecticides du DDT pendant la Seconde Guerre mondiale, qui sont devenus plus répandus dès 1943 et ont ouvert la voie à la famille des organochlorés et à la famille des organophosphorés, jusqu'au début des années 1970 où leur utilisation a été interdite dans l'UE, notamment (Bellouèche 2020).

Rachel Carson en 1962 a été la première à mettre en évidence l'accumulation et la rétention des pesticides organochlorés dans la chaîne alimentaire, et le terme " Silent Spring " est devenu synonyme d'empoisonnement massif des oiseaux chanteurs, des aigles et des faucons par le DDT (Paull 2013). Relativement peu de nouveaux groupes de composés phytopharmaceutiques actifs contre les organismes nuisibles ont été découverts depuis lors, contribuant directement à la protection des plantes ; ces pratiques sont encore largement adoptées dans les systèmes agricoles conventionnels, témoignant de la demande croissante de produits chimiques dans le monde et contribuant de manière significative au changement écologique global, ainsi qu'à l'augmentation des coûts dans les systèmes agricoles (Fiaboe et al. 2017).

##### 1.2. Dangers de l'emploi intensif des pesticides

Selon Dautrebande et al. (1990), plus de 90% des quantités de produits chimiques utilisées n'atteignent pas à atteindre le ravageur lors du traitement, ils peuvent contaminer et tuer d'autres acteurs de la chaîne alimentaire et de l'environnement, ainsi que les travailleurs qui entrent en contact avec eux. De plus, l'usage fréquent de ces produits contribue également à favoriser l'émergence du phénomène de résistance chez les insectes nuisibles.

###### 1.2.1. Dangers liés à l'environnement

###### - Dangers sur la biodiversité

En raison des pressions croissantes de la pollution chimique, en particulier des matériaux lourds de pesticides et d'engrais accumulés dans les eaux de surface et l'environnement terrestre, les herbicides ont provoqué des changements dans la végétation et les habitats qui menacent les mammifères (González-Chang et al. 2019). En France, des renards ont été

empoisonnés par des résidus de bromadiolone présents dans les tissus corporels de leurs proies (Ercolano et al. 2021). De même, les insecticides à large spectre tels que les carbamates, les organophosphorés et les pyréthroïdes ont permis de réduire le nombre d'insectes bénéfiques tels que les abeilles, les araignées et les coléoptères qui jouent un rôle important dans les réseaux trophiques ou comme ennemis naturels des ravageurs (Abdelmaksoud et al. 2016). Selon Decourtye et al. (2016), 71% des espèces cultivées sont pollinisées par les abeilles, fournissant ainsi 90% de la nourriture mondiale. Plusieurs hypothèses ont lié la surmortalité des abeilles, constatée en Europe depuis le début des années 2000, à l'utilisation de pesticides néonicotinoïdes ; la Commission européenne ayant proposé d'arrêter l'usage d'un certain nombre de ces insecticides sur les semences et les plantations attrayantes pour les abeilles, telles que le colza, le tournesol, le maïs et le coton.

#### - **Dangers liés au sol et à la ressource hydrique**

L'un des plus gros problèmes de l'agriculture conventionnelle reste toujours la dégradation des sols et des sous-sols ; les herbicides sulfonilurées, tels que le metsulfuron et le chlorsulfuron, provoquent une réduction de la croissance des bactéries du sol, notamment *Pseudomonas* (Mäder et al. 2002). De plus, Boldt & Jacobsen (2006) ont indiqué que la longueur des racines des plantes colonisées par les mycorhizes était 40% plus élevée dans les systèmes biologiques que dans les exploitations conventionnelles.

Les conséquences environnementales, en particulier sur la qualité de l'eau, sont également significatives. Au Sénégal, les concentrations de résidus mesurées dans la nappe phréatique dépassent les normes de potabilité de l'eau (Ba et al. 2016). En Côte d'Ivoire, la contamination des eaux souterraines par les pesticides organophosphorés et organochlorés est apparue dans les zones agricoles cultivées en cacao, café, banane et légumes (Diop 2013). Les produits agricoles destinés à la consommation peuvent également être contaminés par des pesticides, comme en témoigne la découverte de niveaux de résidus supérieurs à 0.5 mg/g pour les organochlorés (DDT, endrine, heptachlore) dans les légumes au sud du Bénin (Bellouche 2020). À Biskra, les analyses en laboratoire de la qualité des eaux souterraines ont révélé des concentrations très élevées de particules d'engrais, avec des teneurs inférieures à la norme admise (50 mg/l). Actuellement, cette pollution présente un danger pour la santé, notamment en milieu rural, en cas de consommation d'eau provenant de forages contaminés. À long terme, cette menace pourrait s'étendre à plusieurs échelles (Rahmoune et al. 2020). De plus, les agriculteurs ont peu de connaissances sur la toxicité réelle des pesticides utilisés et sur la manière de les appliquer, principalement en raison de leur faible niveau d'éducation (Diop 2013 ; Rahmoune et al. 2020).

#### - **Dangers sur la santé humaine**

En 2017, un rapport d'experts en santé présenté au Conseil des droits de l'homme des Nations Unies a examiné 200000 décès dus aux pesticides et a appelé à un nouveau traité mondial sur l'utilisation des pesticides non indispensables (ONU 2017). Les expositions professionnelles aux pesticides ont été particulièrement incriminées dans ces cas, avec des indications sur la fréquence de l'apparition des tumeurs malignes lymphatiques (Baldi et al. 2021). Des études menées sur des populations agricoles suggèrent également leur implication dans le développement de tumeurs cérébrales et de cancers hormono-dépendants (cancers de

la prostate, du sein, des testicules, de l'ovaire) (Rahmoune et al. 2020). De même, le groupe d'étude sur l'oncogène environnementale (GÉOE), qui s'est penché sur 35 pesticides, a révélé que la moitié d'entre eux présentaient des propriétés cancérigènes pour les systèmes hématopoïétique, lymphatique et les tissus mous, ainsi que pour le côlon, la prostate, l'ovaire, le cerveau et le sein (Baldi et al. 2021). En accord avec les perspectives de développement agricole durable, l'usage excessif de pesticides a une facture que l'agriculteur paie pour sa santé (ONU 2017).

### 1.2.2. Problème de résistance chez les ravageurs

Selon l'OMS, l'émergence de la résistance se produit lorsque « l'apparition dans une population d'individus possédant la faculté de tolérer des doses de substances toxiques qui exerceraient un effet létal sur la majorité des individus composant une population normale de la même espèce », ainsi, l'utilisation répétée et continue de pesticides contenant le même ingrédient actif, appartenant à la même famille et au même groupe chimique, favorise considérablement le développement de populations résistantes d'organismes nuisibles. Certaines de ces résistances semblent parfois anecdotiques, car elles ne sont que locales, mais d'autres se sont propagées à l'échelle mondiale, comme la mouche domestique *Musca domestica* résistante aux organochlorés ou le *Tribolium* (ver de la farine) résistant au lindane et au malathion, ainsi que les moustiques *Culex pipiens* qui ont développé une résistance élevée aux organophosphorés; les mécanismes de résistance conduisent souvent à des modifications comportementales, physiologiques et biochimiques chez les insectes (Roush & Daly 1990).

Un nombre croissant d'insectes développe des résistances à un ou plusieurs pesticides, sur divers types :

#### - Par mutation de cible

Dans ce type de résistance, l'anomalie naturelle des gènes de l'espèce entraîne fréquemment une modification du code génétique de l'enzyme ciblée par le pesticide ; en conséquence, les pesticides ne peuvent pas agir sur l'espèce cible à la même dose, ce qui conduit à une augmentation des doses chimiques et/ ou des matières actives des produits (Scott 1990).

#### - Par détoxification

Dans ce type de mécanisme, le composant actif peut fonctionner sur sa cible (enzyme) éprouve des difficultés à atteindre, soit parce qu'il est mal transporté vers la cible (cellule moins perméable), soit parce qu'il est dégradé par des antienzymes au sein de l'espèce. Les espèces cibles nécessitent des doses très élevées par rapport aux doses régulières, allant de cinq à cent fois la dose habituelle (Haubruge & Amichot 1998).

#### - Des mécanismes inconnus

Le domaine de la résistance aux pesticides chimiques nécessite encore plus d'études, car certaines espèces ont prouvé leur résistance sans qu'il soit possible d'expliquer le mécanisme de leur résistance ; de plus, certaines d'entre elles se sont avérées avoir plusieurs mécanismes de résistance au sein d'un même individu (Scott 1990; Haubruge & Amichot 1998).

### 1.3. Gestion des problèmes liés aux pesticides

Au début des années 1970, la question environnementale est devenue une préoccupation mondialement reconnue ; sa consécration lors du sommet international de Stockholm sur l'environnement en 1972 a été précédée par la publication du rapport du club de Rome "The limits to growth", puis en 1987, le rapport Brundtland intitulé "Notre avenir à tous" a également contribué à cette prise de conscience (Paull 2013). Ces événements ont été suivis de certains accords internationaux contraignants et d'autres à caractère volontaire visant principalement à guider les gouvernements, les industriels et la société civile sur l'importance d'une gestion rationnelle des produits chimiques.

Parmi ces codes et conventions internationaux figurent *Le Code de conduite international pour la distribution et l'utilisation des pesticides*, élaboré et adopté par la FAO en 1985 (FAO 2002). *Le Sommet des Nations Unies sur l'environnement et le développement de 1992* à Rio de Janeiro avait pour objectif principal d'assurer le développement durable, y compris le développement agricole durable, par la mise en œuvre du programme appelé *Agenda 21* contenu dans le chapitre 14, *La Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants (POP)* a été approuvée en 2001 et est entrée en vigueur en 2004 (Mbengue 2001). *Le Sommet mondial sur le développement durable de 2002* a conduit à la naissance de l'approche stratégique de la gestion internationale des produits chimiques (SAICM) du PNUE, adoptée à Dubaï en 2006 (Ait Kaki 2014). Le développement ultérieur inclut l'*Agenda post-2015* avec l'adoption des "Objectifs de Développement Durable (ODD)" et *l'accord de Paris sur le climat*, celui-ci vise à contenir le réchauffement climatique « bien en dessous de 2°C par rapport aux niveaux préindustriels » et idéalement à « poursuivre les efforts pour limiter la hausse des températures à 1.5°C » dans la prochaine décennie, réaffirmé lors du Sommet COP 27 sur le climat en Égypte en 2022 (Girardeau 2021).

L'impact de tous ces accords ont été notable dans la promotion d'une utilisation raisonnable des pesticides dans les programmes de protection agricoles ; cela comprend la gestion de la résistance aux organismes nuisibles en alternant les produits chimiques utilisés selon leur mécanisme d'action ou leur groupe chimique, ainsi que l'adoption de moyens de lutte alternatifs, le tout encadré par une réglementation générale respectueuse de l'agroécosystème (Statista 2022).

## 2. De la lutte conventionnelle à la lutte intégrée

Bien que pratiquement tous les gouvernements aient adopté des politiques pour lutter contre les problèmes causés par les pesticides sur l'environnement et la santé humaine, le contrôle de leur utilisation reste encore limité ; cela est particulièrement vrai dans les pays en développement où les ressources pour mettre en œuvre les réglementations sont souvent limitées voire inexistantes (Statista 2022). Les quantités de pesticides utilisées dans le monde augmentent régulièrement depuis soixante ans (Ait Kaki 2014). Bien que leurs doses et leur poids aient diminué dans certains pays d'Europe, les matières actives des pesticides utilisées aujourd'hui sont plus efficaces que celles des décennies précédentes (EPPO 2007).

Selon l'Association de l'agriculture allemande, environ 48 milliards d'euros ont été dépensés en produits phytosanitaires dans le monde en 2018; représentant une augmentation de 0.5% par rapport à l'année précédente et de près de 69% au cours de la dernière décennie. La répartition par type de produit reste stable depuis plusieurs années, avec les insecticides

présentant 9%, les fongicides 37%, les herbicides 45% et les produits divers 9% (Statista 2022).

En effet, les appels à une profonde correction de nos systèmes agricoles et alimentaires se font de plus en plus fréquents et urgents ; l'agriculture durable est l'une des applications les plus demandées depuis qu'elle a été reconnue par la communauté internationale à Rio de Janeiro en juin 1992, elle est définie comme un système de production agricole visant à assurer la production durable d'aliments, de bois et de fibres tout en respectant les limites environnementales, économiques et sociales qui garantissent la préservation de cette production au fil du temps ; ces concepts et stratégies qui ont été développés dans le cadre de l'agriculture durable sont devenus la base pour construire le concept de la gestion intégrée des ressources naturelles, également connue sous le nom de lutte intégrée ou Integrated Crop Management (ICM) ; cette approche repose principalement sur une planification et une gestion qui englobent différentes méthodes pour réduire le nombre d'organismes nuisibles à des niveaux acceptables, cela inclut le désherbage régulier par des techniques mécaniques (désherbage mécanique), pneumatiques, thermiques (désherbage thermique et solarisation) et électromagnétiques (clôture électrique) (Sayah 2017).

La gestion intégrée des ressources naturelles comprend également des aspects tels que l'obtention des semences ou de matériel de plantation (boutures, plants) de qualité, le choix de sols fertiles et des milieux adaptés à la plantation, la pratique de la rotation des cultures, l'adoption de pratiques adéquates de gestion hydrique, la promotion de l'accroissement des ennemis naturels (auxiliaires), l'adoption de dispositifs de stockage propres et de qualité et la réduction minimale de l'application de pesticides chimiques (Burel et al. 2008).

### 3. Biodiversité et stimulation de régulation écologique

Plusieurs pratiques de gestion de l'habitat ont été adoptées dans la lutte antiparasitaire pendant de nombreuses années, en particulier avant l'invention des pesticides (Gurr et al. 2017). En Chine, depuis plus de 2000 ans, les agriculteurs ont utilisé des abris de paille pour les araignées hivernantes, lesquelles peuvent soutenir les communautés d'araignées face aux perturbations cycliques de l'agriculture (Burel et al. 2008). De même, l'utilisation des fourmis tisserandes *Oecophylla* pour la lutte antiparasitaire dans les vergers de fruits en Asie remonte à 300 après J.-C. (Lambert 2010).

En Birmanie au cours des années 1700, les agriculteurs utilisaient des cannes de bambou pour relier les agrumes, ce qui facilite ainsi le mouvement d'*Oecophylla* d'un arbre à l'autre, améliorant le contrôle des chenilles d'agrumes (Van Mele 2008). De même, le recadrage par piège, dans lequel une culture piège est cultivée à côté de la culture principale pour attirer, repousser ou intercepter les insectes ravageurs, a été pratiqué il y a plus de 200 ans en Europe où les agriculteurs utilisaient des arbres pièges ou des billes de bois pour attirer et «capturer» l'écorce d'épinette coléoptère, *Ips typographus* (*Coleoptera: Curculionidae*) (Lambert 2010). La culture en piège était également courante aux États-Unis et au Royaume-Uni en 1860, où les agriculteurs utilisaient le panais (*Pastinaca spp.*) (González-Chang et al. 2019).

La régulation écologique des populations de ravageurs des cultures est l'un des services écosystémiques rendus par la biodiversité ; cette régulation peut s'effectuer via les ressources utilisées par les ravageurs dans leurs habitats (effets bottom-up) et via les ennemis naturels (effets top-down) tels que les prédateurs, les parasitoïdes et les agents pathogènes. À l'échelle du paysage agricole, la disposition spatiale des cultures peut retarder leur colonisation par les

ravageurs, tandis que d'autres facteurs tels que la compétition entre les individus et les composants abiotiques de l'environnement contribuent également aux processus de régulation écologique (Polis & Holt 1992).

Les processus d'écorégulation des ravageurs peuvent être stimulés par une meilleure connaissance au système de vie des populations de ravageurs dans les agroécosystèmes ; cela implique d'incorporer les traits biologiques de l'individu dans la population (démographie, capacités de dispersion...), d'avoir accès aux ressources dans le temps et dans l'espace (cultures, végétation semi-naturelle...), d'exploiter les interactions intra- et inter-espèces dans le système biologique considéré (compétition, relations trophiques, etc.) et d'étudier les perturbations causées par les pratiques culturales (traitements insecticides, habitats) qui déterminent la nature et l'intensité des processus écologiques (Brévault & Clouvel 2019).

### 3.1. Notion de biocontrôle

D'après Herth (2011), le biocontrôle est défini comme « un ensemble des produits ou d'outils à utiliser, seuls ou associés à d'autres moyens de protection des plantes, sous la protection intégrée ». Pour le club Adalia, regroupant des techniciens de la protection intégrée, le biocontrôle est « l'ensemble des méthodes de protection des végétaux qui utilisent des mécanismes naturels ; il vise à la protection des plantes en privilégiant l'utilisation de mécanismes et d'interactions qui régissent les relations entre espèces dans le milieu naturel » (Fauvergue et al. 2020). D'autres définitions, y compris celle de la loi d'avenir pour l'agriculture de 2014, s'attachent davantage aux « produits de biocontrôle » comme une partie de la lutte intégrée des cultures agricoles, dont le principe repose sur la gestion de l'équilibre des populations d'agresseurs plutôt que sur leur éradication, en privilégiant les mécanismes et interactions naturels pour réguler les liens entre les espèces naturelles dans un agroécosystème (Chougar 2011).

Cette approche de protection contribue également principalement au développement d'une agriculture durable et organique (Polis & Holt 1992).

#### 3.1.1. Types de biocontrôle

L'association française des fabricants de produits du biocontrôle (IBMA) précise que les produits du biocontrôle se répartissent en quatre types d'agents (IBMA 2020), à savoir :

##### ➤ **Macro-organismes**

Les outils du biocontrôle les plus connus sont probablement les invertébrés, comprenant principalement les insectes, les acariens, les araignées et les nématodes, qui sont utilisés de manière raisonnée pour réguler les populations de ravageurs selon différents mécanismes ; il inclut également des vertébrés tels que les oiseaux insectivores, les musaraignes ou les hérissons, qui se nourrissent, entre autres, de limaces et d'escargots dans le but de protéger les végétaux ; ces organismes sont communément appelés auxiliaires et « guerriers naturels » (Fauvergue et al. 2020).

##### ✓ **Prédateurs**

Ce sont les plus grands organismes caractérisés par la chasse de leurs proies vivantes afin de les nourrir et/ou de nourrir directement leurs larves ; ils consomment leurs proies partiellement ou complètement à l'aide de leur appareil buccal aigu et spécialement



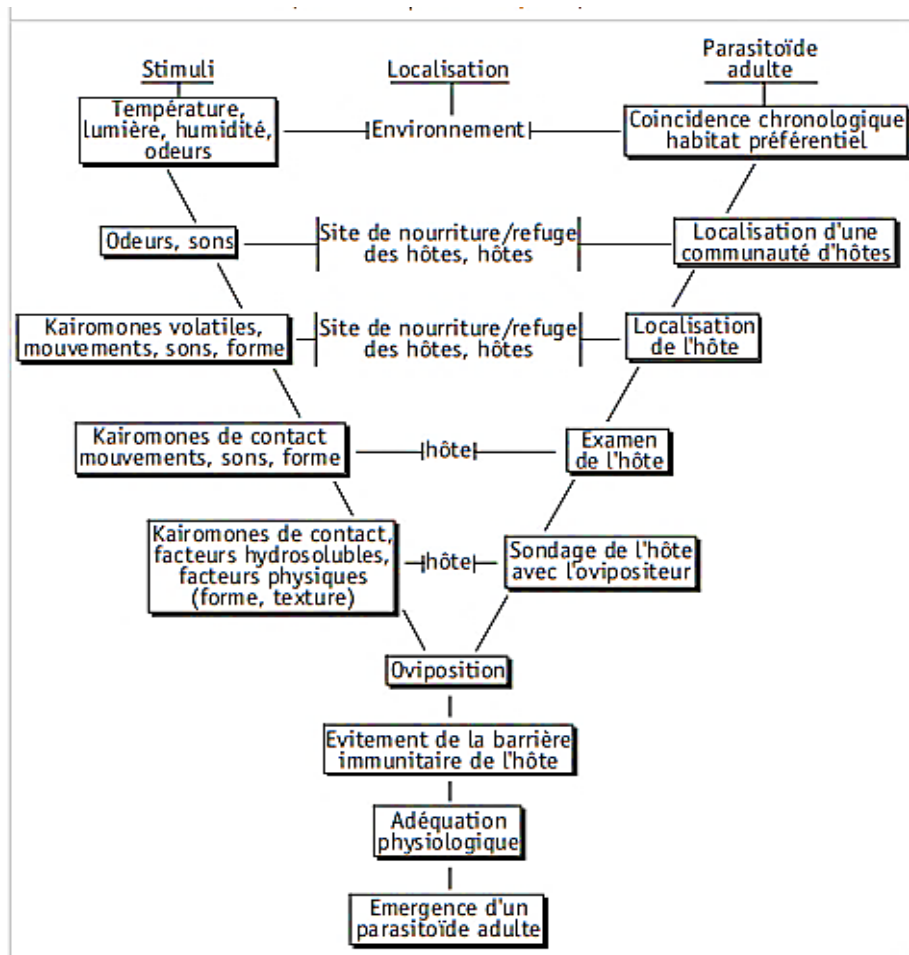
développé, par exemple, le carabe s'attaque à de nombreuses proies telles que les insectes, les mollusques, ect., également certaines espèces changent de leur régime alimentaire au cours des différentes phases de leur développement, comme c'est le cas des syrphes dont seules les larves sont prédatrices (Frago 2016).

### ✓ Parasitoïde

C'est " un organisme qui se développe sur ou dans un autre organisme, son hôte, en tire sa subsistance et le tue comme résultat direct ou indirect de son développement " (Polis & Holt 1992). Cette définition indique que les parasitoïdes englobent une diversité d'organismes tels que des insectes ou des nématodes (Sayah 2017). En d'autres termes, les stades immatures (les stades larvaires, la nymphe) des parasitoïdes se développent aux dépens d'autres arthropodes (le plus généralement d'autres insectes) dont ils consomment les tissus pour leur alimentation et leur développement. Dans la grande majorité des cas, ceci conduit à la mort de l'hôte ; contrairement aux stades immatures, les adultes sont en revanche libres, dans le sens où leur développement et leur survie ne dépendent pas directement d'un autre organisme. Sur le plan écologique, la seule fonction vitale de la femelle adulte, qu'elle soit accouplée ou non, est de trouver de nouveaux hôtes pour y déposer une descendance (Polis & Holt 1992 ; Frago 2016).

Généralement, pour que le parasitisme se produise, plusieurs étapes chronologiques doivent être franchies avec succès (Figure I-13) ; les parasitoïdes pondent soit à l'intérieur (endoparasitoïdes), soit à l'extérieur (ectoparasitoïdes) de l'hôte, pour se développer à l'intérieur du corps de leur hôte, l'endoparasite doit composer avec les systèmes de défenses immunitaires de ce dernier (Ferracini et al. 2019). En effet, plusieurs espèces, lorsqu'elles sont parasitées, secrètent des hémocytes qui encapsulent l'œuf du parasitoïde et empêchent son développement (Polis & Holt 1992). Certaines espèces d'endoparasites évitent l'encapsulation, soit en déposant leurs œufs dans un site à l'abri des hémocytes de l'hôte, soit en transmettant un virus qui affecte le système immunitaire de l'hôte lors de la ponte (Howard & Baker 2003). Les ectoparasitoïdes qui pondent à l'intérieur de l'hôte ont l'avantage d'éviter les systèmes de défense immunitaire de celui-ci, mais ils sont plus susceptibles d'être blessés ou délogés (Ounis 2017).

Afin de remédier à cet inconvénient, plusieurs ectoparasitoïdes injectent un venin qui paralyse partiellement ou totalement l'hôte (Strand 1986). Il est à noter que l'attaque peut se faire par une façon solitaire lorsqu'un seul individu se développe à partir de l'hôte, ou par une façon grégaire, lorsque plusieurs individus se développent à partir du même hôte (Sayah 2017).



**Figure I-13.** Représentation schématique des différentes étapes impliquées dans le fonctionnement d'une interaction hôte-parasitoïde (Ounis 2017).

### ➤ Micro-organismes

Sont des champignons, bactéries et virus bénéfiques utilisés pour protéger les cultures contre les ravageurs et les maladies ou stimuler la vitalité des plantes (Fauvergue et al. 2020). Actuellement, plus de 200 souches de microorganismes sont autorisées en biocontrôle au niveau mondial, mais des efforts de recherche sur les modes d'action impliqués (antibiose, hyperparasitisme, stimulation de l'immunité végétale, compétition, etc.) ainsi que sur les conditions d'efficacité en production sont nécessaires pour développer les connaissances sur ce mode de protection (Ait Kaki 2014).

Les études de Syed Ab Rahman et al. (2018) ont indiqué que les microbes considérés peuvent être utilisés comme agents de lutte biologique sont ceux qui se développent dans les rhizosphères, où les populations établies de microbes bénéfiques métaboliquement actifs initient une protection soit par l'activité antagoniste directe des agents pathogènes, en supplantant les agents pathogènes ou en stimulant les défenses de la plante hôte (amorçage) ; cela se fait par la sécrétion d'antibiotiques, de composés organiques et de toxines volatiles, ainsi que par le développement d'enzymes dégradant la paroi cellulaire extracellulaire, telles que la chitinase, la  $\beta$ -1,3-glucanase, la bêta-xylosidase, la pectine méthylestérase.

### ➤ **Biopesticides**

Les substances naturelles utilisées comme produits de biocontrôle sont composées de substances présentes dans le milieu naturel et peuvent être d'origine végétale, animale ou minérale (Chougar 2011).

L'utilisation d'extraits de plantes comme insecticides est connue depuis longtemps ; en effet le pyrèthre, la nicotine et la roténone sont déjà connus comme des agents de lutte contre les insectes (Alili 2016). Dans des travaux plus récents, les propriétés des plantes médicinales occupent une place importante dans la politique de développement de ces produits, que ce soit pour les soins de santé, la protection de la nature, la biodiversité, la lutte biologique (Karkanis & Athanassiou 2021). De même, les produits d'origine animale, tels que les bactéricides, les fongicides, les acaricides, les nématocides, etc., ont donné des résultats significatifs dans les programmes de lutte intégrée à différentes concentrations (Ramkumar et al. 2021). Il est encourageant de noter que la disponibilité et l'utilisation des technologies des composants de la lutte intégrée (IPM), y compris les pesticides microbiens et botaniques, ont augmenté ces dernières années en réponse aux changements de politique (Dehliz et al. 2018). Par exemple, leur utilisation a été multipliée par 56 en Malaisie de 2007 à 2010, et une augmentation d'environ trois fois de l'utilisation d'huiles minérales dans la lutte antiparasitaire a été signalée au cours de la même période en Thaïlande (FAO 2011).

### ➤ **Médiateurs chimiques**

Sont des substances biosynthétisées par des organismes vivants qui, émises en faible quantité dans l'air, l'eau ou le sol, agissent à distance sur le comportement ou la physiologie d'autres organismes de la même espèce ou d'espèces différentes ; elles sont utilisées pour suivre les vols des ravageurs et contrôler les populations d'insectes par la méthode de confusion sexuelle et le piégeage (Ramasamy & Ravishankar 2018). Cette méthode repose sur l'utilisation différents types de pièges, comme les pièges à phéromones (composés intervenant dans la communication entre les individus d'une même espèce produits par des insectes ou resynthétisés par l'homme), les pièges à paraphéromones (substances de synthèse chimiquement différentes, ayant toutefois un effet identique aux phéromones sexuelles), les pièges à appâts alimentaires, les pièges chromatiques, les pièges lumineux ; les pièges sont répartis dans la parcelle à une densité raisonnée en termes de coûts et d'efficacité (Chougar 2011) et plusieurs techniques de piégeage peuvent être utilisées simultanément pour collecter plus efficacement les ravageurs (Ounis 2017).

### **3.1.2. Stratégies de biocontrôle**

Ces outils de biocontrôle peuvent être utilisés dans le cadre de différentes stratégies de mise en œuvre, telles que :

- ✓ **Lutte par conservation:** consiste à favoriser l'installation des auxiliaires naturellement présents dans un milieu et à augmenter leur nombre par des aménagements (haies, bandes fleuries, abris...) qui fournissent nourriture et abris à des auxiliaires tels que chrysopes, carabes, oiseaux (Damien 2018).
- ✓ **Lutte par augmentation:** consiste à élever des auxiliaires puis à les lâcher pour contrôler une population de ravageur; il peut s'agir de lâchers précoces pour renforcer leur présence (lâchers inoculatifs) ou de lâchers en grandes quantités pour combattre une pullulation

(lâchers inondatifs) (Lambert 2010). Cette méthode peut s'utiliser sous abri (par exemple, l'acarien prédateur *Phytoseiulus persimilis* contre les tétranyques tisserands) mais aussi en extérieur (par exemple, la coccinelle de Montrouzier contre des cochenilles en intérieur et en extérieur) (Fauvergue et al. 2020).

✓ **Lutte par importation** : il s'agit d'introduction un organisme n'est pas naturellement présent dans un milieu, puis qui peut s'installer et perdurer dans le milieu d'accueil (Fauvergue et al. 2020). Cette méthode a été utilisée pour la première fois au XIXe siècle pour lutter contre la cochenille australienne *Icerya purchasi* aux Etats-Unis. Les attaques très importantes de ce ravageur, en l'absence de ses prédateurs naturels, furent stoppées en quelques années grâce à l'introduction de la coccinelle *Rodolia cardinalis* de l'Australie (aire originaire) vers les Etats- Unis (Wright 1998).

✓ **Lutte par perturbation** : cherche à perturber le cycle du ravageur par la compétition trophique ou spatiale, le parasitisme, la limitation du cycle de reproduction, par des phéromones de confusion sexuelle ou des lâchers de ravageurs mâles stériles (Polis & Holt 1992 ; Chougar 2011 ; Frago 2016).

### 3.2. Règlements mondiaux des produits biologiques

L'agriculture biologique a émergé dans les années 1920 en tant que mouvement de pensée porté par des agronomes, des agriculteurs et des consommateurs qui ont inauguré un mode alternatif de production agricole reposant sur des principes éthiques et écologiques ; ce système met l'accent sur des méthodes durables, excluant l'utilisation de pesticides ou d'engrais chimiques synthétiques, ce qui favorise la biodiversité et le respect de l'environnement (FAO 2020). À partir des années 1980, l'agriculture biologique est devenue une question centrale dans la société, et les produits biologiques, issus de cette agriculture respectueuse de l'environnement, offrant une alternative plus naturelle et souvent perçue comme plus saine que les produits conventionnels; cette approche vise à réduire les impacts négatifs sur la santé humaine et l'écosystème tout en encourageant des pratiques agricoles responsables (Ait Kaki 2014). Dans le langage courant, les produits "biologiques" (ou produits "BIO") sont souvent confondus ou assimilés aux produits "naturels" ou "diététiques" ; cependant, ces trois termes recouvrent des réalités fondamentalement différentes (Riquois 1998):

- Un produit "biologique" résulte des pratiques de " l'agriculture biologique", soumises à des réglementations officielles et à des certifications garantissant le respect de normes.
- Le produit "naturel" est un produit dont la commercialisation se fait sans ajout d'additifs (colorants, arômes ...) ni retrait de matière (matière grasse, sucres ...).
- Le produit "diététique" ne garantit aucune exigence particulière de production agricole après sa fabrication et avant sa mise en vente.

Il est important de noter que plusieurs règlements de commercialisation et de contrôle agricole sont appliqués tout au long des différents processus de production de ces aliments.

#### 3.2.1. Règlements européens des produits biologiques

En Europe, le terme « bio » s'applique aux aliments dont au moins 95% des ingrédients sont issus de l'agriculture biologique (Riquois 1998). Les pays de l'Union Européenne ont adopté des réglementations communes pour la production de ce type d'aliments depuis

l'adoption du terme « agriculture biologique » dans le (Règlement CEE du Conseil n° 2092/91 du 24 juin 1991 relatif aux productions végétales) (Ait Kaki 2014). L'introduction du règlement n° 1452/2003 relatif à la fourniture de semences et matériels de reproduction végétative spécifiques au mode de production biologique est entrée en vigueur, suivi du règlement (CE) n° 834/2007 du 28 juin 2007 relatif à la production biologique et l'étiquetage des produits biologiques, abrogeant le règlement (CEE) N° 2092/91. Ensuite, le règlement (CE) n° 1235/2008 du 8 décembre 2008 règle en détail l'importation de produits biologiques en provenance des pays du tiers monde (CE 2012).

Les produits biologiques utilisent également des marques et des logos pour les protéger au niveau européen, tout en confirmant leurs procédés de fabrication et instaurant la confiance entre producteurs et consommateurs (CTB 2009) ; des exemples incluent la marque UE en vigueur depuis juillet 2010 et l'AB (Agriculture Biologique) en Belgique, désignant Biogarantie. La plupart des grandes enseignes ont adopté leur propre marque, comme "Bio-Time" chez Colruyt, "Bio" chez Delhaize ou "Bio, Le bien-être de la Nature" chez Carrefour (Ait Kaki 2014).

La directive 2009/128/CE encourage clairement le développement de la protection intégrée des cultures, l'optimisation de toutes les techniques de lutte biologique, la préférence pour les mesures préventives et l'utilisation de méthodes correctives basées sur des outils de surveillance respectueux de l'environnement pour tous les pays du continent européen (CE 2012).

### 3.2.2. Règlements nationaux des produits biologiques

Le gouvernement algérien s'est engagé dans la gestion rationnelle des ressources naturelles, en renforçant le cadre législatif et institutionnel, ainsi que les nombreux programmes lancés dans le domaine de l'éducation environnementale ; il a également renforcé le contrôle de l'utilisation des produits chimiques dans l'agriculture par les services du gouvernement, à travers des dispositions législatives et réglementaires applicables telles que la *Loi n° 87-17* du 01/08/87 relative à la protection phytosanitaire, la *Loi n° 08-16* du 3 août 2008 portant directive agricole, la *Loi n° 09-03* du 25/02/09 relative à la protection du consommateur et à la répression des fraudes, et le décret exécutif *n° 95-405* du 2 décembre 1995 relatif au contrôle des produits phytosanitaires à usage agricole, modifié et complété par le décret exécutif *n° 99-156* du 20 juillet 1999 (MCPE 2022).

En coopération avec la FAO, des écoles spécialisées ont été créées dans le pays, responsables sur la formation des agriculteurs et de la diffusion des outils alternatifs aux produits chimiques dans les stations agricoles ; en 2006, le centre de recherche scientifique dans les régions arides a développé une usine pilote dédiée aux ressources biologiques dans le sud du pays, où les chercheurs travaillent à améliorer des programmes locaux basés sur la lutte biologique et la biofertilisation afin d'assurer la durabilité des systèmes agricoles et de production organique ; cette initiative couvre une superficie totale actuelle de 1118.2 hectares répartis sur 59 exploitations, situées dans les quartiers de Mascara, Relizane, Mila et Biskra (Ait Kaki 2014).

### 3.3. Organisations mondiales de biocontrôle

L'Organisation internationale de lutte biologique a été fondée en 1955, et en 1959, elle a organisé

le premier groupe international scientifique de protection intégrée en vergers, suivi par l'organisation internationale de lutte biologique contre les animaux et plantes nuisibles (IOBC), qui publie le périodique BioControl, pour promouvoir des méthodes modernes de lutte antiparasitaire et fournir une liste des auxiliaires indigènes, introduits et stables (IOBC 2021). L'organisation européenne et méditerranéenne pour la protection des plantes (EPPO) encourage également l'utilisation de méthodes modernes, sécuritaires et efficaces pour lutter contre les ravageurs (EPPO 2007). Aux États-Unis, c'est principalement l'agence de protection de l'environnement et le département de l'agriculture des États-Unis qui s'occupent de la lutte biologique (EPA 2009).

À ces institutions s'ajoutent certaines compagnies qui mettent sur le marché des auxiliaires de lutte biologique, et d'autres offrent leurs services pour les implanter, comme illustré dans la figure (I-14).



**Figure I-14.** Institutions mondiales du biocontrôle (Ait Kaki 2014).

En Algérie, les aliments biologiques sont commercialisés par plusieurs sociétés, notamment l'ONCV (vin), la SAEX (olives de table et huile d'olive), Ass produit bio, Sarl Bionour (dattes Deglet Nour) et Sarl Biodatt (dattes et fruits). Plusieurs organismes de certification contrôlent la qualité des produits biologiques algériens, comme Ecocert (Tunisie), Ecocert (Roumanie), Ecocert et Qualité (France) (Ait Kaki 2014).

Le biocontrôle connaît un essor important depuis quelques années. Il représente aujourd'hui plus de 11% du marché de la protection des plantes, soit un volume de ventes estimé à 217 millions d'euros en 2019, en progression d'environ 8.5% entre 2018 et 2019. Les perspectives font état d'une part de marché possible de 15% d'ici 2022 et un objectif de 30% à l'horizon 2030, participant à l'atteinte de l'objectif de réduction de 50% de produits phytopharmaceutiques en 2025. Le biocontrôle représentait, fin 2019, près de la moitié des actions standardisées au titre des certificats d'économie de produits phytopharmaceutiques (CEPP) (FAO 2020).

**PARTIE II**  
**REVUE EXPERIMENTALE**

Dans ce chapitre, nous allons présenter la région expérimentale et les sites d'étude choisis, les matériels utilisés et la méthodologie de travail adoptée pour atteindre l'objectif principal de notre étude, qui est la proposition d'une stratégie de gestion biologique pour la mineuse de la tomate *T. absoluta* dans la région de Biskra, à travers les étapes suivantes:

- **Réaliser** un inventaire des flores associées au ravageur *T. absoluta* sur les deux sites d'étude.
- **Etudier** la biodynamique, la distribution et l'infestation du ravageur *T. absoluta* sur la culture de tomate dans les serres sélectionnées.
- **Etablir** un inventaire des faunes associées au ravageur *T. absoluta* dans les sites d'étude.
- **Tester** le parasitisme sur les œufs de *T. absoluta* par le parasitoïde oophage *T. pretiosum* dans des conditions contrôlées au laboratoire.

### 1. Description de la région et des sites d'étude

La Wilaya de Biskra, capitale du Ziban, est située au sud-est de l'Algérie. Elle s'étend sur une superficie totale d'environ 10 246 Km<sup>2</sup> entre les latitudes 34°51'01" Nord et les longitudes 5°43'40" Est (tutiempo.net 2022). Cet ensemble géographique est limité au nord par les départements de Batna et M'Sila, à l'est par Khenchela, à l'ouest par Ouled-Djellal et Djelfa, au sud par Ouargla et El-Oued (Figure II-1). Le climat de la région est aride, et l'ensemble agro-écologique de la région appartient à l'étage bioclimatique saharien (Harrat & Moussi 2007). Les précipitations dépassent rarement les 125 mm par an et la période sèche s'étale sur presque toute l'année (Alori et al. 2020). La sélection de cette région pour le travail expérimental est due au fait qu'elle est la plus infectée par le mineur de tomate *Tuta absoluta* dans notre pays (INPV 2015 ; Ounis 2017).

L'étude s'est déroulée sur la culture de tomates sous serres, dans deux biotopes différents dans la région de Biskra. Le premier site est situé à la commune d'AlAlia et le deuxième à la commune d'Ain Ben Noui, la distance entre les deux sites est 11.6 km. Ils se différencient notamment du point de vue végétatif (Figure II-1).

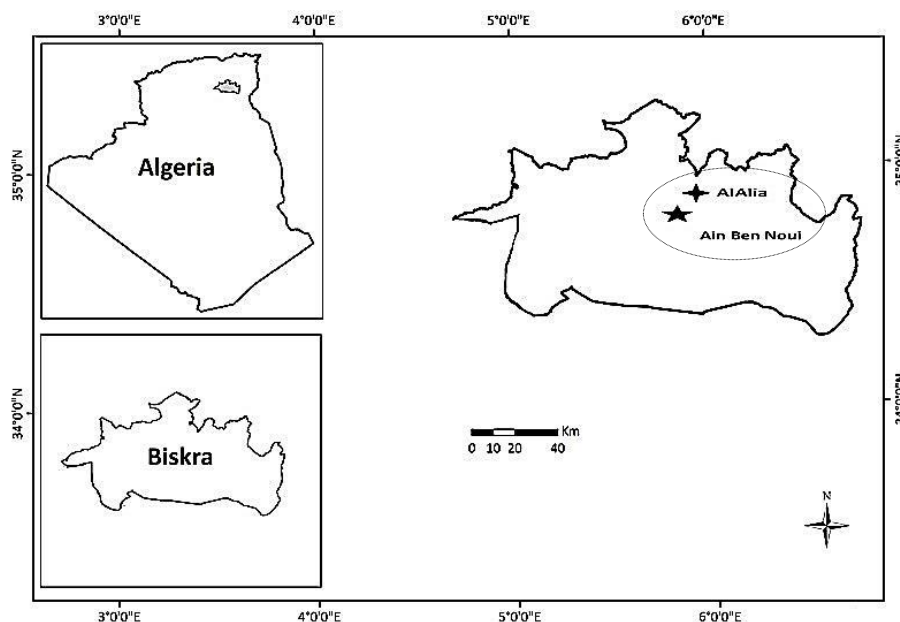


Figure II-1. Localisation de la région et des sites d'étude.



### 1.1. Choix des sites

Étant donné que l'objectif de notre travail est d'entreprendre une approche d'étude sur la protection biologique des cultures sous serre dans la région de Biskra, s'appuyant notamment sur des inventaires faunistiques et floristiques associés à la culture de tomate, principalement le ravageur *T.absoluta*, le choix des deux sites d'étude s'est fait en fonction de nombreuses considérations, particulièrement:

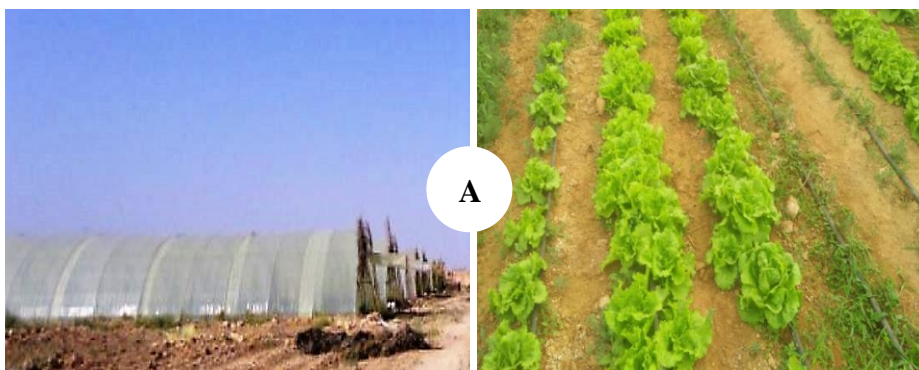
- L'absence totale de l'utilisation de traitements phytosanitaires contre les ravageurs, tout au long de l'essai, avec une serre complètement saine.
- La présence confirmée de la mineuse de tomate, comme ravageur principal pendant tout le cycle de la culture.
- La présence de plantes spontanées sur les deux sites : un milieu rural (Ain Ben Noui) et un autre urbain (AlAlia).

#### - Présentation du site AlAlia

Le site se trouve dans la commune d'AlAlia, au sein du pôle universitaire Mohamed Khider ( $34^{\circ}50'43.9332''\text{N}$ ,  $5^{\circ}44'53.5092''\text{E}$ ), à une altitude de 120 m au-dessus du niveau de la mer, occupant une superficie de 4.2 ha. La parcelle pilote est dépourvue de brise-vent et souffre de l'effet des vents chauds, avec une absence totale de cultures intercalaires (Allache & Demnati 2012) (Figure II-2A).

#### - Présentation du site d'Ain Ben Noui

En ce qui concerne la présentation du site Ain Ben Noui ( $34^{\circ}48'24.3''\text{N}$ ,  $5^{\circ}39'16.3''\text{E}$ ), celui-ci est situé à une altitude de 125 m au-dessus du niveau de la mer. Le site se caractérise par la culture de tomates, de melons, et de légumes en serres, et les céréales avec les fourrages en pleins champs. De plus, il comprend une vaste zone de forêt et de palmiers, couvrant une superficie totale de 21.5 ha (Khachai 2001) (Figure II-2B).





**Figure II-2.** Sites d'étude (Originale) : A. Site urbain du département agronomique à AlAlia.  
B. Site rural de l'ITDAS à Ain Ben Noui.

## 1.2. Préparation des sites

### - Serres

Le travail expérimental sur le terrain a été mené dans deux serres tonnelles de format standardisé, recouvertes d'un film plastique, non chauffées, de 50 m de longueur et de 8 m de largeur, avec une surface totale de 400 m<sup>2</sup>/serre. Ces serres sont équipées par un système d'irrigation goutte-à-goutte pour atteindre une saturation topique de la culture.

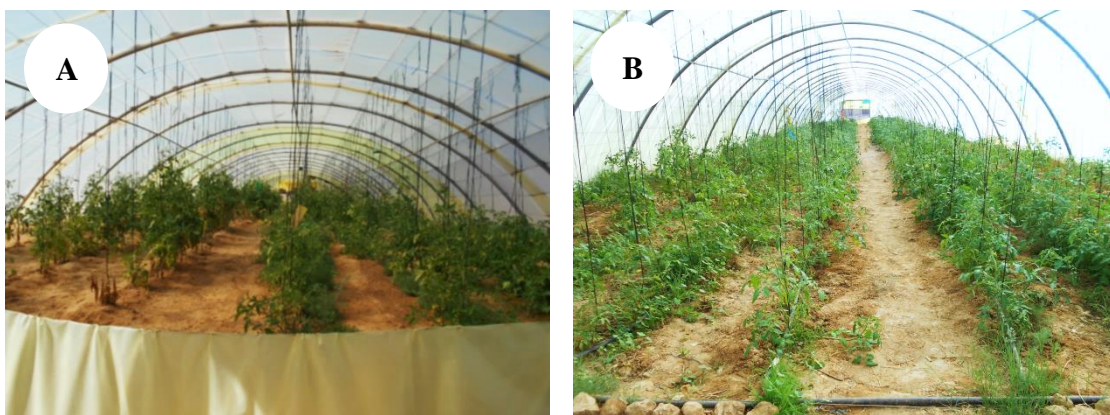
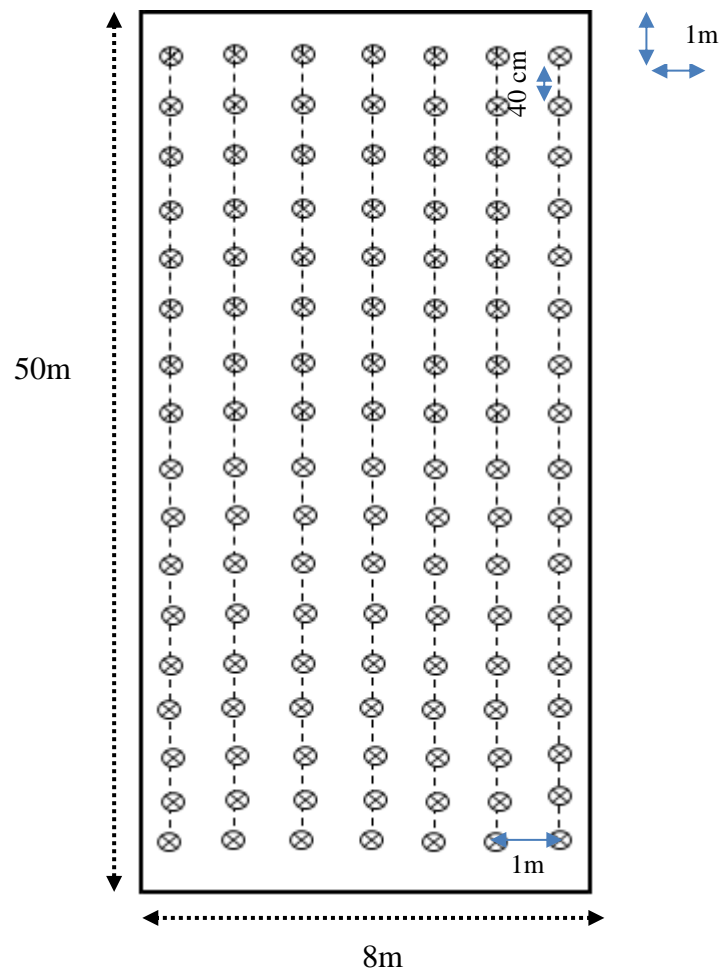
### - Matériel végétal

Les deux serres ont été cultivées avec des plants de tomates *Lycopersicon esculentum* L.. Nous avons choisi la variété locale « Kawa », qui est une plante très précoce à courte saison, à bonne nouaison au froid, donnant des fruits de 250 g fermes et uniformes, avec une période de récolte très rapide (Ounis 2017).

### - Mise en place de la culture

Nous avons semé les plantules de manière traditionnelle les 11 et 12 novembre 2019 respectivement, dans les deux serres. Nous avons divisé chaque serre en 7 lignes, avec un espace de 1 m entre les lignes et 40 cm entre les plants. Le nombre de plantes par ligne est de 55 plants, et le nombre total de plantes est de 800 par serre (Figure II-3). La densité normalement utilisée varie de 2.5 plantes ou tiges/m<sup>2</sup>, en fonction du plan de production et de la lumière disponible.

Nous avons utilisé un apport de fond comprenant 50 kg de fumier et une fumure minérale, dont les doses généralement de 100 kg d'azote (N) + 50 kg de phosphore (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) + 25 kg de potassium (K<sub>2</sub>O) pour chaque serre, en phase végétative, dans le but d'assurer la vigueur des plants.



**Figure II-3.** Dispositif expérimental adopté pour la plantation des tomates sous serres situées à Ain Ben Noui (A) et AlAlia (B), (Originale).

⊗ Plants    ——— Limite de parcelle    - - - - - Lignes

## 2. Relevés des flores secondaires du ravageur *Tuta absoluta* dans les sites d'étude

Beaucoup d'auteurs ont souligné l'importance de la végétation, car l'augmentation de la diversité végétale entraîne une augmentation de la diversité des ravageurs, et par conséquent de leurs prédateurs et parasitoïdes (Damien 2018). De même, les relations trophiques établies entre les plantes hôtes cultivées, leurs bioagresseurs et les ennemis naturels de ces derniers sont généralement bien comprises (Sunil et al. 2020). Néanmoins, ces relations sont moins connues dans le cas des plantes (flores) hôtes non cultivées présentes dans les habitats naturels ou semi-naturels. Pourtant, ces plantes peuvent, a priori, favoriser la survie d'un ravageur et/ou de ses ennemis naturels en dehors des cultures (González-Chang et al. 2019).

Pour connaître les plantes hôtes secondaires du ravageur *T. absoluta* qui règnent dans les deux sites d'étude, nous avons réalisé un inventaire floristique au niveau des serres de chaque site. Les flores rencontrées au cours de la période de l'essai dans les deux sites sont répertoriées dans l'annexe (Annexe II -1).

### 2. 1. Matériel et méthodes

#### 2. 1.1. Echantillonnage des espèces floristiques

Nous avons effectué des prospections botaniques au niveau de chaque serre, basées sur le suivi régulier de plantes aléatoires associées à la culture en période de floraison dans les deux sites (Meddour 2011). Nous avons conservé les échantillons dans des sacs kraft jusqu'à leur identification (Figure II-4).

L'identification a été réalisée en se référant aux ouvrages suivants: « La flore et végétation du Sahara » (Ozenda 2004) et « L'index synonyme, bibliographique de la flore nord-africaine » (Dobignard & Chatelain 2010-2013).



Figure II-4. Herbiers des espèces floristiques collectées (Originale).

### **3. Biodynamique du ravageur *Tuta absoluta* et son taux d'infestation dans les sites d'étude**

Aujourd'hui, la protection des cultures repose sur une connaissance de la dynamique des bioagresseurs et sur les conséquences de ces dynamiques sur la plante cultivée (Fauvergue et al. 2020).

La reconnaissance de la succession temporelle du ravageur *T. absoluta* sur la culture de tomate en conditions naturelles des serres s'avère d'une importance capitale pour établir un plan de gestion intégrée fiable et efficace (Sylla 2018). Afin de construire la dynamique de ce ravageur, nous avons suivi la fluctuation des différents stades (œufs, pupes, larves, adultes) de ses populations sur la culture de tomate sous serres en raison de sa grande valeur économique dans la région de Biskra. Pour conserver un temps de développement réaliste, nous avons regroupé le temps des larves. Nous considérons ainsi quatre stades de développement: les adultes mâles, les œufs, les pupes et les larves, afin de reconnaître les distributions et les dégâts causés par ce ravageur.

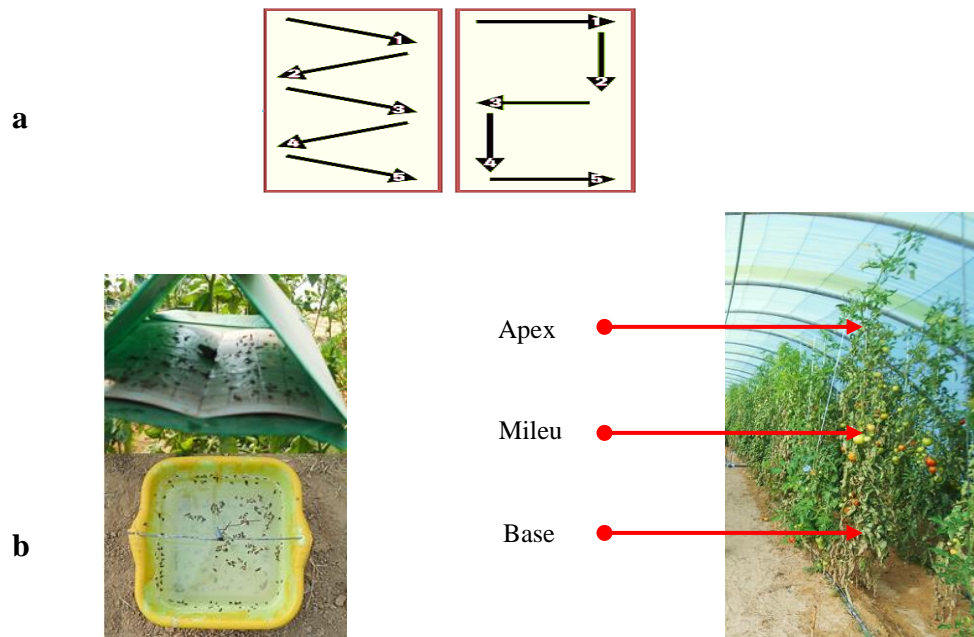
#### **3. 1. Matériel et méthodes**

Pour mener ce travail, deux méthodes d'échantillonnage ont été élaborées (installation des pièges, échantillonnage des feuilles).

##### **3. 1.1. Dénombrements de *Tuta absoluta***

Après l'ensemencement de la variété de tomate Kawa, nous avons installé trois pièges à phéromones sexuelles dans chaque serre. Un récipient jaune en plastique a été positionné au centre de la serre, aussi près que possible de la végétation, tandis que 02 pièges phéromone Delta (verts, 15×8 mm) ont été installés à l'entrée et à la sortie de la serre, à une hauteur de 1.2 m (Allache & Demnati 2020). Les composantes des phéromones sont à la base d'acétate de tétradécatriényle, avec une concentration de 2.5-1.0 mg. Les captures des adultes mâles de *T. absoluta* sont effectuées tous les 15 jours, en raison de la pandémie de Corona.

Dans les mêmes conditions, nous avons échantillonné des feuilles de tomates pour dénombrer les œufs, les larves et les chrysalides. 50 plants de tomate ont été sélectionnés de manière aléatoire suivant la technique de prospection illustrée dans la figure (II-5a). 12 feuilles ont été récoltées par plant (quatre feuilles / niveaux : haut, milieu et bas) (Figure II-5b), ce qui fait au total 600 feuilles par échantillonnage (200 feuilles / niveau). Au laboratoire, nous avons dénombré les différents stades biologiques de *T. absoluta* sur les deux faces foliaires de chaque feuille sous la loupe binoculaire, en tenant compte de leurs états de développement.



**Figure II-5.** Schémas d'échantillonnage dans l'ensemble du champ, la récolte de *T.absoluta* dans des pièges à phéromones (a) et les trois niveaux d'échantillonnage des feuilles infestées (b) (Originale).

### 3. 1.2. Taux d'infestation

Pour évaluer les dégâts causés par les larves de *T.absoluta* dans notre culture de tomates, nous avons sélectionné au hasard 200 feuilles dans nos serres, que nous avons ensuite classées comme endommagées ou saines. Cette procédure a été effectuée tous les 15 jours, à partir du moment de la plantation et de la mise en place des pièges jusqu'à la fin de la récolte en juin pour les deux serres. Le taux d'infection a été calculé selon la formule d'Ayachine-Ziri (2015), comme suit :

$$I (\%) = (ni/Nt) \times 100$$

I : Taux d'infestation en (%).

ni : Nombre des feuilles infectées.

Nt : Nombre des feuilles (infectées/saines).

#### **4. Echantillonnage des faunes associées au ravageur *Tuta absoluta* dans la région de Biskra**

Tous les ravageurs des cultures ont des ennemis naturels, souvent qualifiés d'« utiles » ou d'agents de lutte biologique (Frago 2016). Ils offrent aux agriculteurs un service important sans frais, par contre, ils sont souvent négligés dans les régions agricoles arides de notre pays.

Suite aux pertes considérables causées par le ravageur *T. absoluta* sur la quantité de tomates produites dans la région de Biskra, en raison de sa résistance accrue aux méthodes chimiques largement utilisées dans les serres, la recherche d'une approche biologique basée sur les ennemis naturels a été adoptée comme l'une des solutions alternatives pour lutter contre ce ravageur dans cette région (Allache & Demnati 2020).

L'adoption d'une approche biologique pour le programme de lutte intégrée contre la mineuse de tomate *T. absoluta* nécessite un protocole expérimental au terrain et en laboratoire, basé sur un inventaire de toutes les espèces faunistiques liées à ce ravageur dans les serres de tomates choisies. Ensuite, une identification systématique et fonctionnelle de toutes les espèces utiles (agents de lutte biologiques) est entreprise, incluant l'étude de l'abondance, la diversité et les variations spatio-temporelles de ces espèces dans deux sites d'étude (urbain et rural). Dans ce contexte, tous les matériels et les méthodologies adoptés dans les sites d'étude seront présentés en détail.

##### **4. 1. Matériel et méthodes adoptés au terrain**

###### **4. 1.1. Matériel de piégeage des espèces faunistiques associées à *Tuta absoluta***

Afin d'identifier les ennemis naturels de *T. absoluta*, nous avons effectué un inventaire quantitatif et qualitatif sur le terrain, variant considérablement en fonction du comportement des espèces et des conditions environnementales étudiées. Dans les serres, nous avons utilisé un ciseau pour couper les feuilles choisies lors de l'échantillonnage, des sacs en papier kraft dans lesquels les feuilles échantillonnées sont placées, des flacons, un thermomètre pour enregistrer les fluctuations de température, un tamis, un cahier des notes, des étiquettes, et divers pièges entomologiques qui peuvent être suspendus ou accrochés au terre. Parmi ces pièges, nous avons utilisé :

###### **- Assiettes colorées**

Nous avons employé des récipients en plastique de couleur jaune-citron et rouge, d'un diamètre de (25 x 10 cm). Environ les 3/4 du récipient sont remplis d'eau mélangée à quelques gouttes de savon liquide sans odeur pour immobiliser les insectes capturés, et une bonne quantité de sel pour conserver les espèces plus longtemps (Figure II-6a).

###### **- Piège Barber**

Nous avons enfoncé un gobelet en plastique à parois lisses d'un diamètre de 15 cm et d'une hauteur de 18 cm verticalement dans le sol afin de créer un puits dans lequel les insectes marcheurs chutent. Nous avons rempli le fond du piège jusqu'au 1/3 de son contenu par un mélange d'eau salée savonneuse, et de vinaigre pour éviter l'échappement des insectes capturés et les conserver le plus longtemps possible (Figure II-6b).

- **Panneaux adhésifs colorés**

Nous avons utilisé des pièges chromatiques de différentes couleurs (jaune, bleu et vert), mesurant 24x10 cm, composés de colle des deux côtés, que nous avons installés au point de prélèvement sur une cheville en bois pour attirer les insectes (Figure II-6c).

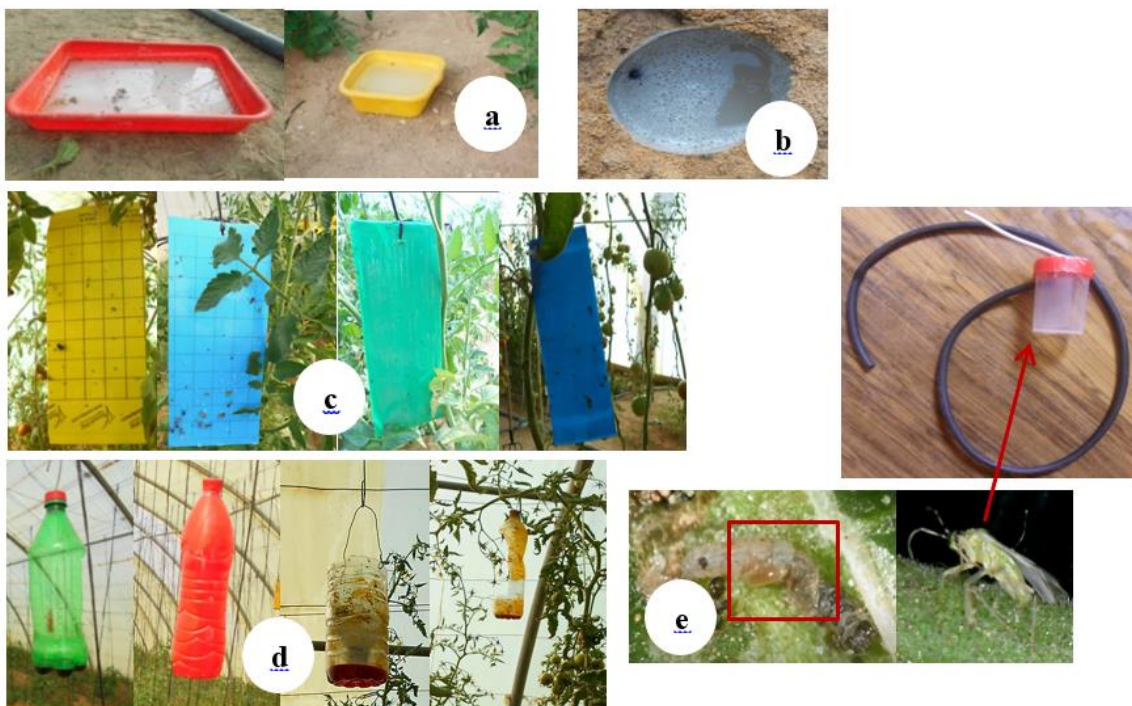
- **Pièges attractifs aériens**

Nous avons installé des bouteilles en plastique (½ litre) de différentes couleurs, remplies d'eau et de quelques gouttes de savon liquide, ou d'un mélange de jus de pomme, sucre, vinaigre et sel, à la hauteur des plantes, pour attraper les individus au cours de leur déplacement (Figure II-6d).

- **Aspirateur et collecte manuelle**

Nous avons repéré les arthropodes à l'œil nu sur les végétations des deux sites d'étude et les avons aspirés à l'aide d'un piège à aspiration. Ensuite, nous avons vidé les échantillons capturés dans une boîte contenant de l'alcool.

Parallèlement, pour obtenir des parasitoïdes et confirmer leur hôte, nous avons prélevé des échantillons (larves, pupes) déjà parasités (identifiables par leur couleur brune ou noire) de nos serres de tomates (collecte manuelle), à l'aide de pinces. Ces spécimens ont été placés dans des boîtes en plastique bien fermées puis amenés au laboratoire (Figure II-6e).



**Figure II-6.** Pièges d'échantillonnage faunistiques (Originale): a. Piège à eau jaune ou rouge. b. Piège Barber. c. Pièges adhésifs de différentes couleurs utilisés dans les serres. d. Pièges aériens en différentes couleurs. e. Collecte manuelle à l'aide d'apériseur et de collecte directe.



#### 4. 1.2. Dispositif expérimental pour les pièges

Pour faciliter les relevés et l'échantillonnage des arthropodes, nous avons adopté un dispositif expérimental consistant à installer les pièges dans des blocs aléatoires en divisant chaque serre sélectionnée en trois parcelles partielles (3 répétitions/serre), mesurant environ 16.5 m de long et 8 m de large. Ensuite, nous avons placé les pièges de manière régulière dans ou près des plants de tomates, et sur la strate d'herbe, soit sur des plateaux fixés à des piquets ou directement aux branches (ZIRI 2011). Au total, trois pièges à phéromones sexuelles, huit assiettes colorées, huit pièges Barber, neuf panneaux adhésifs colorés, huit pièges attractifs aériens ont été disposés aléatoirement dans chaque serre (parcelle totale), comme suit (Figure II-7):

- Nous avons installé un piège à phéromone sexuelle/parcelle partielle à la hauteur de la plante ou l'avons placé à 1.6 m au-dessus du sol entre chaque parcelle partielle en raison de la densité des ravageurs (*T.absoluta*) (Chougar 2011; ZIRI 2011).
- Nous avons placé 2 à 3 assiettes à eau colorées/parcelle partielle en ligne, avec une distance minimale de 5 m entre chaque piège (ZIRI 2011).
- Nous avons mis 2 à 3 pièges Barber en ligne, dans des trous préalablement creusés dans le sol à intervalles réguliers de 5m, l'espace est suffisant pour permettre le passage des insectes vers le piège et minimiser l'évaporation du liquide (Benkhelil 1991).
- 3 pièges adhésifs double faces de dimension 10x23 cm/parcelle partielle, que nous avons collés à une distance d'au moins 5 m entre chaque piège (Raj et al. 2020).
- 2 à 3 bouteilles aériens colorées /parcelle partielle, séparées par une distance minimale de 5 m pour capturer le plus grand nombre d'espèces volantes (Chittaro et al. 2013).

Nous avons renouvelé les pièges d'assiettes à eau, Barber, les plaquettes adhésives et les bouteilles aériennes chaque 15 jours, tandis que les pièges à phéromones ont été renouvelés chaque mois.

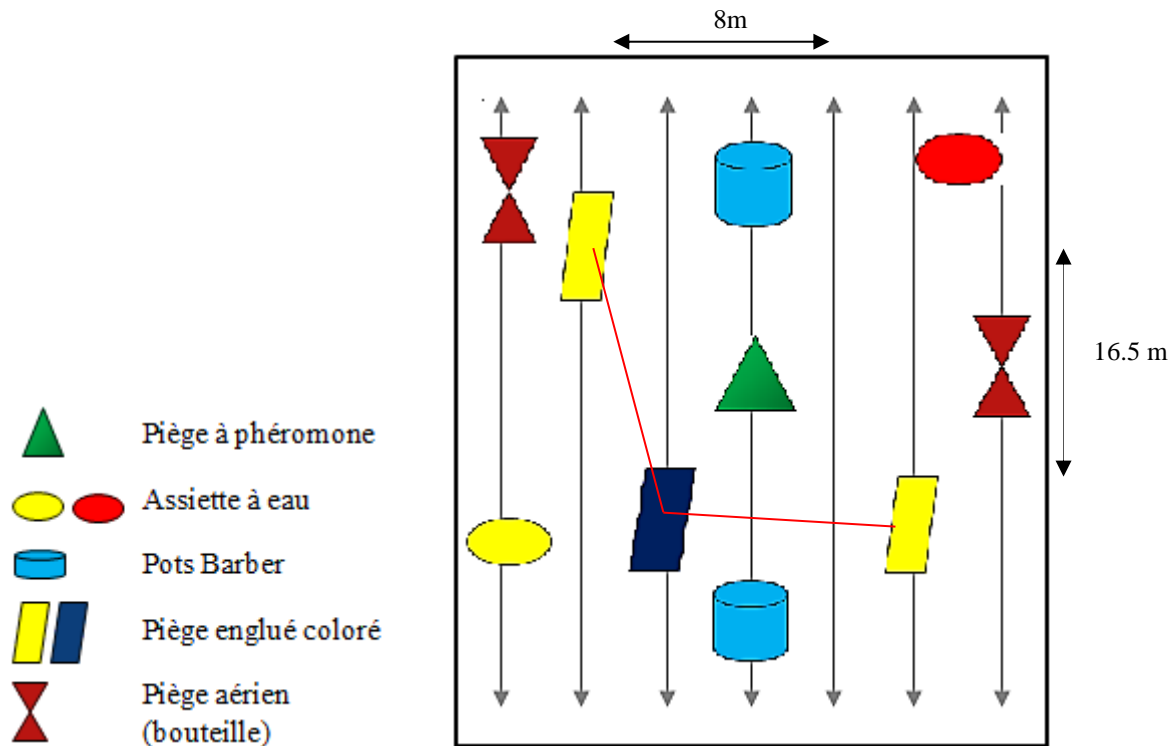


Figure II-7. Dispositif expérimental pour l'utilisation des pièges dans chaque parcelle partielle (Originale).

#### 4. 1.3. Echantillonnage des espèces faunistiques

La surveillance périodique (tous les 15 jours) de la culture et la collecte des échantillons ont débuté dès l'ouverture des bourgeons foliaires dans la première quinzaine de décembre et se sont poursuivies jusqu'à la fin de la chute des feuilles le 1er juin (du 01.12.2019 au 31.05.2020).

Nous avons collecté tous les arthropodes à leurs différents stades par différents pièges préalablement disposés dans les serres lors de visites sur le terrain, et par observation directe en vue. Nous avons versé le contenu de chaque assiette, pot Barber et bouteille aérien sur une passoire. Nous avons également prélevé les espèces par recherche active sur les feuillages de tomate à l'aide d'un aspirateur adapté ; les espèces recueillies sont stockées dans des flacons datés. Les espèces récoltées par les pièges adhésifs colorés ont été conservées dans des sachets en papier Kraft.

Nous avons également collecté des feuilles contenant des larves et pupes déjà parasitées (reconnaissables à leur couleur brune ou noire). Les espèces récupérées ont été placées individuellement dans des boîtes en verre numérotées et datées jusqu'à l'émergence des adultes pour leur identification. Tous les flacons ont été remplis par l'alcool (éthanol) à 70°C et l'eau distillée.

## 4. 2. Matériel et méthodes adoptés au laboratoire

### 4. 2.1. Matériel utilisé

Afin d'atteindre les différents objectifs de notre étude en laboratoire, le travail expérimental a nécessité l'utilisation de plusieurs outils, équipements ainsi que des produits désinfectants, comme illustré sur la figure II-8. Ces éléments comprennent des boîtes en plastiques (boîtes d'élevage transparentes), des tubes en verre, des flacons, des piluliers, des béchers, des éprouvettes graduées, des lames et lamelles, des brosses entomologiques, une pince entomologique souple, des épingles entomologiques, des boîtes de Pétri, une cage d'élevage, des boîtes de collection, des coupelles en plastique, une passoire, des pots en plastique, du coton, une éponge mouillée, du polyester, des étiquettes, des ciseaux, des gants, un bloc-notes, un feinter, de l'alcool (éthanol) à 70°, de l'eau distillée, une loupe binoculaire, une caméra photographique, ainsi qu'une chambre d'élevage sous des conditions contrôlées.



**Figure II-8.** Collection du matériel utilisé au laboratoire dans la présente étude (Originale).

### 4. 2.2. Méthodologie adoptée

Depuis que nous avons collecté un grand nombre des spécimens faunistiques grâce à nos expérimentations sur le terrain, nous avons suivi les méthodes de conservation, de traitement et d'identification des espèces parasitoïdes et prédateurs de *T.absoluta* (Figure II-9).

Un suivi a été effectué selon l'étape de travail et la disponibilité des matériels et

appareils, dans trois laboratoires : l'INPV à Felliache, le laboratoire de zoologie à l'École Nationale Supérieure de Vétérinaire d'Alger, et le laboratoire de diversité des écosystèmes et de la dynamique des systèmes de production agricole dans les zones arides, département des sciences agronomiques, université de Biskra. Les conditions de température étaient maintenues entre  $23\pm 5^{\circ}\text{C}$  et  $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ , l'humidité relative  $58\pm 5\%$  et  $70\pm 3\%$ , avec une photopériode de 16:8 (L: D).

#### - Conservation des espèces faunistiques

Nous avons vidé tous les spécimens capturés par les pièges à eau, les bouteilles aériens colorés, les pots Barber et l'aspirateur manuel dans des coupelles en plastique remplies d'eau pour isoler et nettoyer les échantillons entiers avec une pince ou une brosse entomologique. Ensuite, nous avons transféré tous les insectes dans des piluliers en plastiques de différentes tailles, contenant chacun de l'alcool dilué à 70%, afin d'empêcher la putréfaction et la déformation des spécimens en raison de leur fragilité. Les spécimens capturés par les bandes adhésives colorées ont été conservés dans des boîtes en bois. Quant aux larves et pupes déjà parasitées dans nos serres, nous les avons amenées au laboratoire dans des conditions artificielles afin de les suivre et de capturer les parasitoïdes émergeant pour chaque tube, puis stockées dans des flacons avec de l'éthanol à 70% (Figure II-9a).

#### - Préparation de la collection

Après avoir achevé le processus de séchage des espèces préservées dans l'alcool à la température ambiante du laboratoire, nous avons monté la plupart des spécimens sur des épingle, directement à travers le thorax, puis les avons transférés dans des boîtes entomologiques. En parallèle, nous avons découpé les plaquettes adhésives portant les spécimens en morceaux pour garder l'échantillon intact, puis les avons fixées avec une épingle dans du polyester. Chaque contenant, que ce soit des flacons, des piluliers ou des tubes, a été soigneusement étiqueté, comprenant les dates, la température et les noms du site de collecte (Figure II-9b).

#### - Triage et observation microscopique

Au laboratoire de zoologie de l'ENSV à Alger, un triage des insectes a été effectué en versant le contenu de chaque flacon d'insectes dans une boîte de Pétri (ou lame/lamelle) afin de compter le nombre d'individus de chaque espèce. Ensuite, nous avons séparé les spécimens complets de chaque espèce pour faciliter l'identification morphologiques sous la loupe binoculaire à 40X et 60X (Figure II-9c).

#### - Identification morphologique des espèces piégées

Les éventuelles espèces collectées ont été examinées et confirmées sous la direction du professeur Marniche Faiza, en se basant sur diverses clés de détermination des parasitoïdes, telles que : **Diptères** (Jaenicke 1867) ; et les **Hyménoptères** comme *Bethylidae* (Ashmead 1894), *Scelionidae* (Nixon 1937 ; Felipe-Victoriano et al. 2019), *Eulophidae* (Ashmead 1904; Hansson 2009 ; Jafarlu Majid et al. 2021 ; Youssef et al. 2022), *Trichogrammatidae* (Riley 1879 ;

Ning et al. 2019), *Braconidae* (Yi-Ping et al. 2004 ; Broad et al. 2016; Pezzini et al. 2017 ; Fagan-Jeffries & Andrew 2020), *Pteromalidae* (Dale-Skey et al. 2016), *Ichneumonidae* (Finlayson's 1975 ; Pénigot 2020), *Chalcididae* (Narendran & van Achterberg 2016 ; Wang & Li 2021) ; ainsi détermination des prédateurs telle que : *Coléoptera : Carabidae* (Ball 2017), *Coccinellidae* (Li et al. 2018), *Anthicidae* (Werner & Chandler 1995). **Hemiptères** : *Miridae* (Martinez-Cascales et al. 1839 ; Rambur 1939) et *Anthocoridae* (Carpintero 2014) ; *Geocoridae* (Sweet & Slater 1961) ; *Neuroptera : Chrysopidae* (San Martin 2004) ; *Hymenoptera : Formicidae* (Seifert 2012) et *Vespidae* (Blackwall 1841) ; *Araneae: Salticidae* (Nentwig et al. 2022).



**Figure II-9.** Méthodologie adoptée au laboratoire (Originale) : a. Nettoyage et conservation des espèces capturées par différents pièges. b. Collection des espèces conservées dans des boîtes en bois. c. Observation microscopique pour l'identification des espèces capturées.

## 5. Etude de l'activité parasitaire (taux de parasitisme) du *Trichogramma pretiosum*

Les espèces de *Trichogramma*, en tant que parasitoïdes obligatoires, ont une dépendance étroite envers leur hôte pour leur subsistance, les rendant ainsi incapables de mener une vie libre en dehors de celui-ci (Ferracini et al. 2019). La lutte biologique à l'aide de parasitoïdes oophages trichogrammes est considérée comme une tactique de gestion prometteuse et respectueuse de l'environnement contre cet organisme nuisible, car ils attaquent la mineuse au stade œuf avant l'apparition de dégâts (Mansour et al. 2018). En effet, leur utilisation a permis de réduire les infestations de *T.absoluta* jusqu'à 91% dans les serres en Espagne (Cherif 2018).

Dans certains pays d'Europe du Sud et d'Afrique du Nord, *Trichogramma* est actuellement utilisé pour le contrôle biologique inondatif de *T.absoluta* (Luna et al. 2012). L'élevage de ces espèces a connu un grand développement au cours des ces vingt dernières années, à travers l'utilisation de diètes artificielles et l'utilisation d'hôtes alternatifs (Chailleux et al. 2013).

Le taux de parasitisme (activité parasitaire) est un indicateur biologique du potentiel de régulation des hyménoptères parasitoïdes par lequel l'efficacité de l'espèce et les effets sur l'hôte sont déterminés spontanément ou dans les conditions contrôlées. Par conséquent, il est considéré comme un paramètre fiable pour l'inclusion d'agents parasitoïdes dans les programmes de lutte biologique contre les ravageurs (Parra & Zucchi 2004).

L'espèce parasitoïde oophage *Trichogramma pretiosum* a été testée pour son efficacité contre plusieurs hôtes lépidoptères dans de nombreux pays (Cabello et al. 2009), mais la souche autochtone de ce parasitoïde n'a pas été testée dans notre pays. L'objectif est donc d'évaluer l'activité parasitaire (taux de parasitisme) de cette espèce sur les œufs de *Tuta absoluta*.

### 5.1. Matériel et méthodes adoptés au laboratoire

#### 5.1.1. Matériel biologique

✓ *T.absoluta* : Une collecte d'œufs, des pupes et des larves a été effectuée à partir des feuilles de tomates lors des échantillonnages sur terrain pour atteindre les objectifs de notre travail expérimental.

✓ *Ectomyelois ceratoniae* Zell. (Lepidoptera: Pyralidae) : Nous avons choisi cet hôte de substitution pour l'élevage en masse des trichogrammes, afin d'assurer le développement correct de l'auxiliaire.

✓ *Trichogramma pretiosum* : C'est l'une des espèces importantes que nous avons enregistrées dans nos sites d'étude, et elle a été sélectionnée pour confirmer son taux de parasitisme sur *T.absoluta* en raison de sa disponibilité.

✓ **Plante hôte pour l'élevage** : Des plants de tomates de la variété Kawa, issus de semis et préalablement préparés dans des plateaux en polystyrène, ont été transférés dans des pots en plastique (5 cm de diamètre, 10.5 cm de haut) à une densité de deux plants par pot, contenant du substrat préparé dans la proportion de 1/3 de terre de sous-sol, 1/3 de sable et 1/3 de fumier de ferme tanné. Nous avons utilisé des plantes en pot âgées de trois semaines dans toutes les expériences.

### 5.1.2. Elevage en masse d'*Ectomyelois ceratoniae* Zell.

Au laboratoire DEDSPAZA de l'Université de Biskra, nous avons introduit des dattes infestées dans des cages d'élevage situées dans une salle d'élevage contrôlée ( $27\pm 2^{\circ}\text{C}$ , HR  $65\pm 10\%$ , L16: D8). Une fois émergés, nous avons capturé les papillons *E. ceratoniae* dans des tubes à essai, puis les avons placés dans des bocaux d'accouplement fermés par une toile sans sexage.

Après l'accouplement, les femelles ont pondu des œufs à l'intérieur des flacons, et un milieu d'élevage artificiel a été préparé. Ce milieu est composé d'un mélange de blé (44%) stérilisé à  $200^{\circ}\text{C}$  pendant 1h à 2h, de poudre de dattes (1%), de sel (1%), de sucre (5%), de levure de bière (4%), de gluten (3%) et d'eau distillée (40%). La quantité nécessaire est ajustée en fonction du nombre d'œufs prévu (Mediouni & Dhouibi 2007). Ensuite, nous avons utilisé les œufs obtenus, une partie pour multiplier les trichogrammes sur des plaquettes adhésives et l'autre partie pour réensemencer les boîtes de farine soutenant l'élevage de pyrales. Nous avons stérilisé les œufs à la lumière UV pour empêcher l'éclosion des larves avant leur utilisation dans l'élevage des trichogrammes (Figure II-10a).

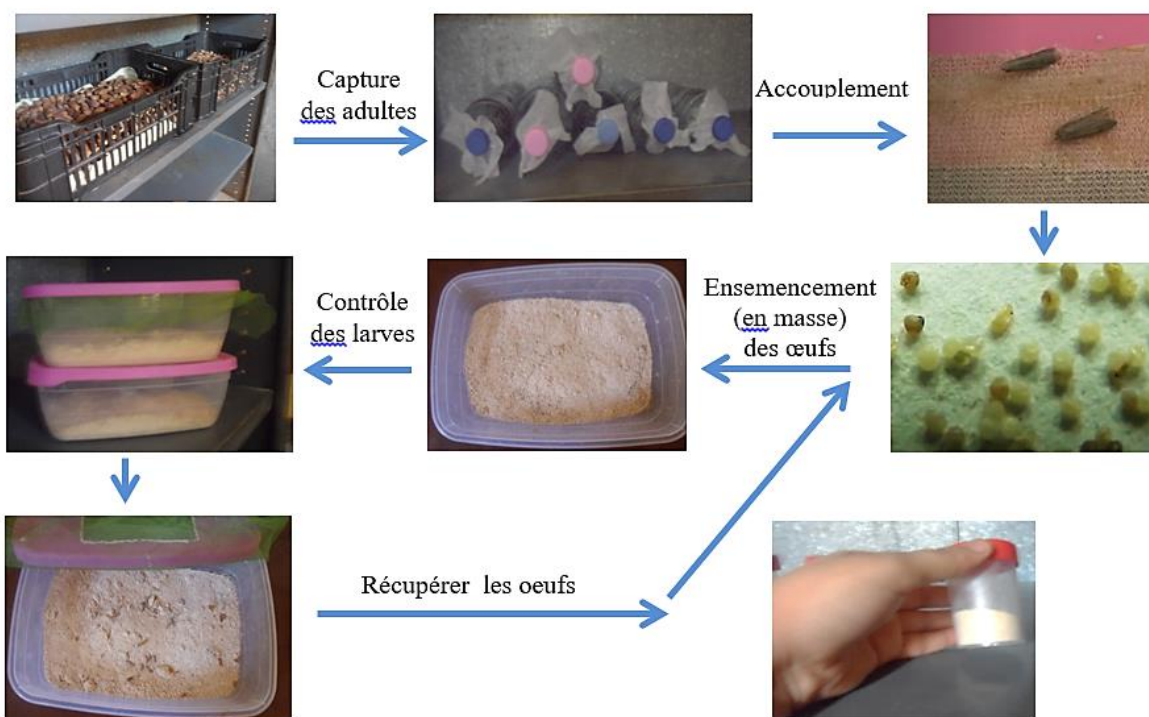


Figure II-10. a. Elevage d'*Ectomyelois ceratoniae* Zell (Originale).

### 5.1.3. Élevage en masse de *Tuta absoluta*

Nous avons élevé *T. absoluta* dans des cages d'élevage (50x50x50 cm) ainsi que des boîtes en plastique recouvertes de mousseline, situées dans une salle contrôlée à l'INPV ( $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ , RH  $70\pm 5\%$ , L16: D8). Ces colonies ont été établies en collectant des feuilles de tomates naturellement infectées dans des serres à Biskra. Les feuilles ont été placées dans les cages jusqu'à l'apparition des chrysalides, que nous avons ensuite séparées des larves afin de suivre les autres étapes de développement. Les chrysalides ont été gardées dans des boîtes en

plastique, et une fois que les adultes ont émergé, ils ont été nourris avec une solution de miel à 80%, déposée au-dessus de chaque boîte.

Nous avons laissé les adultes en couples dans des boites contenant d'une jeune foliole de tomate, qui a servi de support pour la ponte. Pour l'achèvement de l'élevage, nous avons répété ce processus pendant trois années consécutives (fin 2021-2022 et 2023) pour obtenir une masse d'œufs fraîchement pondus de *T.absoluta*. Ceci a facilité la production d'œufs en tant qu'hôtes principaux pour les parasitoïdes *T. pretiosum* sélectionnés (Figure II-10b).



Figure II-10. b. Elevage de *Tuta absoluta* (Originale).

#### 5.1.4. Elevage en masse de *Trichogramma pretiosum*

Nous avons obtenu une souche de *T. pretiosum* auprès de l'investisseur Serraoui Taher et des agriculteurs partenaires du groupe Tahraoui, actifs dans le domaine de la lutte biologique.

L'élevage a été réalisé dans les chambres d'élevage de l'INPV pendant plus de 12 mois, en respectant des conditions de laboratoire (25°C, HR% : 65%, LD : 16:8), selon la méthode préconisée par Parra & Zucchi (2004).

Nous avons pulvérisé les œufs d'hôtes de substitution *E. ceratoniae* fraîchement produits et stérilisés sur toute la surface des blisters en carton pour leur donner un brillant uniforme et une bonne densité. Nous les avons laissés reposer un moment pour assurer l'adhérence et la stabilité des œufs. Ensuite, nous avons découpé chaque plaquette en bandes équidistantes et les avons placées dans de petits tubes de verre cylindriques. Nous avons incubé les tubes sous des conditions contrôlées, permettant aux œufs de parasitoïdes de se développer à l'intérieur des œufs de l'hôte, devenant des larves puis des pupes noires.

Nous avons changé les plaques toutes les 72h, et les tubes ont été équipés d'un bouchon en tissu imprégné de miel pour la nourriture des imagos du parasitoïde. Nous avons établi une colonie de ces parasitoïdes par le placement d'une seule femelle dans chaque tube en verre fermé, en présence d'un grand nombre d'œufs de substitution *E. ceratoniae*. Nous avons ramassé les adultes des trichogrammes émergés des capsules et les avons transférés dans de nouveaux tubes pour étudier leur parasitisme sur les œufs de *T.absoluta* (Figure II-10c).



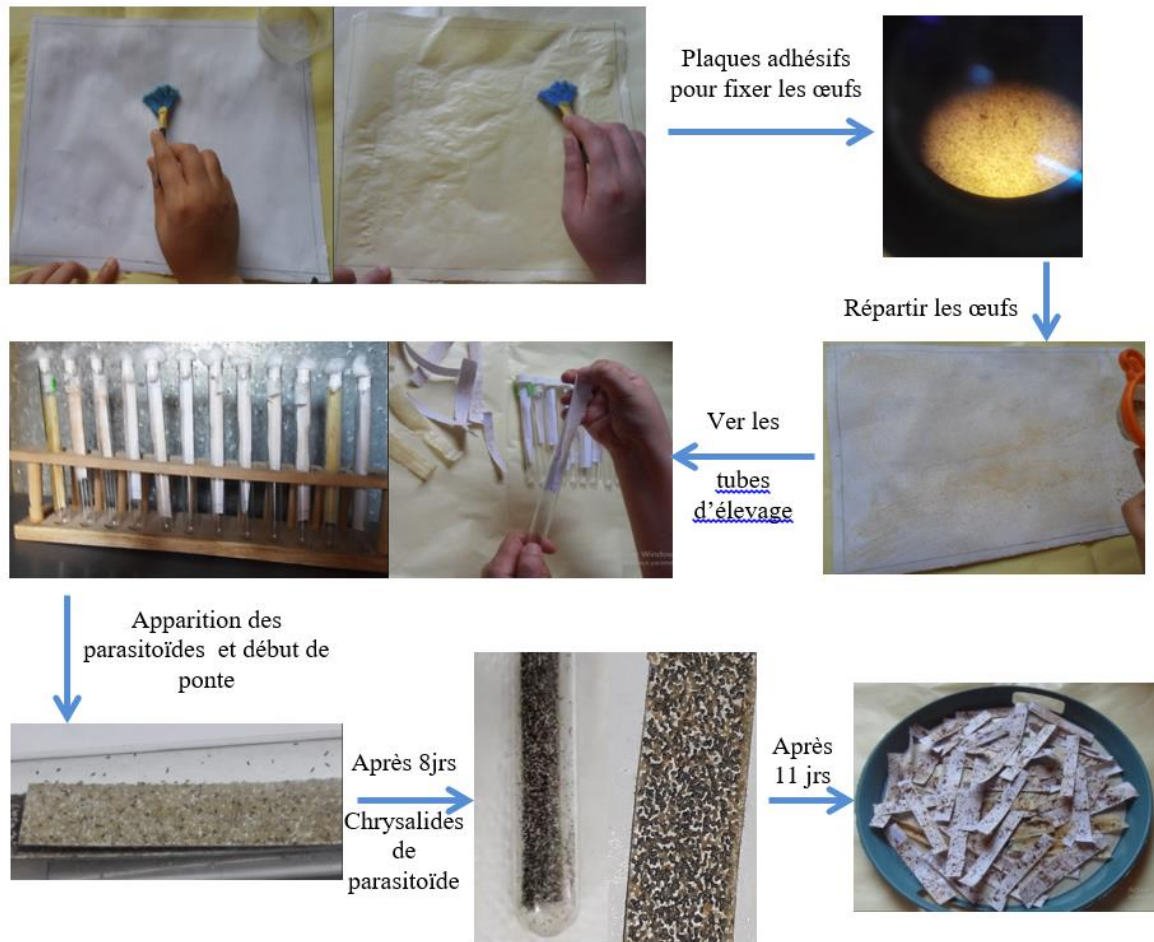


Figure II-10. c. Elevage de *Trichogramma pretiosum* (Originale).

### 5.1.5. Dénombrement et évaluation du parasitisme chez *Trichogramma pretiosum*

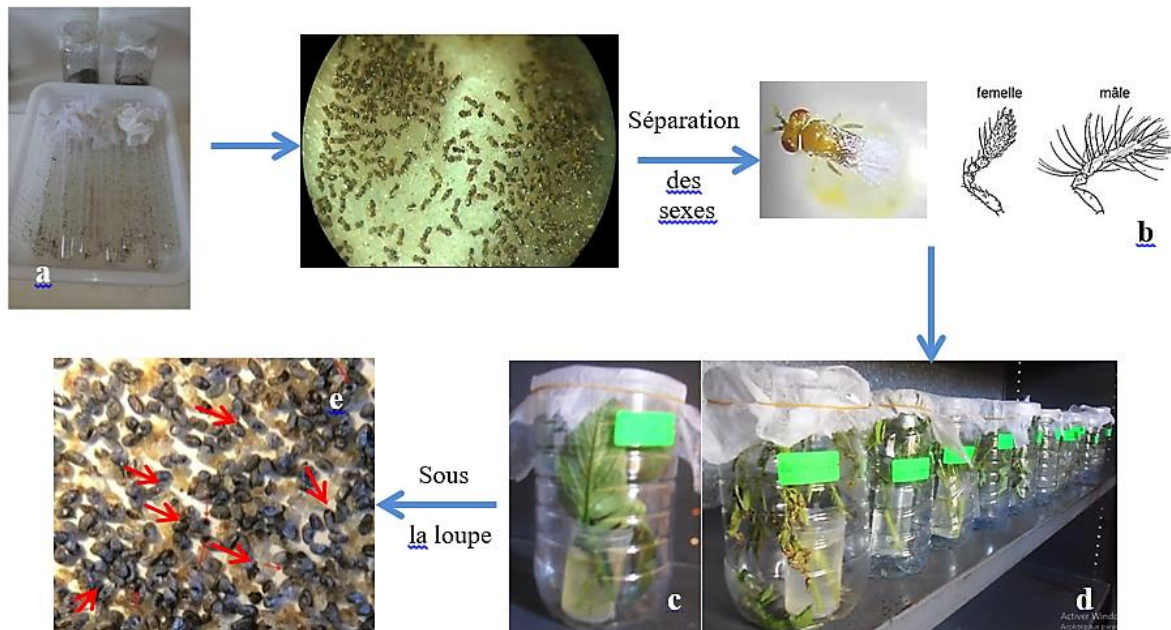
Nous avons soumis une souche de *T. pretiosum* à des tests en laboratoire, maintenus à des conditions de température ( $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ) et d'humidité relative ( $60 \pm 10\%$  HR), avec un cycle lumière-obscurité de 16 h d'éclairage et 8 h d'obscurité (L16:D8h), en utilisant des œufs de *T. absoluta* comme hôte. Les trichogrammes femelles, nécessaires pour les tests, ont été séparées des mâles en se basant sur la morphologie de leurs antennes.

Afin de faciliter l'établissement des parasitoïdes, nous avons inclus une pousse de tomate propre (plante hôte) portant un couple adulte de *T. absoluta*. Ces spécimens ont été placés dans des tubes en plastique avec de l'eau pour les maintenir en vie aussi longtemps que possible, en veillant à ce qu'ils soient bien accouplés. Ces systèmes d'élevage ont ensuite été introduits dans une chambre contrôlée.

Après une période de 24 h, chaque plante a été examinée individuellement au microscope pour vérifier la ponte des œufs par la femelle ravageuse, avec une moyenne de 20 œufs par plante. Ensuite, une femelle de trichogramme nouvellement émergée a été introduite dans chaque tube fermé pour assurer leur parasitisme.

À 72 h après le début de l'exposition, nous avons procédé à la dissection de tous les œufs à l'aide d'une loupe binoculaire afin d'observer et de compter le nombre d'œufs parasités, les

distinguant clairement des œufs sains non parasités, pour chaque feuille et chaque plante (Figure II-11).



**Figure II-11.** Protocole et test de biocontrôle sur les femelles de *Trichogramma presteium* (Originale):  
a. Masse de *T. presteium* ; b. Différence des antennes mâles et femelles de l'espèce *Trichogramma sp* ; c. Couple de *T. absoluta* sur les plants de tomate en cage (Avant 24h) ; d. Couple de *T. presteium* sur les plants de tomate en cage (Après 24h) ; e. Œufs parasités de *T. presteium* (Après 72h) sous la loupe (Gx60).

Nous avons calculé l'activité parasitaire de *T. pretiosum* pour chaque plante en utilisant la formule de Parra & Zucchi (2004):

$$P (\%) = (Np / Nt) \times 100$$

P (%) : Taux de parasitisme en (%).

Np : Nombre d'œufs noirs parasités.

Nt : Nombre total d'œufs.

## 6. Analyses statistiques des données

Pour tester les différences significatives de *T. absoluta* (adultes, stades immatures) et de leur taux d'infestation en fonction des saisons et des sites d'étude, nous avons effectué une analyse de la variance (ANOVA) à l'aide du logiciel Statistica 6.1 StatSoft (SAS 2002).

L'évaluation de la diversité faunistique dans le temps, estimée par l'ordre d'arrivée des espèces, a été analysée à l'aide du modèle de Poisson (link = log). Nous avons recherché les corrélations entre les différentes variables analysées (relations abondance (fréquence) des taxons et conditions climatiques température moyenne) à l'aide du logiciel Statistica 6.1 Statsoft (Grall & Coïc 2005).

Afin d'évaluer l'abondance, la diversité et la variation spatio-temporelle des principaux agents du biocontrôle (ennemis naturels) de *T. absoluta* dans les serres étudiées, nous avons analysé les données à l'aide de Statistica 6.1 Statsoft et SPSS (SPSS 2015). Les nombres d'espèces trouvées ont été exploités selon les formules suivantes : la richesse totale (S) et la richesse moyenne ( $Sm=ni/N$ ), la densité ( $D=ni/P$ ), l'abondance relative et l'occurrence (AR ou  $FC\%=ni*100/N$ ), dont ni : nombre d'individus d'une espèce donnée i, N: Nombre total d'individus d'une espèce collectée sur la surface considérée, P: Nombre total de prélèvements= 14) ; ainsi que certaines indices écologiques comme : l'indice de Shannon-Weaver ( $H' = -\sum ((Ni/N)*\log_2 (Ni/N))$ ) et l'indice de diversité de Simpson ( $D = \sum Ni(Ni-1)/N(N-1)$ ) dont Ni: nombre d'individus d'une espèce donnée i allant de 1 à S (nombre total d'espèces), N: nombre total d'individus exprimé en unité bits; l'indice d'équitabilité (ED) ou d' Evenness ( $E = H'/H'max$ ) dont H' : indice de diversité de Shannon, H'max : indice de la diversité maximale. L'indice de Hill ( $Hill = (1/D) / e^{H'}$ ) dont D: indice de diversité de Simpson,  $e^{H'}$ : l'exponentiel de l'indice de Shannon-Weaver. L'indice de Jaccard ( $Ic = Nc / (N1+N2 - Nc)*100$ ) dont N1 et N2: nombre de taxons présents respectivement aux sites 1 et 2, Nc : nombre de taxons communs aux sites 1 et 2 (Grall & Coïc 2005).

Afin de présenter au mieux les interactions pouvant exister entre les différentes variables et la reconnaissance des assemblages des principaux ennemis naturels (parasitoïdes et prédateurs) en fonction du temps de disponibilité sur la culture et de la tendance thermique des différentes espèces, nous avons opté pour une analyse en composantes principales (ACP), une analyse factorielle de correspondance (AFC) et une classification ascendante hiérarchique avec le logiciel Statistica 6.1 Statsoft, ces méthodes statistiques essentiellement descriptives (Grall & Coïc 2005 ; Deghiche-Diab & Deghiche 2016).

Pour déterminer la corrélation entre le nombre d'ennemis naturels (variables dépendantes) et le taux d'infestation (variable indépendante) à ( $p < 0,05$ ), nous avons effectué un test F et une simple régression linéaire en utilisant Statistica 6.1 StatSoft (SAS 2002).

Afin de déterminer la valeur médiane de l'activité parasitaire de l'agent du biocontrôle choisi, l'oophage *Trichogramma pretiosum*, nous avons effectué une distribution simple des valeurs moyennes de taux de parasitisme en utilisant la méthode de la boîte à moustache avec le logiciel Statistica 6.1 de StatSoft (SAS 2002).

Ce chapitre suit les mêmes axes que le chapitre précédent, tout en mettant l'accent sur les résultats relatifs à : (i) les flores (plantes) hôtes secondaires du ravageur *T.absoluta*, (ii) sa dynamique et les dégâts causés à la culture principale, (iii) Inventaire des agents de biocontrôle, qu'ils soient parasitoïdes ou prédateurs de ce ravageur, et (iv) l'efficacité de l'agent parasitoïde *Trichogramma pretiosum* sur les œufs de ce ravageur. Chaque résultat sera discuté individuellement.

## 1. Résultats et discussion de l'inventaire floristique associés à *Tuta absoluta*

### 1.1. Systématique de la flore spontanée

D'un point de vue systématique, 23 espèces appartenant à 13 familles botaniques ont été identifiées, parmi lesquelles la richesse spécifique a été marquée pour les familles suivantes : *Poaceae* (26.1%), *Fabaceae* (13.04%), *Amaranthaceae* (13.04%) et des *Asteraceae* (9%). D'autres familles telles que les *Primulaceae*, *Rhamnaceae*, *Apiaceae*, *Plantaginaceae*, *Lamiaceae*, *Tamaricaceae*, *Caryophyllaceae*, *Malvaceae* et *Polygonaceae* ne sont représentées que par une seule espèce (4.34%) (Figure II-12). La classe des dicotylédones est largement dominante avec 16 espèces, soit 70% des espèces globales, par rapport aux monocotylédones qui ne sont représentées que 7 espèces, soit 30% de l'inventaire [Annexe II -1].

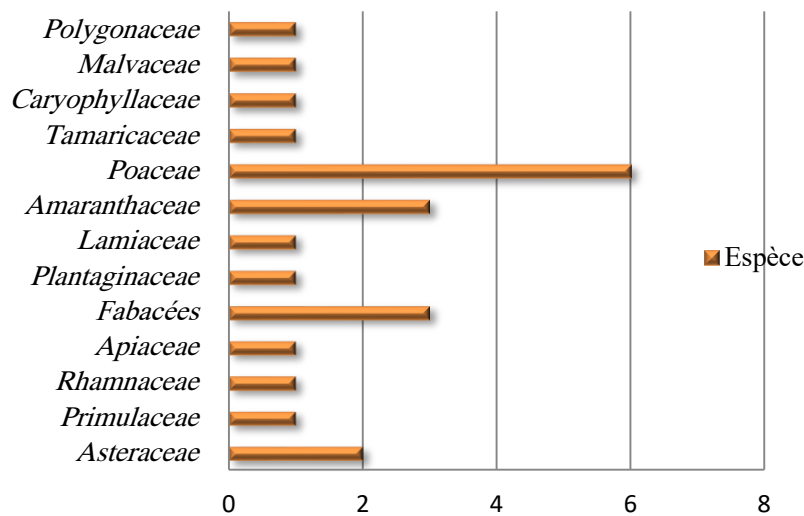
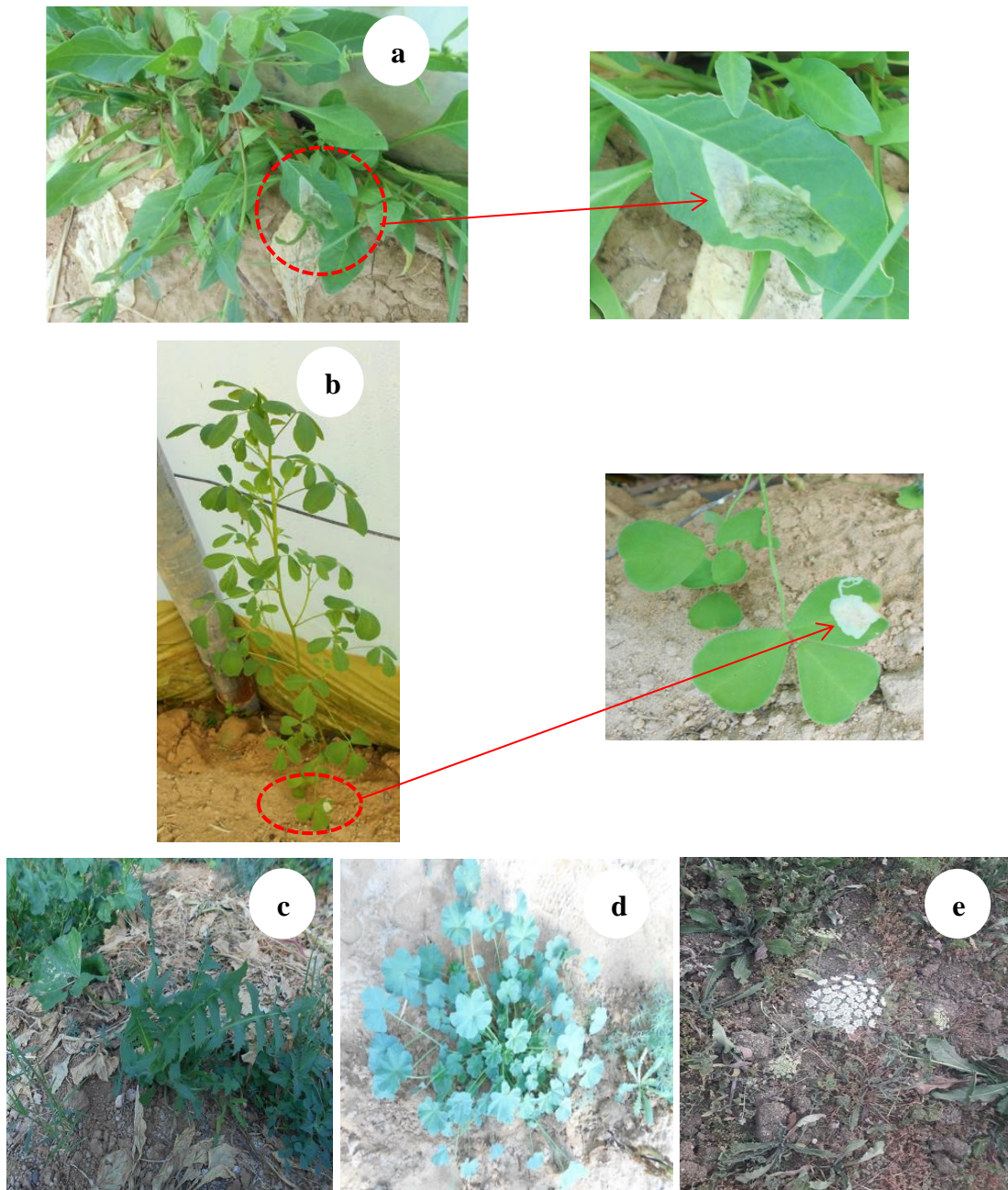


Figure II-12. Nombre d'espèce par famille.

#### 1.1.1. Plantes hôtes secondaires de *Tuta absoluta* dans les serres d'étude

Nous avons notés la présence de *T.absoluta* dans les feuilles des espèces *Spinacia oleracea* (*Amaranthaceae*), *Medicago sativa* (*Fabaceae*), *Sonchus arvensis* (*Asteraceae*); *Malva parviflora* (*Malvaceae*); *Daucus carota* (*Apiaceae*) comme hôtes secondaires de ce ravageur dans les deux sites d'étude (Figure II-13).



**Figure II-13.** Hôtes secondaires de *Tuta absoluta* dans la région de Biskra (Originale) : a. *Spinacia oleracea*. b. *Medicago sativa*. c. *Sonchus arvensis*. d. *Malva parviflora*. e. *Daucus carota*.

## 1.2. Discussion

La prédominance des dicotylédones dans les serres de tomates dans la région de Biskra (Figure II-12) confirme les résultats obtenus dans les études de Boudjedjou & Fenni (2011) dans la région de Jijel, au nord-est de l'Algérie, ainsi que dans celles de Cornet (1975) sur la tomate arrosée au Sénégal et dans une moindre dégréé, dans la région d'El-Oued, au sud-est de l'Algérie (Gheraissa & Askri 2020). La présence de ces dicotylédones dans la région s'explique par leur place au sein de la flore algérienne, comme indiqué par Taleb & Maillet (1994) dont l'aire de répartition biogéographique de ces familles est notamment méditerranéenne, en raison de leur forte adaptabilité à divers biotopes agronomiques de la région. Pendant que, les

monocotylédones représentées seulement par la famille des *Poaceae*, ne comptent que 7 espèces, soit 30% de l'inventaire. Selon Caussanel (1989), la supériorité des graminées est due à leur adaptation évolutive à l'environnement aride, notamment en ce qui concerne les conditions spécifique de leur reproduction et leur dissémination.

Néanmoins, le nombre d'espèces obtenu, soit 23 espèces [Annexe I-1], est relativement faible par rapport à celui enregistré dans différentes cultures maraîchères autres que la tomate, principalement en raison de la présence des pratiques agricoles régulières dans les parcelles ciblées (Boudjedjou & Fenni 2011). Les plantes hôtes sauvages jouent un rôle important dans la propagation des ravageurs ; plusieurs espèces floristiques associées à la tomate peuvent servir d'hôtes secondaires pour *T. absoluta* dans la zone d'étude, telles que *Spinacia oleracea*, *Sonchus arvensis*, *Daucus carota*, *Medicago sativa*, *Malva parviflora*, qui appartiennent à 5 familles botaniques : *Amaranthaceae*, *Asteraceae*, *Apiaceae*, *Fabaceae* et *Malvaceae* (Polat et al. 2016). Ce résultat est similaire avec les résultats de Memmott (1999) au Royaume-Uni. L'étude de Sylla (2018) a indiqué que les odeurs des feuilles et les composés phytochimiques volatiles jouent un rôle clé en tant que signaux reçus par les femelles de ce ravageur accouplées afin de sélectionner l'hôte le plus approprié pour se nourrir et pondre les œufs. Ces composés volatiles fournissent des informations sur l'aptitude des plantes comme hôtes larvaires, avec une attraction particulière envers des composés tels que le  $\beta$ -phellandrène, le limonène, le 2-carène et le (E)- $\beta$ -caryophyllène, présents en quantités importantes chez les hôtes de *T.absoluta* (Negi et al. 2018). Dans ce cas, il est nécessaire de déterminer et de lutter contre ces espèces nuisibles.

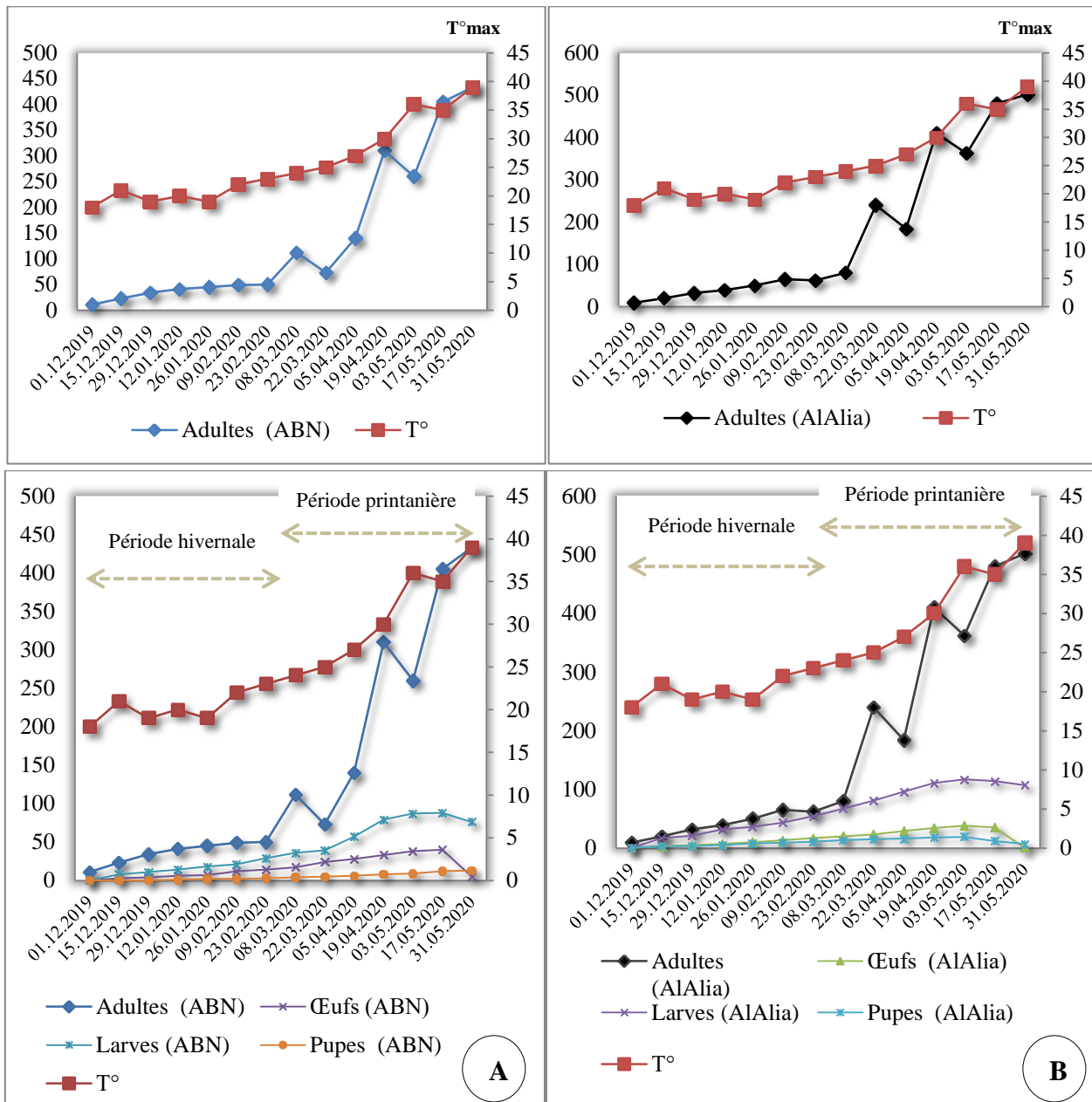
De plus, Pope et al. (2008) ont démontré que la plante hôte peut jouer un rôle primordial dans le comportement de recherche et l'orientation des auxiliaires. La nourriture est l'une des principales raisons qui amènent les insectes sur les plantes (Debras & Mouret 2013). Certains d'entre eux, tels que les carnivores (prédateurs et parasitoïdes), se nourrissent d'organismes hébergés par la plante (Nicole 2002). La plupart du temps, l'inflorescence attire le plus souvent un large éventail de pollinisateurs généralistes tels que les abeilles, les mouches, les papillons et les scarabées ; cependant, certaines plantes produisent du pollen et des substances sucrées de haute qualité nutritionnelle, telles que les fabacées, les malvacées et les astéracées, attirant ainsi des insectes utiles pour la lutte biologique comme certains diptères, des hyménoptères, des coccinelles et des fourmis (Robertson 1928).

Le milieu étudié est relativement diversifié, comprenant notamment *Chenopodium sp*, *Suaeda fruticosa*, *Melilotus indica*, *Moricandia arvensis*, *Tamarix gallica*, *Daucus carota*, *Moricandia arvensis* [Annexe I-1]. Selon les études phytosociologiques établies par Sana (2002), toute cette flore naturelle peut servir de refuge aux hyménoptères parasitoïdes, jouant ainsi un rôle non négligeable dans la reconstitution des effectifs de ces auxiliaires et leur réinstallation dans les cultures sous serres.

## 2. Résultats et discussion de la dynamique et de l'infestation du ravageur *Tuta absoluta*

### 2.1. Fluctuations des peuplements de *Tuta absoluta* dans les sites d'étude

Les résultats portent sur la dynamique des adultes de *T. absoluta*, les fluctuations des stades larvaires sur le terrain, et les principales variations temporelles et thermiques influençant au cours de la période d'échantillonnage sont exposées dans la figure II-14.



**Figure II-14.** Evolution des effectifs de *Tuta absoluta* à Ain Ben Noui et AlAlia en Biskra entre décembre 2019 et mai 2022 par 200 feuilles de tomate sous serres: a. Adultes, b. Œufs. c. Larves. d. Pupes.

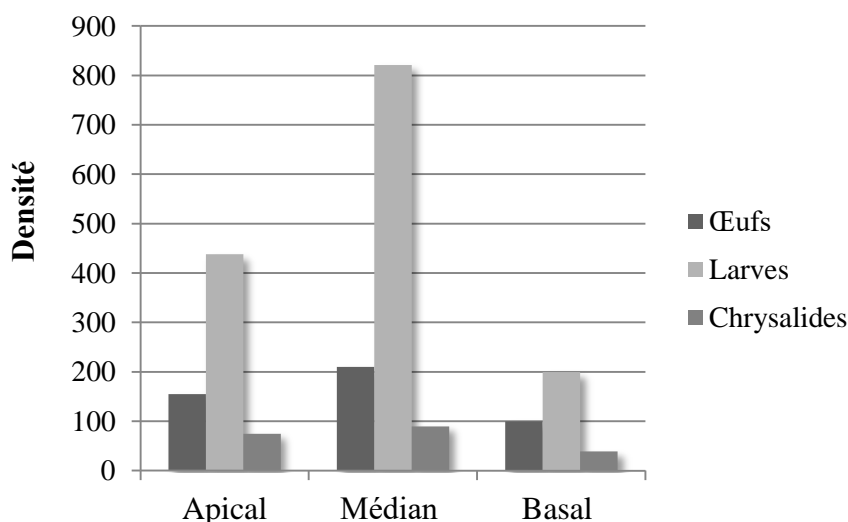
Au cours des 6 mois de suivi de la dynamique des populations à l'échelle régionale (de décembre 2019 à mai 2020), le nombre de papillons piégés diffère significativement entre les deux sites étudiés ( $F_{5,82} = 0.017$ ,  $P < 0.0001$ ). L'apparition des premiers adultes a été notée le 01.12.2019 dans les serres des deux sites, et il est plus important à AlAlia qu'à ABN (2535 et

1986 individus respectivement). Le nombre des papillons piégés a également été plus élevé durant la saison sèche comparé à la saison des pluies dans le site AlAlia ( $F_{5.82(1)}=0.01$ ,  $P<0.0001$ ), tandis que dans le site ABN ( $F_{3.115(2)}=0.648$ ,  $P=0.44$ ), aucune différence significative n'a été observée. Les pics de populations ont été observés pendant la deuxième moitié de la saison sèche (de février à juin) en 08.03.2020, 19.04.2020 et 31.05.2020 à ABN; et le 09.02.2020, 22.03.2020, 09.04.2020 et 31.05.2020 à AlAlia.

Les stades immatures présentent une faible activité pendant l'hiver (de décembre à fin février). Au début de mars, un pic formé par l'émergence des œufs apparaît et est insignifiant dans les deux sites d'étude ( $F_{3.115}= 1.052$ ,  $P=0.92$ ). La variation des densités larvaires enregistrées suit plus ou moins celle des populations adultes au cours de la 1ère décade de mai, et en effet, les populations larvaires augmentent pour atteindre un maximum de 487 larves/35°C ( $T^{\circ}\text{max}$ ) dans les serres d'AlAlia et 783 larves/35°C ( $T^{\circ}\text{max}$ ) dans les serres d'ABN, avec une différence significative entre le nombre saisonnière ( $F_{5.82(1)}=0.912$ ,  $p= 0.014$  ;  $F_{5.82(2)}= 0.182$ ,  $p= 0.05$ ). Le nombre de pupes enregistrées était variable dans les deux serres, trouvées sur les feuilles depuis décembre, et leur nombre maximum était au printemps (mars avril et mai). Il y avait une différence saisonnière significative ( $F_{5.82(1)}=0.125$ ,  $p= 0.023$  ;  $F_{5.82(2)}= 0.92$ ;  $p= 0.007$ ). L'étude a montré que le nombre total de mineuses immatures était plus important à AlAlia qu'à ABN, et cette différence était significative ( $F_{3.11}= 0.76$ ,  $p= 0.05$ ) entre les deux sites mentionnés [Annexe II-2].

## 2.2. Distribution verticale de la population immature de *Tuta absoluta*

Pour l'étude de la distribution des peuplements immatures de *T. absoluta* en fonction de la hauteur des plantes, nous avons procédé au dénombrement des œufs, des larves et des chrysalides. Les résultats obtenus sont représentés sous forme d'histogrammes dans la figure II-15.



**Figure II-15.** Densité des différentes populations de *Tuta absoluta* sur la plante de tomate.

Chez la variété Kawa, les femelles de *T. absoluta* ont une préférence pour pondre leurs œufs sur les feuilles intermédiaires et apicales plutôt que sur les feuilles basales.

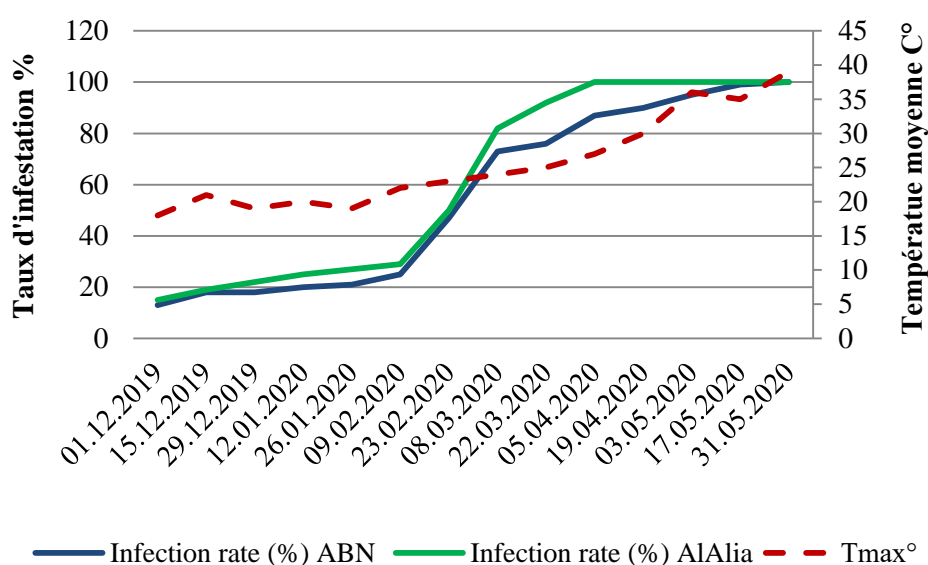


Les feuilles intermédiaires et apicales sont davantage fréquentées par le stade larvaire, hébergeant un effectif moyen plus élevé par rapport aux feuilles âgées situées au niveau des strates basales tout au long de la période d'essai.

Les feuilles de la variété Kawa voient leurs feuilles apicales et intermédiaires sont plus fortement infestées par les chrysalides de *T. absoluta*.

### 2.3. Détermination du taux d'infestation dans les sites d'étude

L'observation des feuilles de tomate échantillonnées dans les deux serres d'études a permis d'évaluer les taux d'infestation par les larves de la mineuse, ainsi que leur évolution dans le temps et leur relation avec les fluctuations thermiques au cours de la période d'étude (Figure II-16).



**Figure II-16.** Variation temporelle du taux d'infestation de *Tuta absoluta* sur les feuilles de la tomate en relation avec les températures moyennes dans les deux sites d'étude.

En décembre, au début de l'observation, le taux d'infestation enregistré sur les feuilles de tomate était modéré, soit de 13% à 21% dans les serres d'ABN et de 15% à 29% dans celles d'AlAlia pendant la période hivernale ( $T^{\circ}\text{max}= 18^{\circ}\text{C}-22^{\circ}\text{C}$ ), avec une différence significative remarquable ( $F_{5.285}= 0.088$ ,  $P= 0.017$ ). Cependant, de mars jusqu'à la fin de la période printanière ( $T^{\circ}\text{max}=25^{\circ}\text{C}- 40^{\circ}\text{C}$ ), le taux d'infection a atteint un maximum de 47% à 100% dans les serres d'ABN et de 50% à 100% dans celles d'AlAlia, sans aucune signification statistique entre les serres des deux sites ( $F_{2.06}= 7.12$ ,  $P= 0.34$ ).

Les résultats suggèrent également que le taux d'infestation semble être positivement corrélé à la température, car il était plus élevé en période printanière qu'en période hivernale dans les serres des deux sites. L'analyse statistique était hautement significative pour les serres d'AlAlia ( $F_{5.28}= 0.088$ ,  $P=0.017$ ) et celles situées à ABN ( $F_{5.28}= 0.05$ ,  $P= 0.005$ ). Cependant, l'infestation est élevée dans les serres d'AlAlia que dans celles d'ABN ( $F_{2.49}= 64.2$ ,  $P< 0.0001$ ) [Annexe II-3].

## 2.4. Discussion

Dans la présente étude, seuls les œufs déposés sur les feuilles ont été pris en compte. Cependant, une reproduction réduite a été enregistrée à l'automne et à l'hiver (du 1er décembre 2019 au 8 mars 2020), ce qui a directement affecté la disponibilité des œufs, ainsi que les taux de croissance des larves et des pupes (Campos et al. 2017). Le nombre d'œufs rapportés dans ce travail est élevé par rapport aux résultats signalés par Ounis (2017), ce qui peut probablement s'expliquer par l'absence des pesticides dans nos serres.

Les résultats ont montré une faible présence de larves en automne et en hiver dans les deux serres en raison des basses températures ( $T^{\circ}\text{max}= 20^{\circ}\text{C}$ ). Par ailleurs, Pincebourde & Woods (2012) signalent que la température à l'intérieur des galeries est généralement plus chaude que celle de la surface des feuilles, ce qui pourrait permettre aux larves de ce ravageur de tolérer des températures plus basses. Cependant, Krechmer & Foerster (2017) ont confirmé que la période larvaire est également caractérisée par une forte mortalité due à une compétition intense pour la nourriture des feuilles. Au printemps, le nombre de larves était relativement élevé dans les deux serres sous une température moyenne de ( $T^{\circ}\text{max}= 26^{\circ}\text{C}$ ) affectant précisément leur fertilité, l'efficacité de leur accouplement et même la mobilité larvaire pour chaque plante hôte (Pereyra & Sanchez 2006). Le faible nombre de chrysalides enregistré dans toutes les sorties est dû essentiellement au faible pourcentage de nymphose des larves du quatrième stade au niveau des feuilles, car la majorité des chrysalides se trouvent au niveau du sol (Torres et al. 2001). Pereyra & Sanchez (2006) ont affirmé que ces mortalités sont fréquentes en raison de malformations des pupes, et que la qualité nutritionnelle des tomates a un effet positif sur leur poids à ce stade. Zappalà et al. (2013) ont confirmé que *T. absoluta* n'entre pas en diapause lorsque les conditions environnementales sont propices à sa croissance.

Les conditions environnementales influencent fortement le potentiel de reproduction ainsi que la durée du cycle de vie de ce ravageur (Cherif 2018). Selon les résultats obtenus dans la figure II-14, il semble que la variation thermique affecte de manière significative le nombre d'adultes et de larves dans les deux serres pendant toute la saison de production (Bacci et al. 2018) ; cette situation pourrait être à l'origine des pullulations observées en saison sèche lors des cycles végétatifs (Figure II-16) (Allache et al. 2015).

Nos résultats démontrent une baisse du niveau des populations de *T. absoluta* en fin de production de la plante hôte, ce qui rejoint les observations de Son et al. (2018). Contrairement aux résultats d'Allache et al. (2015) qui notent une croissance des populations de ce ravageur en fin de production dans la région de Biskra. Cette différence de résultats pourrait être attribuée aux températures très chaudes de fin de culture qui affectent cette région du Sud algérien (KRID et al. 2015). Lors de l'étude, trois à quatre générations successives ont été identifiées dans les serres: début de février et mars, mi-avril et fin mai. Selon Mahdi (2015), la mineuse de la tomate est une espèce polyvoltine qui peut avoir 10 à 12 générations par an, et le nombre de générations de *T. absoluta* change selon les régions et les conditions climatiques. De même Lahmar (2008) a dénombré quatre générations chevauchantes sous serre, dans la région de Staoueli sur le sahel algérois, alors que sept générations ont été observées par Drouai et al. (2016) dans la région de Biskra.

Selon le niveau de distribution des œufs sur les feuilles de tomate, nos résultats ont

révélé que les femelles de *T. absoluta* préfèrent pondre sur les feuilles intermédiaires et apicales (Figure II-15). La ponte réduite sur les feuilles basales peut être due à leur exposition à la poussière et aux facteurs climatiques, ou bien les tissus végétaux des feuilles apicales et intermédiaires sont plus tendres que ceux des feuilles basales, tandis que les femelles cherchent souvent un abri pour protéger leurs œufs de différents imprévus climatiques, et elles préfèrent pondre leurs œufs sur la face inférieure des feuilles de tomate, au niveau des jeunes tiges tendres et des sépales des fruits immatures (Guenauoui 2008). Par ailleurs Sylla (2018) atteste que le choix du site de ponte dépend de plusieurs facteurs liés à l'odorat et à la vision faisant appel au système nerveux central, qui induit des impulsions émises par les différentes parties de l'organisme. La qualité nutritionnelle des feuilles de tomate (terpène) a également un effet positif sur le comportement larvaire, qui est centré sur les feuilles intermédiaires et apicales de la plante (Urbaneja et al. 2009). Badaoui (2018) explique que l'hétérogénéité de la qualité du feuillage entre les étages foliaires est contraignante pour les insectes, en raison de la difficulté à trouver un feuillage de haute qualité; cela les oblige à se déplacer fréquemment à la recherche d'une nourriture de bonne qualité, ce qui peut expliquer la différence de répartition spatio-temporelle des populations.

La variété Kawa a subi des dégâts sur les feuilles de plants de tomate tout au long de notre étude. En effet, les conditions climatiques influencent fortement l'invasion de *T.absoluta*. Durant la saison froide, cet insecte a causé un faible taux d'infection (8%-14%) en raison de l'effet des basses températures sur sa viabilité (Biondi & Desneux 2019). L'infestation augmente progressivement dans les deux sites d'étude depuis le mois de février jusqu'au mois de juin, lorsque L4 acquiert une grande mobilité et cause ensuite d'autres dommages aux cultures, surtout vers la fin du cycle de culture. Chougar (2011) a indiqué que le taux d'infestation est beaucoup plus important sur les feuilles apicales que sur les feuilles intermédiaires et basales. Nos résultats sont cohérents avec ceux de Campos et al. (2017) qui ont attesté que la face inférieure est souvent plus infestée par rapport à la face supérieure des feuilles et des fruits, ce qui pourrait entraîner une perte de rendement de 50% à 100% si aucune mesure de contrôle n'était prise. En Inde, une étude de terrain a montré que le taux d'infection atteignait 100% dans une ferme expérimentale de l'État de Meghalaya (Sankarganesh et al. 2017), soit le même que celui obtenu à Sidi Okba et Fliach en Biskra à la fin mars à 28°C (Ounis 2017). Les infestations sont toujours plus élevées dans les serres conventionnelles (71.7%) que dans celles protégées par le filet Insect-Proof (56.7%) (koudjil et al. 2014), et elles varient également selon les variétés cultivées, les feuilles des deux cultivars Zahra et Topol étant plus résistantes aux attaques de la *T.absoluta* (KRID et al. 2015).

Durant la période d'étude, le nombre de mines par feuille est plus important dans la serre située au site urbain que celui du site rural, et le maximum est enregistré entre le mois de février à juin, avec un taux similaires à ceux des régions littorales du pays (Boualem et al. 2012 ; koudjil et al. 2014), avec l'élévation des températures ambiantes. Dans les régions de Mostaganem et Biskra, la production de tomates sous abris plastique s'arrête entre ces mois à cause des fortes températures (>30°C), en parallèle avec l'augmentation des dégâts larvaires (Badaoui 2018).

### 3. Résultats et discussion de l'inventaire faunistique associés à *Tuta absoluta*

Selon divers travaux réalisés, la protection intégrée associant plusieurs outils est celle qui donne les meilleurs résultats, notamment la lutte biologique à l'aide d'auxiliaires prédateurs et/ou parasitoïdes.

#### 3.1. Inventaire quantitatif des ennemis naturels associés à *Tuta absoluta* dans la région de Biskra

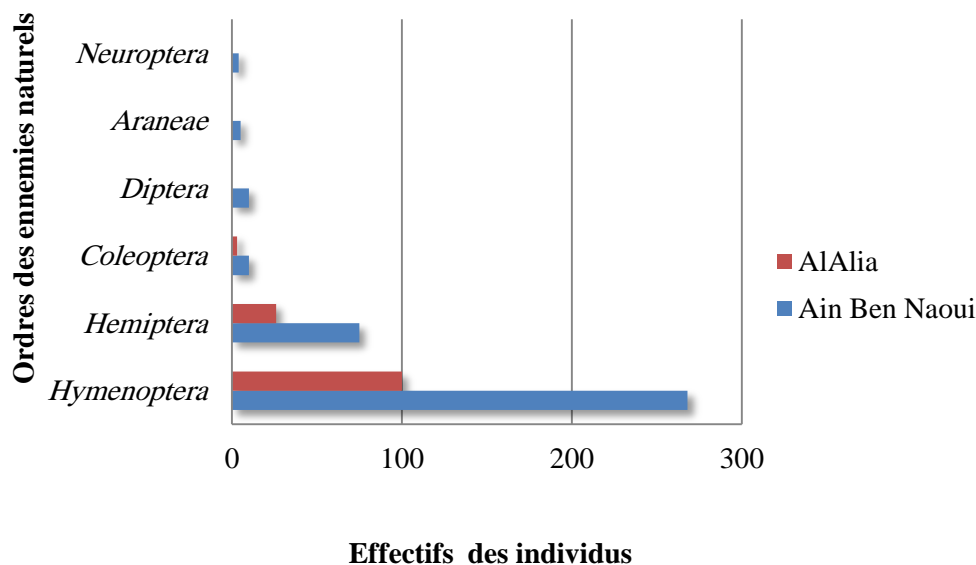
Les résultats concernant les ennemis naturels autochtones associés à la mineuse de tomate *T. absoluta*, collectés lors de notre étude ont révélé un total de 501 individus bénéfiques contre ce ravageur. Ces individus appartiennent à deux classes (*Arachnida* et *Insecta*), réparties en 37 espèces, sous 6 ordres et 19 familles différentes (Tableau II-2).

**Tableau II-2.** Liste systématique des ennemis naturels autochtones capturés à Ain Ben Naoui et AlAlia dans la région de Biskra.

Classe	Ordre	Familles	Espèces	Sites		
				ABN	AlAlia	
Insecta	Diptera	Tachinidae	<i>Archytas sp</i>	10	-	
			<i>Dacnusa sibirica</i>	22	-	
			<i>Cotesia sp</i>	19	-	
		Braconidae	<i>Bracon sp</i>	9	-	
			<i>Habrobracon hebetor</i>	7	4	
			<i>Dolichogenidea (Apanteles) sp</i>	18	-	
			<i>Apanteles gelechiidivoris</i>	15	8	
			<i>Pristomerus pallidus</i>	12	1	
			<i>Pristomerus sp</i>	17	-	
		Ichneumonidae	<i>Diadegma pulchripes</i>	8	-	
			<i>Diadegma ledicola</i>	1	-	
			<i>Diadegma mollipla</i>	9	5	
			<i>Campoplex haywardi</i>	13	-	
			<i>Goniozus nigrifemur</i>	6	-	
		Hyménoptera	Bethylidae	<i>Brachymeria secundaria</i>	4	-
				<i>Haltichella spinola</i>	-	1
			Chalcididae	<i>Hockeria sp</i>	1	-
				<i>Telenomus remus</i>	4	-
			Scelionidae	<i>Stenomesus japonicas</i>	11	-
	<i>Horismenus sp</i>			3	-	
	<i>Necremnus tutae</i>			8	2	
	Pteromalidae		<i>Halticoptera aenea</i>	1	-	
	Trichogrammatidae		<i>Trichogramma achaeae</i>	11	6	
			<i>Trichogramma pretiosum</i>	9	-	
	Formicidae		<i>Tapinoma nigerrimum</i>	39	69	
	Vespidae		<i>Polistes carnifex</i>	21	4	
	Coleoptera		Carabidae	<i>Selenophorus sp</i>	3	-
				<i>Chilocorus politus</i>	7	-
			Anthicidae	<i>Anthicus sp</i>	-	3
			<i>Nesidiocoris tenuis</i>	29	9	
	Hemiptera		Miridae	<i>Macrolophus pygmaeus</i>	31	15
				<i>Deraeocoris punctulatus</i>	4	-
		Anthocoridae	<i>Orius sp</i>	4	2	

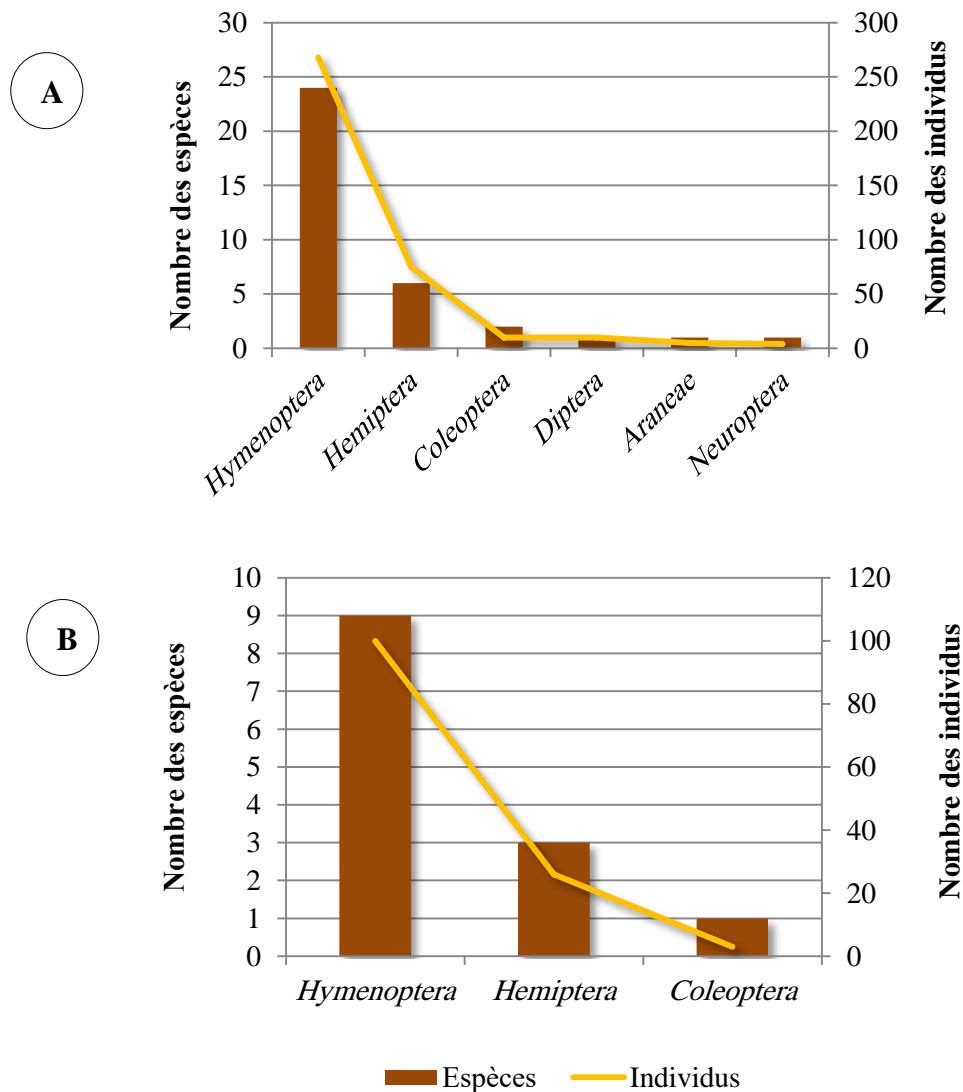
		<i>Lasiochilus sp</i>		1	-
		<i>Geocoridae</i>		6	-
<i>Neuroptera</i>		<i>Chrysopidae</i>	<i>Chrysoperla carnea</i>	4	-
<i>Arachnida</i>	<i>Araneae</i>	<i>Salticidae</i>	<i>Salticidae sp</i>	5	-
<b>2</b>	<b>6</b>	<b>19</b>	<b>37</b>	<b>372</b>	<b>129</b>

Nous avons observé une différence remarquable dans l'abondance des ennemis naturels associés à *T. absoluta* entre la serre située dans le site rural ABN et celle située dans le site urbain AlAlia, avec 372 individus et 129 individus, respectivement. Les plus nombreux sont les hyménoptères (368 individus, 168 individus entre les sites), les hémiptères (101 individus, 49 individus entre les sites), les coléoptères (13 individus, 7 individus entre les sites), les diptères (10 individus, 10 individus entre les sites), les *Araneae* (5 individus, 5 individus entre les sites) et les neuroptères (4 individus, 4 individus entre les sites) ; alors que les diptères et les europtères sont totalement absents dans le site urbain d'AlAlia (Figure II-17).



**Figure II-17.** Distribution des ordres d'ennemis naturels associés à *Tuta absoluta* dans la région de Biskra.

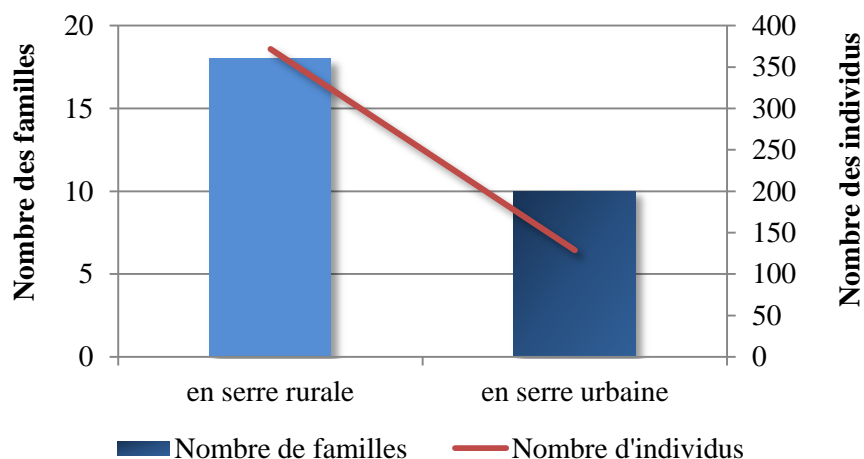
La figure II-18A montre que parmi les 35 espèces enregistrées associées à *T. absoluta* dans le site d'ABN, les hyménoptères sont plus nombreux que les autres ordres d'insectes en termes de richesse spécifique, avec 24 espèces (68.57% du nombre total d'espèces), et en termes d'abondance avec 268 individus (72% de l'effectif total des individus). Les hémiptères sont le deuxième en termes d'espèces, avec 6 espèces (17.14% de toutes les espèces), et ils sont présents en abondance avec 101 individus (27% de tous les individus). Les coléoptères sont représentés par 5.71% du total des espèces recensées (2 espèces) et 2.68% des individus globaux (10 individus sur l'effectif total). Les *Diptera*, les *Araneae* et les *Neuroptera* sont similaires en termes de richesse spécifique, avec une seule espèce pour chaque ordre (2.85% du nombre total d'individu). De même, dans le site AlAlia, parmi les 13 espèces collectées, l'ordre des hyménoptères est le plus dominant, avec 9 espèces (69.23% des espèces totales), suivi des hémiptères par 3 espèces (23.07%), puis des coléoptères avec une seule espèce (7.69%) (Figure II-18B).



**Figure II-18.** Richesse spécifique et abondance des différents ordres d'ennemis naturels au cours de la période d'étude dans ABN (A) et AlAlia (B).

Le nombre de familles et d'individus des ennemis naturels liés à *T.absoluta* est plus élevé dans la serre située au site rural (Ain Ben Noui) que dans celle située au site urbain (AlAlia), avec 52.63% et 48.5% respectivement.

Les résultats obtenus de décembre 2019 à mai 2020 a révélé la présence de 19 familles au total. 18 familles ont été constatées dans la serre du site rural Ain Ben Noui. La famille *Braconidae* est la plus nombreuse (6 espèces et 90 individus), *Ichneumonidae* (6 espèces et 60 individus) et *Miridae* (3 espèces et 64 individus), *Eulophidae* (3 espèces et 30 individus), *Trichogrammatidae* (2 espèces et 20 individus), en plus de 12 autres familles mineures, dont les plus importantes est la famille *Chalcididae* pour contenir les parasitoïdes de *T.absoluta*. Durant cette période, 10 familles ont été retrouvées dans la serre de site urbain AlAlia, seule la famille *Anthocoridae* a enregistré sa présence que sur ce site, alors que 9 autres familles avaient une abondance quasi similaire au premier site, mais les fourmis étaient représentées par une seule espèce avec 69 individus de la famille *Formicidae*.



**Figure II-19.** Nombre de familles et d'individus des ennemis naturels associés à *Tuta absoluta* dans les agroécosystèmes de la tomate en Biskra.

### 3.2. Inventaire qualitatif des ennemis naturels associés à *Tuta absoluta* dans la région de Biskra

Les ennemis naturels de *T. absoluta* sont classés en deux grandes catégories écologiques : 51.1% des prédateurs et 48.9% sont des parasitoïdes.

#### 3.2.1. Inventaire qualitatif des parasitoïdes primaires et secondaires autochtones de *T. absoluta*

Les espèces de parasitoïdes recensées sont exclusivement constituées d'Hyménoptères, à l'exception d'une seule espèce de Diptère (Tableau II-3). Au total, 24 espèces sont réparties en 9 familles, toutes identifiées jusqu'au niveau spécifique. 9 nouvelles espèces sont signalées pour la première fois dans la région. Il est à noter que certaines d'entre elles peuvent être de nouvelles espèces pour l'Algérie.

**Tableau II-3.** La richesse qualitative des parasitoïdes primaires et secondaires (hyperparasitoïdes) de *T.absoluta* rencontrés en milieu naturel de la région d'étude.

Ordre	Familles	Espèces	Stade préféré	Statut	Mois d'apparition						
					Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	
<i>Diptera</i>	<i>Tachinidae</i>	<i>Archytas sp</i> Jaennicke, 1867	L	Parasitoïdes primaires de <i>Tuta absoluta</i>							
<i>Hymén o-ptera</i>	<i>Bethylidae</i>	<i>Goniozus nigrifemur</i> Ashmead, 1894	L								
	<i>Scelionidae</i>	<i>Telenomus remus</i> * Nixon, 1937	L3-L4								
	<i>Eulophidae</i>	<i>Stenomesus japonicus</i> Ashmead, 1904	L2-L3								
		<i>Horismenus sp</i> * Walker, 1843	L-P								
		<i>Necremnus tutae</i> * Ribes & Bernardo, 2015	L								
	<i>Trichogrammatidae</i>	<i>Trichogramma achaeae</i> Nagaraja & Nagarkatti, 1970	OE								
		<i>Trichogramma pretiosum</i> Riley, 1879	OE								

Braconidae	<i>Dacnusa sibirica</i> Telenga, 1934	L1-L2								
	<i>Cotesia sp</i> Cameron, 1891	L								
	<i>Bracon sp</i> Fabricius, 1804	L3-L4								
	<i>Habrobracon hebetor</i> Say, 1836	L3-L4								
	<i>Dolichogenidea</i> ( <i>Apanteles</i> ) <i>sp</i> Viereck, 1911	L								
	<i>Apanteles gelechiidivoris</i> Förster, 1862	L								
Pteromalidae	<i>Halticoptera aenea</i> Walker, 1833	L	Parasitoïdes secondaires ou hyperparasit- oïdes de <i>Tuta absoluta</i>							
Ichneumonid ae	<i>Pristomerus pallidus</i> * Kriechbaumer, 1884	L								
	<i>Pristomerus sp</i> Curtis, 1836	L1								
	<i>Diadegma pulchripes</i> * Kokujev 1915	L3-L4								
	<i>Diadegma ledicola</i> * Horstmann, 1969	L3-L4								
	<i>Diadegma mollipla</i> * (+) Holmgren, 1868	L3-L4								
	<i>Campoplex haywardi</i> * (+) Blanchard, 1947	L-P								
Chalcididae	<i>Brachymeria secundaria</i> Ruschka, 1922	L3-L4								
	<i>Haltichella spinola</i> , 1811	L3-L4								
	<i>Hockeria sp</i> * Walker, 1834	L3-L4-P								

(\*) Nouvelle espèce pour la région ; (+) Nouvelle espèce en Algérie.  
OE : œuf ; L : larve ; P : puppe.

Cette étude a permis de mettre en évidence une diversité trophique de 24 espèces parasitoïdes de *T.absoluta*, dont 14 espèces sont primaires ; la majorité appartient à l'ordre des hyménoptères, avec 5 familles différentes et une espèce de Diptère. En revanche, les 10 espèces restantes sont des hyménoptères hyperparasitoïdes.

✓ Parasitoïdes autochtones primaires de *Tuta absoluta*



- *Diptéra : Tachinidae*



Figure II-20. *Archytas sp* Jaennicke, 1867 (Originale).

- *Hymenoptera : Bethylidae*



Figure II-21. *Goniozus nigrifemur* Ashmead, 1894 (Originale).

- *Hymenoptera: Scelionidae*



Figure II-22. *Telenomus remus* Nixon, 1937 (Originale).

- *Hymenoptera: Eulophidae*

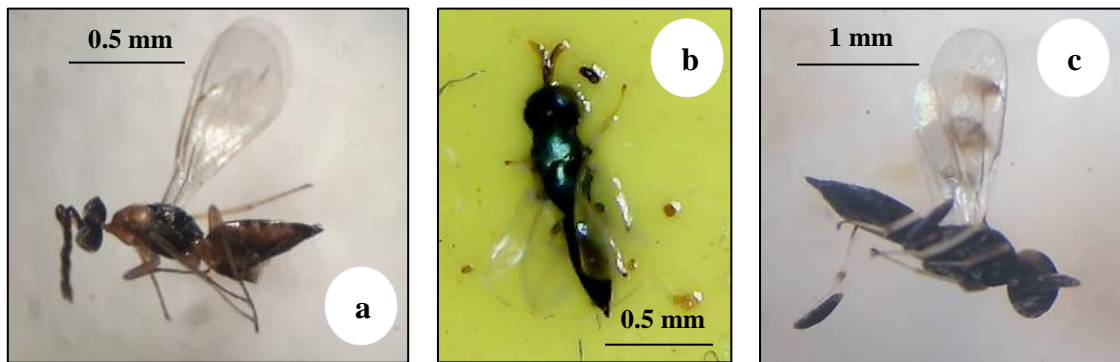


Figure II-23. a. *Stenomesus japonicus* Ashmead, 1904; b. *Horismenus* sp Walker, 1843; c. *Necremnus tutae* Ribes & Bernardo, 2015 (Originale).

- *Hymenoptera : Trichogrammatidae*

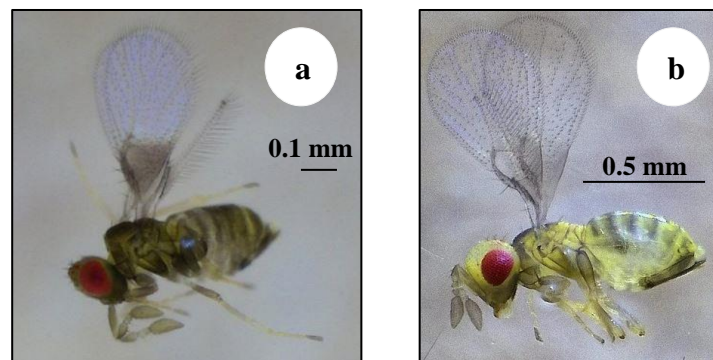
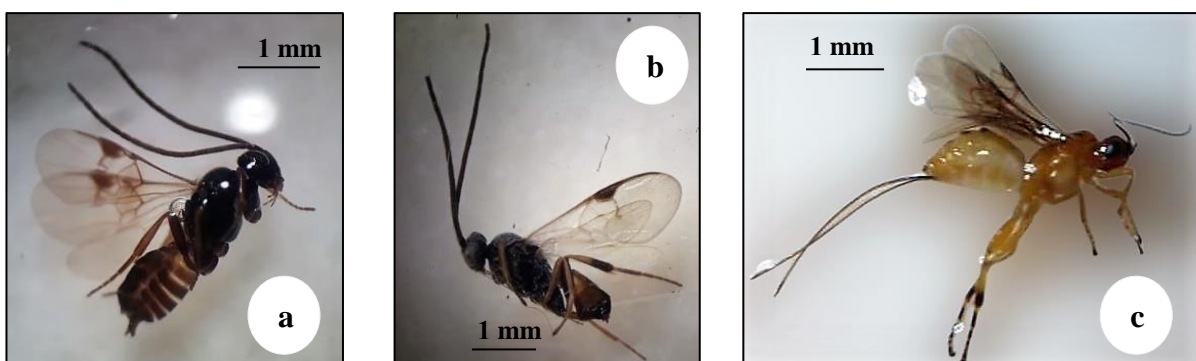
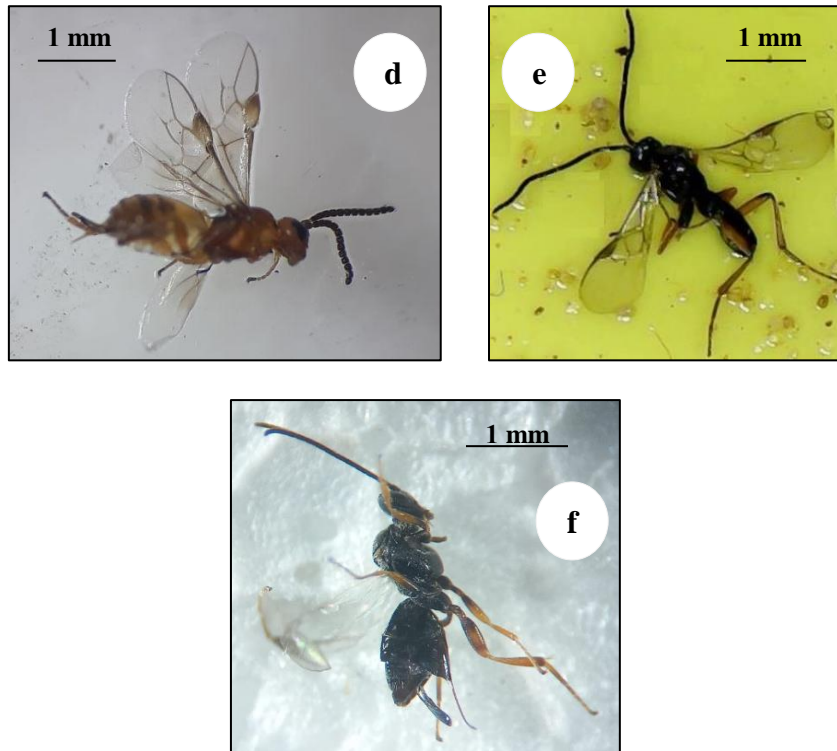


Figure II-24. a. *Trichogramma achaeae* Nagaraja & Nagarkatti, 1970, b. *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 (Originale).

- *Hymenoptera: Braconidae*





**Figure II-25.** a. *Dacnusa sibirica* Telenga, 1934; b. *Cotesia* sp Cameron, 1891; c. *Bracon* sp Fabricius, 1804; d. *Habrobracon hebetor* Say, 1836; e. *Dolichogenidea* (*Apanteles*) sp Viereck, 1911; f. *Apanteles gelechiidivoris* Förster, 1862 (Originale).

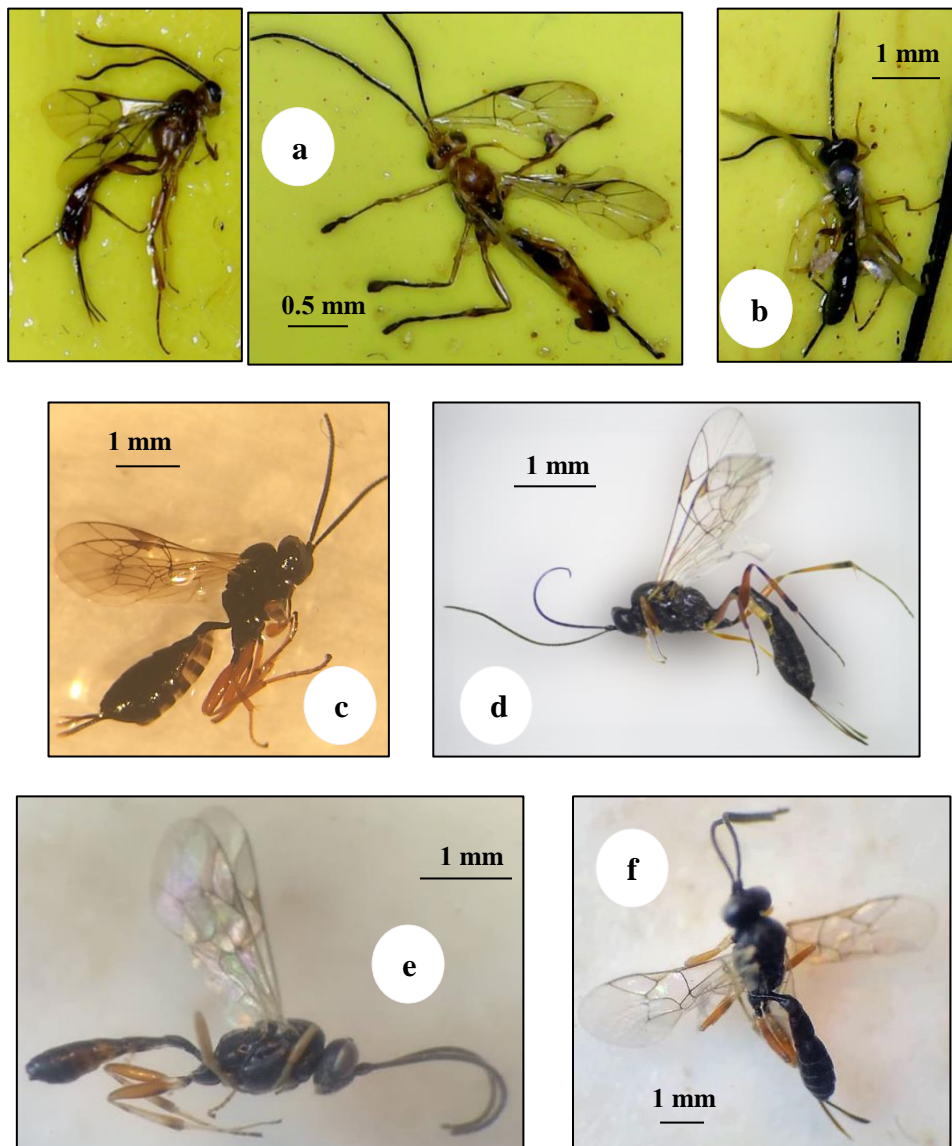
✓ **Parasitoïdes autochtones secondaires = hyperparasitoïdes de *Tuta absoluta***

- *Hymenoptera: Pteromalidae*



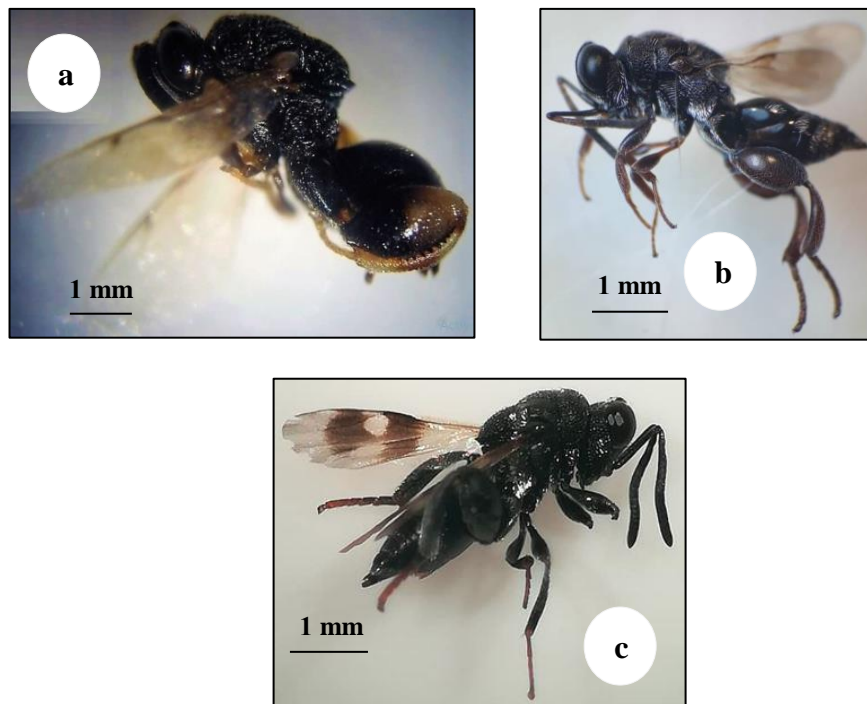
**Figure II-26.** *Halticoptera aenea* Walker, 1833 (Originale).

• *Hymenoptera: Ichneumonidae*



**Figure II-27.** a. *Pristomerus pallidus* Kriechbaumer, 1884; b. *Pristomerus* sp Curtis, 1836; c. *Diadegma pulchripes* Kokujev 1915 ; d. *Diadegma ledicola* Horstmann, 1969 ; e. *Diadegma mollipla* Holmgren, 1868 ; f. *Campoplex haywardi* Blanchard, 1947 (Originale).

• *Hymenoptera: Chalcididae*



**Figure II-28.** a. *Brachymeria secundaria* Ruschka, 1922; b. *Haltichella spinola*, 1811; c. *Hockeria sp* Walker, 1834 (Originale).

**3.2.2. Inventaire qualitatif des prédateurs autochtones de *T. absoluta***

Au total, 13 espèces prédatrices de *T. absoluta* ont été collectées sur les deux sites d'étude, réparties en 10 familles différentes, qui ont été identifiées jusqu'au niveau spécifié (Tableau II-4). Ces espèces recensées sont exclusivement des hémiptères et des coléoptères.

**Tableau II-4.** La richesse qualitative des prédateurs de *T.absoluta* rencontrés en milieu naturel de la région de Biskra.

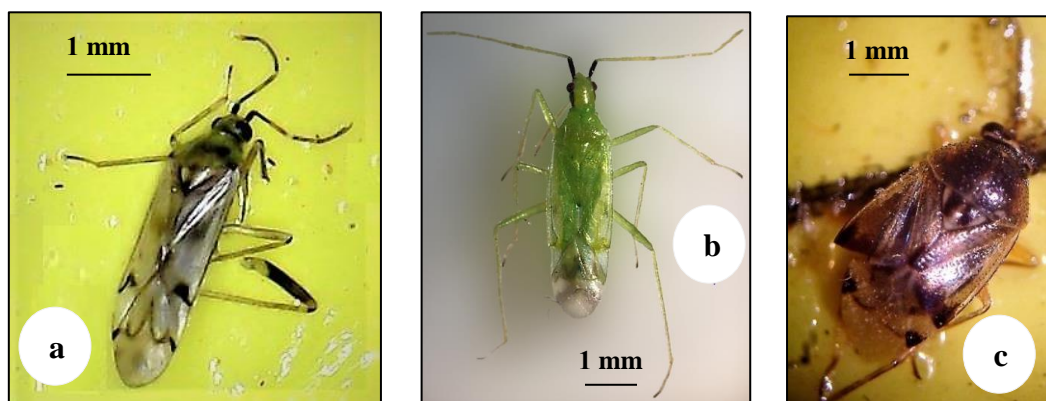
Ordre	Familles	Espèces	Stade préféré	Mois d'appariation					
				Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai
Coleoptera	<i>Carabidae</i>	<i>Selenophorus sp</i> Dejean, 1831	L-P						
	<i>Coccinellidae</i>	<i>Chilocorus politus</i> Mulsant, 1850	L						
	<i>Anthicidae</i>	<i>Anthicus sp</i> Paykull, 1798	L-P						
Hemiptera	<i>Miridae</i>	<i>Nesidiocoris tenuis</i> Reuter, 1895	E-L1						
		<i>Macrolophus pygmaeus</i> Rambur, 1839	E-L1						
		<i>Deraeocoris punctulatus</i> Fallén, 1807	L						
	<i>Anthocoridae</i>	<i>Orius sp</i> Wolff, 1811	E-L						

		<i>Lasiochilus sp</i> Reuter, 1884	L3-L4						
	<i>Geocoridae</i>	<i>Geocoris punctipes</i> Say, 1832	L						
<i>Neuroptera</i>	<i>Chrysopidae</i>	<i>Chrysoperla carnea</i> Stephens, 1836	E-L						
<i>Hyménoptera</i>	<i>Formicidae</i>	<i>Tapinoma nigerrimum</i> Nylander, 1856	L						
	<i>Vespidae</i>	<i>Polistes carnifex</i> Fabricius, 1775	L3-L4						
<i>Araneae</i>	<i>Salticidae</i>	<i>Salticidae sp</i> Blackwall, 1841	Non spécifié						

Les résultats obtenus durant la période d'étude (du 01 septembre 2019 au 31 mai 2020), ont permis d'identifier la famille *Miridae* comme seule famille spécifique contre *T.absoluta*, tandis que les 9 familles restantes (*Carabidae*, *Coccinellidae*, *Anthicidae* *Anthocoridae*, *Geocoridae* *Chrysopidae* *Formicidae*, *Vespidae* et *Salticidae*) sont des généralistes.

✓ **Prédateurs spécifiques de *Tuta absoluta***

• ***Heteroptera: Miridae***



**Figure II-29.** a. *Nesidiocoris tenuis* Reuter, 1895 ; b. *Macrolophus pygmaeus* Rambur, 1839, c. *Deraeocoris punctulatus* Fallén, 1807 (Originale).

✓ **Prédateurs généraux de *Tuta absoluta***

- *Coleoptera: Carabidae*



Figure II-30. *Selenophorus sp* Dejean, 1831 (Originale).

- *Coleoptera : Coccinellidae*



Figure II-31. *Chilocorus politus* Mulsant, 1850 (Originale).

- *Coleoptera: Anthicidae*



Figure II-32. *Anthicus sp* Paykull, 1798 (Originale).

- *Hemiptera: Thripidae*



Figure II-33. *Orius sp* Wolff, 1811 (Originale).

- *Hemiptera: Anthocoridae*



Figure II-34. *Lasiochilus sp* Reuter, 1884 (Originale).

- *Hemiptera: Geocoridae*

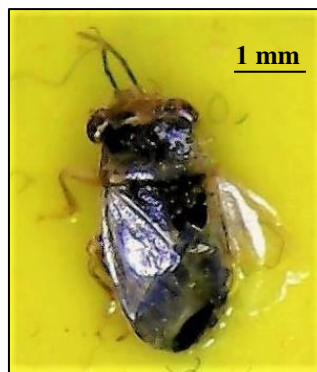


Figure II-35. *Geocoris punctipes* Say, 1832 (Originale).



- *Coleoptera: Chrysopidae*

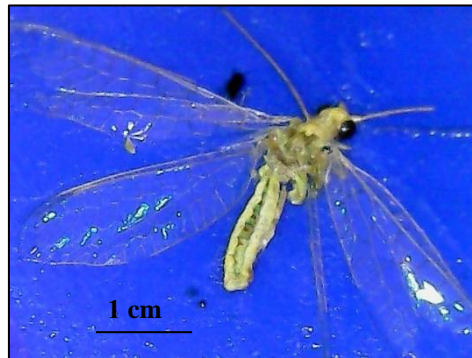


Figure II-36. *Chrysoperla carnea* Stephens, 1836 (Originale).

- *Hymenoptera: Formicidae*



Figure II-37. *Tapinoma nigerrimum* Nylander, 1856 (Originale).

- *Hymenoptera: Vespidae*



Figure II-38. *Polistes carnifex* Fabricius, 1775 (Originale).

- *Araneae: Salticidae*



Figure II-39. *Salticidae sp* Blackwall, 1841 (Originale).

### 3.3. Analyse fonctionnelle des parasitoïdes et des prédateurs autochtones de *T. absoluta*

L'ordre d'arrivée écologique des ennemis naturels associés au ravageur *T. absoluta* identifié sous les serres, particulièrement répandu en février, mars, avril et mai. Le diagnostic des diagrammes rang/fréquence montre une richesse spécifique et une installation graduelle des groupes fonctionnels de manière assez contrastée chez la tomate (Figure II-40). Nous avons remarqué l'importance et l'abondance des populations de *T. absoluta* qui viennent en premier, ce qui reflète la pression potentielle de ce ravageur sur cette culture. Suivie par la population des mirides prédatrices, puis par les parasitoïdes primaires/secondaires avec des fréquences plus faibles. La disponibilité temporelle des espèces de ravageurs et d'auxiliaires se rapproche au modèle naturel montrant une faible action sur le ravageur *T. absoluta* dans la culture de tomate [Annexe II-4].

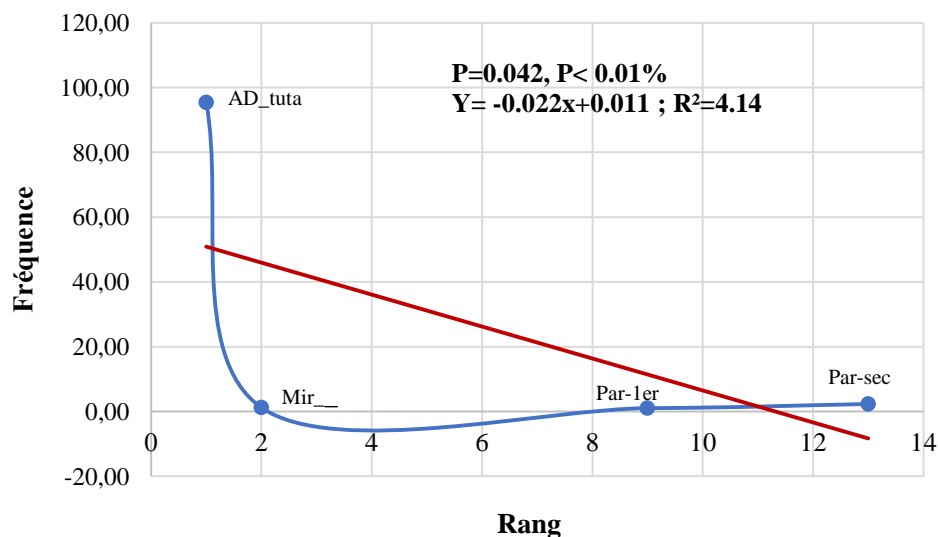


Figure II-40. Ajustement des abondances des populations d'ennemis naturels au modèle Poisson sur la culture de tomate sous serre (AD\_tuta : Adulte *T. absoluta* ; Par-1er : Parasitoïdes primaires ; Par-sec : Parasitoïdes secondaires ; Mir\_- : *Miridae*).

### 3.3.1. Principaux parasitoïdes et prédateurs autochtones de *Tuta absoluta*

Durant la période d'échantillonnage étalée sur 26 semaines, nous avons recensé 22 espèces d'hyménoptères parasitoïdes principales représentées par 08 familles d'hyménoptères, avec un effectif total de 234 individus appartenant à 13 sous familles qui sont les *Alysiinae*, *Braconinae*, *Microgastrinae*, *Cremastinae*, *Campopleginae*, *Bethylinae*, *Brachymeriinae*, *Haltichellinae*, *Scelioninae*, *Eulophinae*, *Entedoninae*, *Miscogasterinae* et *Trichogrammatinae*. 6 espèces sont des ectoparasitoïdes et 16 espèces sont endoparasitoïdes. Les prédateurs spécifiques de *T.absoluta* sont représentés par deux espèces d'hémiptères appartenant à une seule famille *Miridae*, et à la sous famille *Bryocorinae*, pour un total de 84 individus.

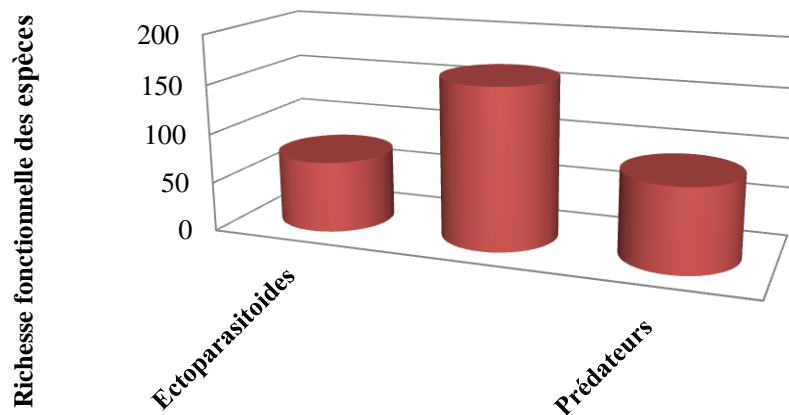
**Tableau II-5.** Richesse et abondance globale des principaux parasitoïdes et prédateurs autochtones associés à la mineuse de tomate *T. absoluta* dans la région de Biskra.

Ordre	Familles	Sous famille	Espèces	Références	Nombre	
Hyménoptera	Braconidae	<i>Alysiinae</i>	<i>Dacnusa sibirica</i> <b>Ecto</b>	Abdelmaksoud et al. (2016)	22	
		<i>Braconinae</i>	<i>Bracon sp</i> <b>Ecto</b>	Biondi & Desneux. (2019)	9	
			<i>Habrobracon hebetor</i> <b>Ecto</b>	Ounis (2017)	11	
		<i>Microgastrinae</i>	<i>Cotesia sp</i> <b>Endo</b>	Gabarra et al. (2014)	19	
			<i>Dolichogenidea (Apanteles) sp</i> <b>Endo</b>	Aigbedion-Atalor et al. (2019)	18	
			<i>Apanteles gelechiidivoris</i> <b>Endo</b>	Aigbedion-Atalor et al. (2019)	23	
		<i>Ichneumonidae</i>	<i>Cremastinae</i>	<i>Pristomerus pallidus</i> <b>Endo</b>	Ferracini et al. (2019)	13
				<i>Pristomerus sp</i> <b>Endo</b>	Desneux et al. (2010)	17
			<i>Campopleginae</i>	<i>Diadegma pulchripes</i> <b>Endo</b>	Zappalà et al. (2013)	8
	<i>Diadegma ledicola</i> <b>Endo</b>			Ferracini et al. (2019)	1	
	<i>Diadegma mollipla</i> <b>Endo</b>			Desneux et al. (2010)	14	
	<i>Campoplex haywardi</i> <b>Endo</b>			Desneux et al. (2010)	13	
	<i>Bethylidae</i>	<i>Bethylinae</i>	<i>Goniozus nigrifemur</i> <b>Ecto</b>	Koudjil et al. (2014)	6	
	<i>Chalcididae</i>	<i>Brachymeriinae</i>	<i>Brachymeria secundaria</i> <b>Endo</b>	Gabarra et al. (2014)	4	
		<i>Haltichellinae</i>	<i>Hockeria sp</i> <b>Endo</b>	Mansour et al. (2018)	1	
	<i>Scelionidae</i>	<i>Scelioninae</i>	<i>Telenomus remus</i> <b>Endo</b>	Alrubeai (2017)	4	
	<i>Eulophidae</i>	<i>Eulophinae</i>	<i>Stenomesus japonicus</i> <b>Ecto</b>	Desneux et al. (2010)	11	
<i>Necremnus tutae</i> <b>Ecto</b>			Boualem et al. (2012)	10		
<i>Entedoninae</i>		<i>Horismenus sp</i> <b>Ecto</b>	Desneux et al. (2010)	3		

	<i>Pteromalidae</i>	<i>Miscogasterinae</i>	<i>Halticoptera aenea</i> <b>Endo</b>	Zappalà et al. (2013)	1
	<i>Trichogrammati- -dae</i>	<i>Trichogrammatinae</i>	<i>Trichogramma achaeae</i> .3 <b>Endo</b>	Cabello et al. (2009)	17
			<i>Trichogramma pretiosum</i> <b>Endo</b>	Mansour et al. (2018)	9
<i>Hemiptera</i>	<i>Miridae</i>	<i>Bryocorinae</i>	<i>Nesidiocoris tenuis</i> <b>Préd</b>	Boualem et al. (2012)	38
			<i>Macrolophus pygmaeus</i> <b>Préd</b>	Urbaneja et al. (2009)	46
<b>2</b>	<b>9</b>	<b>14</b>	<b>24</b>		<b>318</b>

**Endo: Endoparasitoïdes; Ecto : Ectoparasitoïdes ; Préd : Prédateur.**

Les espèces de parasitoïdes identifiées comme les principaux ennemis naturels de la mineuse de la tomate à partir des larves collectées sur le terrain et celles des pièges distribués sous les serres, telles que présentées dans le tableau II-5 sont triées par ordres, familles, genres et espèces. Les espèces parasitoïdes appartiennent toutes au même ordre et ont été réparties en 8 familles, parmi lesquelles les braconidés et les ichneumonidés sont les plus dominants, chacun avec 6 espèces. Les eulophidés comptent 3 espèces, tandis que les trichogrammatidés et les chalcididés en comptent 2 espèces, puis les bethylidés, les scelionidés et les pteromalidés avec une seule espèce chacun. En revanche, les prédateurs appartiennent à une seule famille *Miridae*. Les espèces sont réparties fonctionnellement en 51% d'endoparasitoïdes, 23% d'ectoparasitoïdes et 26% de prédateurs (Figure II-41).



**Figure II-41.** Groupes fonctionnels des principaux ennemis naturels associés à *T. absoluta*.

### 3.4. Discussion

Cette étude a révélé une présence plus importante d'ennemis naturels de *T. absoluta* que celle observée par Boualem et al. (2012) à Mostaganem (nord-ouest algérien) et par Ounis (2017) à Biskra (sud-est algérien). Ces captures élevées sont attribuables à l'absence de pesticides chimiques dans nos serres, qui ont un large éventail d'effets, y compris sur les mauvaises herbes qui servent de nourriture ou d'habitat à certaines espèces d'insectes (Balzan & Moonen 2014). Elles ont également dépassé les résultats de Sylla (2018) dans la région sud du Sénégal en raison de la présence de pratiques agricoles intensives dans la région avec l'absence totale d'habitats semi-naturels autour des cultures. Damien (2018) a démontré que la

richesse du couvert végétal fournit nourriture et abri à un nombre important d'espèces auxiliaires, influençant directement le développement du système trophique de nombreux arthropodes et accélérant leur dynamique et leur expansion dans la région cultivée. En principe, le niveau de régulation interne d'un agroécosystème dépend de la biodiversité en espèces faunistiques et floristiques (Altieri 1999). Selon les résultats obtenus, la diversité spontanée (adventices) dans les serres situées dans le site rural d'Ain Ben Noui a eu un effet positif sur l'abondance des arthropodes et a favorisé leur installation par rapport à celles du site urbain d'AlAlia. Plusieurs études, comme Deghiche-Diab & Deghiche (2016) ont noté précédemment l'abondance d'espèces d'entomofaune dans la région d'Ain Ben Noui. Les résultats ont également révélé l'efficacité et le potentiel des pièges jaunes pour la capture sous serre (ZIRI 2011 ; Raj et al. 2020). De plus, l'installation des pièges à proximité du sommet des plants de tomates et près de la végétation a eu un effet significatif sur la capture des arthropodes, en particulier pour les hyménoptères qui sont généralement plus mobiles

(McCravy 2018). Les résultats de nos recherches confirment une plus grande diversité des taxons d'arthropodes (ordres, familles, individus) dans les serres du site rural par rapport à celles du site urbain, en particulier pour les principaux ordres, comme le confirme Arnó et al. (2009) en Amérique du Sud. Gontijo et al. (2019) ont indiqué que la présence et la diversité des insectes bénéfiques dans une région sont associées à la densité et à la biodiversité des hôtes existants, car les volatils végétaux induits par les herbivores sont des substances sémiochimiques importantes utilisées par les ennemis naturels pour localiser des proies ou des hôtes, comme les HIPVs produits par les plants de tomates infestés avec les œufs ou les larves de *T. absoluta*. Plus de 100 ennemis naturels ont été signalés dans son habitat d'origine (Desneux et al. 2010), dans lequel les hyménoptères étaient l'un des quatre principaux ordres d'insectes, après les coléoptères (Zappalà et al. 2013). En Afrique, qui souffre d'un très haut niveau d'infestation par *T. absoluta*, une diversité importante des ennemis naturels de ce ravageur a été signalée, avec 50 espèces différentes, dont la plupart sont principalement documentées dans les champs de tomates en Afrique du Nord et du Sud (Mansour et al. 2018), avec six espèces identifiées dans l'est du continent, principalement liées aux familles *Chalcididae*, *Bethylidae*, *Braconidae* et *Eulophidae* de l'ordre Hyménoptère (Tendeng et al. 2017). Cependant, moins de 50 espèces d'ennemis naturels ont été recensées en Europe et dans le bassin méditerranéen, dont la plupart appartiennent aux ordres hyménoptères, hémiptères et diptères à différents stades de *T. absoluta*, notamment les familles *Eulophidae*, *Braconidae*, *Ichneumonidae*, *Trichogrammatidae*, *Pteromalidae* et *Chalcididae* par nombre décroissant (Zappalà et al. 2013 ; Ferracini et al. 2019). L'abondance était plus importante dans les cultures de tomates en plein champ en Iran, en Espagne, en Jordanie, en France, en Turquie et en Italie, pays où *T. absoluta* est considéré comme un ravageur envahissant (Biondi & Desneux 2019), dans lequel Luna et al. (2012) ont mentionné la présence d'hémiptères (*Anthocoridae* et *Miridae*) et d'hyménoptères avec des familles (*Nabidae*, *Braconidae*, *Ichneumonidae*, *Eulophidae* et *Trichogrammatidae*) dans les régions italiennes. Un grand nombre d'arthropodes ont également été enregistrés ces dernières années dans les pays du Paléarctique occidental nouvellement envahis par la mineuse sud-américaine *T. absoluta*, dont la plupart appartiennent aux groupes des hyménoptères (guêpes), notamment à la famille braconidès ou ichneumonidès, des diptères (mouches) appartenant à la famille tichinidés (Mansour et al.

2018), et à l'ordre des hémiptères (dix espèces), en particulier aux familles *Miridae*, *Anthocoridae* et *Nabidae* par ordre décroissant du nombre d'espèces (Gabarra et al. 2014).

Selon les rapports de Tschamtker et al. (2007) qui ont souligné l'importance d'attribuer les arthropodes à différents groupes fonctionnels, tous les arthropodes collectés dans nos sites d'étude ont été classés en parasitoïdes et en prédateurs. Zappalà et al. (2013) ont collecté plus de 70 espèces d'arthropodes étroitement liées à *T. absoluta* dans 12 pays différents des régions d'Amérique du Sud, de la Méditerranée et du Moyen-Orient, dont 20% sont des prédateurs et 80% sont des parasitoïdes, alors que le résultat était équilibré entre les deux groupes dans notre étude. Parmi les ennemis naturels autochtones susmentionnés dans notre étude, il y a plus de 14 espèces sont des parasitoïdes primaires, 10 espèces sont des parasitoïdes secondaires (hyperparasitoïdes) et 13 espèces sont des prédateurs. Ces espèces divisées en espèces généralistes (peuvent vivre dans de nombreux endroits et se alimenter sur des divers hôtes) et en espèces spécialisées (présentes dans un type d'habitat et se nourrissant de quelques types d'hôtes) (Savino et al. 2017).

De nombreux articles indiquent le potentiel d'utilisation de ces espèces sur la base d'études en laboratoire ou d'études expérimentales sur le terrain, mais ils ont rarement été suivis de recherches appliquées (Ferracini et al. 2019). D'après les résultats du tableau II-5, il ressort que toutes les principales espèces trouvées dans la région d'étude sont des *Campopleginae*, *Microgastrinae*, *Braconinae*, *Cremastinae*, *Eulophinae*, *Trichogrammatinae*, *Bryocorinae*, *Alysiinae*, *Bethylinae*, *Brachymeriinae*, *Haltichellinae*, *Scelioninae*, *Entedoninae*, *Miscogasterinae* et plusieurs auxiliaires sont actuellement employés comme des agents de lutte biologique contre la mineuse de tomate *T. absoluta* (Urbaneja et al. 2009). Ces espèces ont l'aptitude de s'adapter à des climats et à des habitats très variés (Loehman et al. 2017 ; Damien 2018). Dans les forêts tropicales humides où les conditions environnementales sont assez constantes, les espèces spécialisées ont moins de concurrents pour les ressources (Desneux et al. 2010).

Les espèces de parasitoïdes qui attaquent les autres stades de *T. absoluta* sont moins courantes, mais dans l'ensemble, elles représentent sept guildes de parasitoïdes, telles que définies par Mills (1992) ; cependant, dans notre cas, nous avons identifié la présence de six guildes, à savoir:

#### - Parasitoïdes des œufs

Tous les parasitoïdes des œufs appartiennent à l'ordre *Hymenoptera* : *Trichogrammatidae*, et plusieurs articles ont été publiés sur le genre *Trichogramma* et son utilisation comme agents de lutte biologique dans le monde (Cabello et al. 2009). *T. pretiosum* et *T. achaeae* ont été trouvés contrôlant les populations de *T. absoluta* dans les serres de tomates au Brésil, en Espagne (jusqu'à 90% de parasitisme), dans les champs de tomates ouverts dans des oasis tunisiennes (Cherif 2018), à Mostaganem (Mansour et al. 2018) et aux sites de Sidi Okba et de Feliache à Biskra (Ounis 2017). L'efficacité de *T. achaeae* a été démontrée dans les essais expérimentaux et a réduit les niveaux d'infection de ce ravageur à travers l'utilisation de grandes quantités de parasitoïdes par lâcher (250000 à 1000000/ha/semaine), il est actuellement disponible dans le commerce pour la lutte antiparasitaire en Europe (Luna et al. 2012).

### - Parasitoïdes larvaires précoces

Plusieurs espèces d'hyménoptères ont été découvertes lors de notre inventaire, parmi lesquelles des individus de guêpes parasitoïdes braconides appartenant à la sous-famille des Microgastrinae pondant dans les premiers stades de leur espèce hôte, de manière solitaire ou grégaire (Whitfield et al. 2018). Bien que les espèces solitaires d'endoparasitoïdes koinobiontes *Dolichogenidea (Apanteles) sp* et *A. gelechiidivoris* (Syn.: *Dolichogenidea gelechiidivoris*) aient été identifiées comme des ennemis naturels efficaces de *T.absoluta* dans son aire de répartition d'origine (hauts plateaux du Pérou), en particulier dans les premières larves en tant que parasitoïdes primaires (Aigbedion-Atalor et al. 2019), avec un taux de parasitisme supérieur à 60% en Argentine et au Chili (Ferracini et al. 2019).

### - Endoparasitoïdes larvaires

L'espèce endoparasitoïde koinobionte *Cotesia sp (Braconidae)* a donné un taux de parasitisme modéré dans les programmes de lutte biologique en Afrique (Fiaboe et al. 2017), qui a bien été développée au laboratoire dans les larves tardives (L3-L4) de *T.absoluta* (Gabarra et al. 2014). De façon intéressante, six espèces endoparasitoïdes de la famille des *Ichneumonidae* ont été associées à des larves tardives dans notre zone d'étude. Sylla (2018) a révélé la présence de *P. pallidus* et *Pristomerus sp* au Sénégal, *D. pulchripes*, *D. ledicola* et *D. mollipla* ont également été identifiés en Afrique du Sud, en Europe et dans les pays méditerranéens (Desneux et al. 2010; Ferracini et al. 2019). Les guêpes chalcidides de *Hockeria sp* ont été testées pour leur potentiel en tant qu'agents de lutte biologique contre ce ravageur en Afrique du Sud (Mansour et al. 2018), tandis que les endoparasitoïdes *B. secundaria* ont été enregistrés en Turquie chez les larves L3-L4, avec un taux de parasitisme de 0.7% (Topakci & Keçeci 2017). De plus, les espèces de parasitoïdes *H. spinola* ont été confirmées au Brésil (Uchoa-Fernandes & Campos 1993). Notamment, les endoparasitoïdes *T. remus (Scelionidae)* ont été enregistrés dans les larves tardives de *T. absoluta* en Égypte (Abdelmaksoud et al. 2016), en Irak et au Brésil (Alrubeai 2017). *P. pallidus*, *D. pulchripes*, *D. ledicola*, *Hockeria sp* et *T. remus* sont enregistrés pour la première fois dans la région de Biskra, mais *D. mollipla* est identifié pour la première fois en Algérie.

### - Midlarval ectoparasitoïdes

Au cours de cette étude, les deux larves ectoparasitoïdes, idiobiontes, espèces grégaires *Bracon sp* et *H. hebetor (Braconidae)* attaquaient les larves tardives de *T.absoluta*, à hauteur de 25.5% (Biondi & Desneux 2019). L'étude d'Ounis (2017) sur les parasitoïdes indigènes à Biskra a indiqué la présence de ces espèces dans les sites de Sidi Okba et de Filiach, à Mostaganem sur la côte ouest de l'Algérie (Boualem et al. 2012), ainsi que dans de nombreux pays africains (Mansour et al. 2018). En outre, le parasitisme des espèces de braconides *D. sibirica* a été confirmé en Grèce et en Égypte (Abdelmaksoud et al. 2016). La famille des *Eulophidae* comprend les espèces ectoparasitoïdes que nous avons trouvées attaquant les larves tardives de ce ravageur, notamment les espèces idiobiontes *S. japonicus*, *Horismenus sp* et *N. tutae* (Desneux et al. 2010; Cherif 2018), dont Boualem et al. (2012) ont précédemment indiqué l'abondance de *Necremnus sp* à Mostaganem. Dans une étude comparative, les

femelles de *S. japonicus* vivaient plus longtemps que *N. tutae* et étaient par conséquent plus efficaces en termes de nombre d'hôtes parasités et tués (Chailleux et al. 2013). L'abondance de l'espèce *Archytas sp* (*Tachinidae*) a été enregistrée, cette espèce a également été trouvée en Amérique du Sud (Desneux et al. 2010) et en Turquie (Öztemiz 2012), car elle préfère parasiter les larves tardives de *T. absoluta*. Les mêmes résultats ont été enregistrés pour l'espèce ectoparasitoïde *G. nigrifemur* (*Bethylidae*) (koudjil et al. 2014). *Horismenus sp* et *N. tutae* sont enregistrés pour la première fois dans la région de Biskra.

#### - Larves/nymphes parasitoïdes

Les endoparasitoïdes *Halticoptera aenea* (*Pteromalidae*) ont émergé des pupes et des larves de ce ravageur en Italie (Zappalà et al. 2013), tandis que les endoparasitoïdes *C. haywardi* (*Ichneumonidae*) ont également été identifiés en Afrique du Sud, en Europe et en Méditerranée (Desneux et al. 2010), et pour la première fois en Algérie.

#### - Prédateurs

Les insectes prédateurs sont nombreux et de tailles variables. Ce groupe inclut les coléoptères (carabes et coccinelles), les hémiptères (punaises), les diptères (syrphes) et les neuroptères (chrysopes) (Gabarra et al. 2014). De plus, d'autres arthropodes comme les araignées. Ces prédateurs généralistes mettent généralement moins de temps à s'adapter aux ravageurs exotiques que les parasitoïdes (Ehler 1998), et cela aurait pu être le cas pour *T. absoluta*. Une grande abondance de *T. nigerrimum* (*Formicidae*) a été enregistrée dans les mines de feuilles de tomate, en tant que prédateur des larves à tous ses stades (Zappalà et al. 2013). Les espèces sociales de *Vespidae* sont d'importants agents de lutte biologique dans les agroécosystèmes, en particulier sur les diptères, les lépidoptères, les hyménoptères et les hémiptères (koudjil et al. 2014), mais les guêpes *P. carnifex* ont été identifiées sur les stades matures des larves de *T. absoluta*. Les hémiptères des anthocoridés, des géocoridés, des mirides et des lasiochilidés ont également été reconnus dans leurs pays originaires comme des agents de lutte biologique efficaces pour ce ravageur (Desneux et al. 2010). Les espèces de mirides se produisent spontanément dans la plupart des pays méditerranéens, Biondi & Desneux (2019) ont rapporté que *N. tenuis* et *M. pygmaeus* étaient très efficaces pour contrôler les œufs et premières larves dans les conditions de laboratoire, et ces punaises sont trouvées en grand nombre dans les parcelles de tomate à travers le littoral algérois jusqu'à Mostaganem. Mollá et al. (2009) ont mentionné que *N. tenuis* causait des réductions d'infestation jusqu'à 97% dans les feuilles et jusqu'à 100% dans les fruits en Espagne. Les espèces *D. punctulatus* (*Miridae*) ont contribué à la suppression des stades immatures dans l'ouest de l'Azerbaïdjan et en Iran (Zarei et al. 2019). Les espèces prédatrices comprennent *Orius sp*, *Lasiochilus sp* et *G. punctipes* (Zappalà et al. 2013), tandis que les anthocoridés appartenant au genre *Orius* ont été trouvés sur les larves de *T. absoluta* respectivement au Venezuela, au Brésil et en Jordanie (Zarei et al. 2019). Les études de Bacci et al. (2018) sur le genre *Lasiochilus* (*Thripidae*) ont également confirmé son efficacité sur les larves tardives. De plus, une grande diversité a été observée chez les coléoptères, où les espèces de *Selenophorus sp* (*Carabidae*) préféraient les larves et les pupes (koudjil et al. 2014). Les études de Desneux et al. (2010) et Ghoneim (2014) ont confirmé la présence des espèces de *C. politus* (*Coccinellidae*) sur les larves, bien que *Anthicus sp* (*Anthicidae*) préfère les pupes et les larves tardives au laboratoire. L'espèce *C. carnea* (*Chrysopidae*) a montré un taux de prédation élevé sur les œufs et les premières larves (Ismoilov et al. 2020). De même, de nombreuses espèces de



*Salticidae sp (Araneae)* ont été principalement observées sur les larves de *T.absoluta* au Brésil (Desneux et al. 2010).

En effet, les ennemis naturels recensés dans cette étude étaient présents au sein d'une intragilde liée à la culture de tomate, et la majorité de ces espèces se situaient au 3<sup>ème</sup> niveau de la chaîne trophique plante/phytophage/parasitoïde-prédateur. Ces systèmes tritrophiques sont parmi les plus complexes et les plus diversifiés dans les agroécosystèmes, et l'intégration d'espèces d'un 3<sup>ème</sup> niveau trophique, notamment les parasitoïdes, permettrait de mieux prédire la dynamique des populations de ravageur, et donc les dommages potentiels causés aux cultures (Frago 2016).

### 3.5. Analyse structurale des principaux parasitoïdes et prédateurs autochtones de *T. absoluta*

#### - Qualité d'échantillonnage

Le nombre d'espèces vues une seule fois en un seul exemplaire au cours des 14 relevés dans les sites d'étude est consigné dans le tableau II-6.

**Tableau II-6.** Valeurs de la qualité de l'échantillonnage pour les principaux ennemis naturels de *T.absoluta* dans les serres d'étude.

Espèces (a)	N	a/N
<i>Dacnusa sibirica</i>	<b>318</b>	<b>0.04</b>
<i>Bracon sp</i>		
<i>Habrobracon hebetor</i>		
<i>Cotesia sp</i>		
<i>Dolichogenidea (Apanteles) sp</i>		
<i>Apanteles gelechiidivoris</i>		
<i>Pristomerus pallidus</i>		
<i>Pristomerus sp</i>		
<i>Diadegma pulchripes</i>		
<i>Diadegma ledicola</i>		
<i>Diadegma mollipla</i>		
<i>Campoplex haywardi</i>		
<i>Goniozus nigrifemur</i>		
<i>Brachymeria secundaria</i>		
<i>Hockeria sp</i>		
<i>Telenomus remus</i>		
<i>Stenomesus japonicas</i>		
<i>Necremnus tutae</i>		
<i>Horismenus sp</i>		
<i>Halticoptera aenea</i>		
<i>Trichogramma achaeae</i>		
<i>Trichogramma pretiosum</i>		
<i>Nesidiocoris tenuis</i>		
<i>Macrolophus pygmaeus</i>		

**a. Indices écologiques de composition**

**- Richesse totale (S) et richesse moyenne (Sm)**

Nous avons capturé au total 24 espèces principales d'auxiliaires (ennemies naturels), comptant 318 individus. Les valeurs de richesse totale et moyenne calculées sont représentées dans le tableau II-7.

**Tableau II-7.** Valeurs de la richesse totale et moyenne des principaux ennemis naturels capturés par mois.

Mois	Dec (moy.18°C)	Jan (moy.20°C)	Fev (moy.23°C)	Mar (moy.25°C)	Avr (moy.30°C)	Mai (moy.40°C)
<b>S</b>	12	17	58	88	85	58
<b>Sm</b>	0.85	1.21	4.14	6.28	6.07	4.14

Comme le montrent les lectures du tableau II-7, les richesses les plus faibles ont été enregistrées en décembre et janvier, avec des températures variant entre 18°C et 20°C. La plus grande richesse a été enregistrée en mars et avril (T= 25°-30°C), suivis de février et mai dans des conditions thermiques de 23°C-39°C, par ordre d'importance. La richesse moyenne calculée est de 3,78 sous des conditions thermiques de 22°C-40°C.

**- Densité, abondance relative et fréquence d'occurrence**

Nous avons capturé 318 principaux individus auxiliaires (ennemis naturels) de *T.absoluta* répartis en 2 ordres. L'ordre des *Hymenoptera* est le plus dominant avec 234 individus (74%) collectés, suivi des *Hemiptera* avec 84 individus (26%). Leur densité, leur abondance relative en fonction d'espèces et de fréquence d'occurrence sont présentées dans le tableau II-8.

**Tableau II-8.** Valeurs de la densité (D), l'abondance relative (AR%) et la fréquence d'occurrence (FC%) en fonction des principales espèces auxiliaires de *T.absoluta* dans les serres d'étude.

Espèces	Ni	D	AR (%)	C (%)	Fréquence d'occurrence
<i>Dacnusa sibirica</i>	22	1.57	6.91	64.28	très fréquente
<i>Bracon sp</i>	9	0.64	2.83	35.71	très accessoire
<i>Habrobracon hebetor</i>	11	0.78	3.45	42.85	constance peu fréquente
<i>Cotesia sp</i>	19	1.35	5.97	64.28	très fréquente
<i>Dolichogenidea (Apanteles) sp</i>	18	1.28	5.66	57.14	constance fréquente
<i>Apanteles gelechiidivoris</i>	23	1.64	7.23	71.42	très fréquente
<i>Pristomerus pallidus</i>	13	0.92	4.08	35.71	très accessoire
<i>Pristomerus sp</i>	17	1.21	5.34	50	constance peu fréquente
<i>Diadegma pulchripes</i>	8	0.57	2.51	42.85	constance peu fréquente
<i>Diadegma ledicola</i>	1	0.07	0.31	17.14	Accidentelle
<i>Diadegma mollipla</i>	14	1	4.4	57.14	constance fréquente
<i>Campoplex haywardi</i>	13	0.92	4.08	50	constance peu fréquente
<i>Goniozus nigrifemur</i>	6	0.42	1.88	28.57	Accessoire
<i>Brachymeria secundaria</i>	4	0.28	1.25	28.57	Accessoire
<i>Hockeria sp</i>	1	0.07	0.31	17.41	Accidentelle
<i>Telenomus remus</i>	4	0.28	1.25	14.28	Accidentelle

<i>Stenomesus japonicus</i>	11	0.78	3.45	35.71	très accessoire
<i>Necremnus tutae</i>	10	0.71	3.14	35.71	très accessoire
<i>Horismenus sp</i>	3	0.21	0.94	14.28	Accidentelle
<i>Halticoptera aenea</i>	1	0.07	0.31	17.41	Accidentelle
<i>Trichogramma achaeae</i>	17	1.21	5.34	57.14	constance fréquente
<i>Trichogramma pretiosum</i>	9	0.64	2.83	42.85	constance peu fréquente
<i>Nesidiocoris tenuis</i>	38	2.71	11.95	78.57	constante
<i>Macrolophus pygmaeus</i>	46	3.28	14.46	50	constance peu fréquente

D'après la règle de Sturge (1926), les classes d'occurrence sont au nombre de 9 avec un intervalle égal à 10.29%. Si  $0\% < F.O \leq 10.29\%$  l'espèce est rare. Si  $10.29\% < F.O \leq 20.58\%$  l'espèce est accidentelle. Lorsque  $20.58\% < F.O \leq 30.87\%$  l'espèce est accessoire. Si  $30.87\% < F.O \leq 40.16\%$  l'espèce est très accessoire. Lorsque  $40.16\% < F.O \leq 51.45\%$  l'espèce fait partie de la classe de constance peu fréquente. En cas où  $51.45\% < F.O \leq 61.74\%$  l'espèce appartient à la classe de constance fréquente. Si  $61.74\% < F.O \leq 72.03\%$  l'espèce est très fréquente. Si  $72.03\% < F.O \leq 82.32\%$  l'espèce est constante. Lorsque  $82.32\% < F.O \leq 92.61\%$  l'espèce fait partie de la classe de constance omniprésente. Les ennemis naturels piégés appartiennent à 6 classes. 7 cas d'espèces appartiennent à la classe d'accessoire. 6 cas font partie de la classe de constance peu fréquente. 4 espèces sont très accessoires. 3 font partie de la classe de constance fréquente. De même, 3 espèces sont très fréquentes et une seule espèce est constante.

### b. Indices écologiques de structure

Nous avons calculé les indices écologiques de diversité de Shannon-Weaver (H'), de diversité de Simpson (D), l'indice d'équitabilité (ED), l'indice de Hill (Hill) et de Jaccard (Ic) en fonction des mois de capture et des sites d'étude.

#### - Selon les mois

**Tableau II-9.** Indices de diversité des principaux ennemis naturels de *T. absoluta* dans les serres d'étude selon les mois de capture.

	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai
<b>H'</b>	2.32	2.22	3.16	3.31	3.09	2.32
<b>D</b>	0.16	0.61	0.1	0.61	0.11	0.3
<b>ED</b>	0.90	0.86	0.93	0.96	0.92	0.78
<b>Hill</b>	0.63	0.76	0.5	0.61	0.49	0.52
<b>1- Hill</b>	0.69	-0.02	0.5	0.39	0.51	0.48

L'indice de diversité de Shannon-Weaver H' était élevé à 3.31 bits, indiquant que les principales espèces d'ennemis naturels capturés étaient bien diversifiées. L'indice a augmenté d'un mois à l'autre, atteignant un sommet en février, mars et avril, et une moyenne en décembre, janvier et mai. L'indice de Simpson montre que tous les mois étaient moyennement à riches en espèces, avec une forte valeur de 0.61 bits en janvier et mars. L'indice d'équitabilité a montré une forte tendance à l'équilibre entre les espèces d'un mois à l'autre, avec des valeurs comprises entre 0.78 et 0.96. Les espèces présentes dans le peuplement ont des abondances identiques dans les mois de décembre, février, avril et mai, selon les valeurs

de Hill/1-Hill qu'ils tendent vers 1, mais elles sont en déséquilibre où une seule espèce domine tout le peuplement dans les mois de janvier et mars, avec E tendant vers 0.

- Selon les sites

**Tableau II-10.** Indices de diversité des principaux ennemis naturels de *T.absoluta* dans les serres de tomates de Biskra selon les sites d'étude.

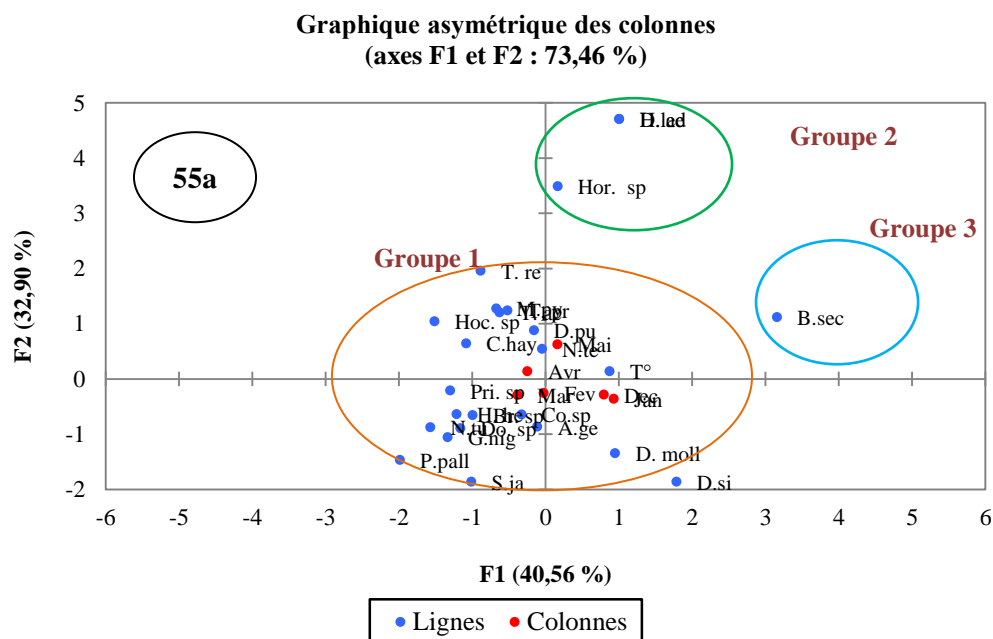
Indices	D	H'	E	Hill	1-Hill	IC
Site ABN	0.10	3.33	0.91	0.43	0.57	0.8
Site AlAlia	0.32	1.39	0.59	0.65	0.19	

Nous avons constaté une nette différence de diversité entre les serres des deux sites. Les indices de Simpson (D), de Shannon (H') et d'équitabilité (E) étaient plus élevés dans les serres du site rural (Ain Ben Noui), ce qui signifie que la richesse spécifique était plus abondante et homogène dans les serres de ce site que dans celles du site urbain (AlAlia). Un grand nombre d'espèces similaires (IC) était présent dans les deux habitats. Alors qu'il y a eu une augmentation de l'indice (1-Hill) due à la forte biodiversité actuelle dans les serres du site rural par rapport à celles du site urbain (Tableau II-10).

c. Analyses statistiques

- Analyse factorielle des correspondances (AFC)

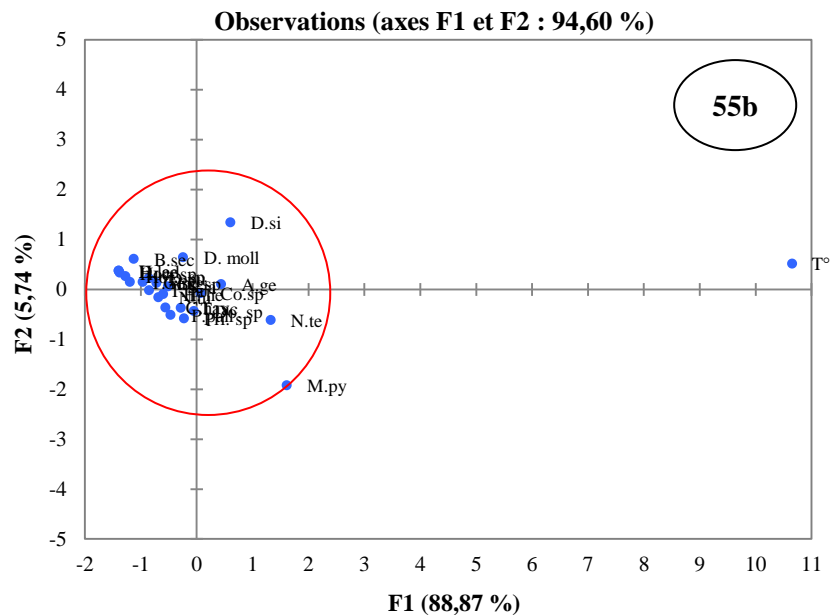
L'AFC résulte des réactions temporelles variables des principaux ennemis naturels de *T.absoluta*. Les prélèvements démontrent que la richesse, l'abondance et la disponibilité spécifique des espèces étaient appréciables tout au long du cycle de culture de la tomate. La liaison est également bien illustrée dans les groupes 1, 2 et 3 qui semblent présenter un comportement temporel distinct (Figure II-42a).



**Figure II-42. a.** Projection des principaux ennemis naturels de *T.absoluta* sur le plan principal F1x2 de l'AFC.

- **Analyse en composantes principales (ACP)**

Les différentes ennemis naturels associées à *T.absoluta* durant la période de capture ont été analysés et classifiés en fonction d'un seul critère de température. La figure II-42b montre que la majorité des espèces étaient au centre, avec une variance de  $r= 2.2$  dans les deux principaux axes (F1=88.87% et F2= 5.74%, respectivement), qui semblent avoir la même tendance thermique.

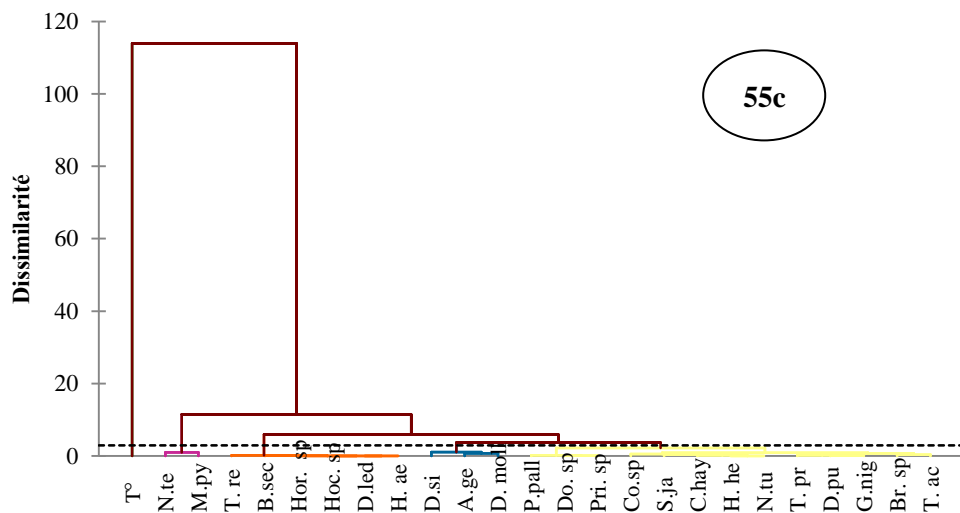


**Figure II-42. b.** Projection des effectifs des principaux ennemis naturels de *T.absoluta* trouvés sur le plan d'ordination F1xF2 de l'ACP.

- **Classification ascendante hiérarchique (CAH)**

D'après le graphe de l'AFC et de la CAH (Figures II-42a et II-42b) et sur la base d'une distance de 5, le cercle de corrélation montre la présence de plusieurs groupes, qui sont principalement :

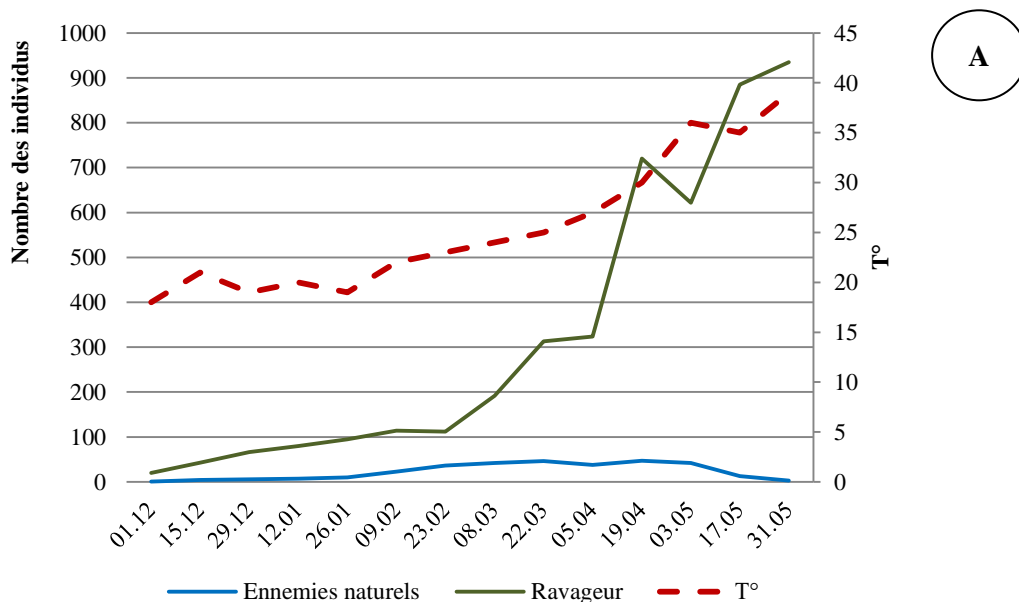
- Le groupe de *N.tenuis* et *M. pygmaeus* avec la première sortie T1.
- Le groupe *G.nigrifemur*, *Bracon sp*, *T. achaeae*; *T. pretiosum*, *D.pulchripes*; *N.tutae*; *Pristomerus sp*, *Cotesia sp*, *S.japonicus*, *C.haywardi*, *H. hebetor*; *P.pallidus*; *Dolichogenidea sp* avec les sorties T2, T3, T4, T5 et T6.
- Le groupe de *B.secundaria*, *Hockeria sp*, *T. remus* et *H. aenea* avec les sorties T7 et T8.
- Le groupe de *Horismenus sp*, *D.sibirica*, *A.gelechiidivoris* *D.ledicola* *D. molipla* avec les sorties T9, T10 et T 11.

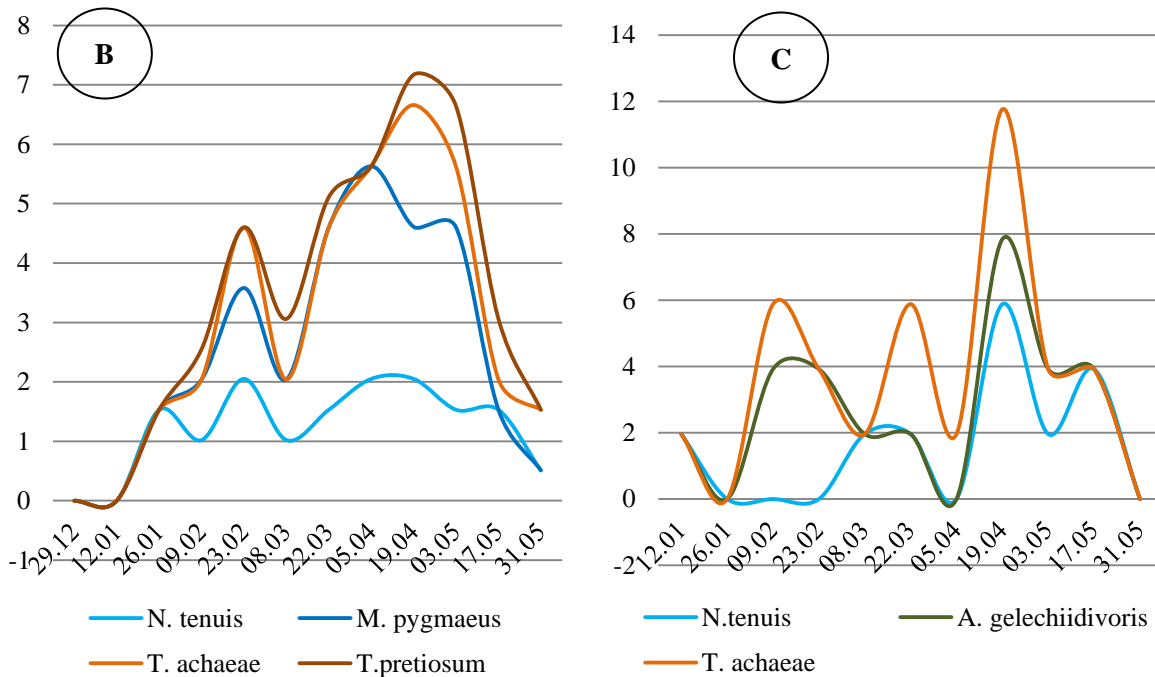


**Figure II-42.** c. Classification ascendante hiérarchique (CAH) des effectifs totaux des insectes trouvés de la première sortie (T1) à la deuxième sortie (T11).

- **Variations temporelles**

Les résultats recueillis révèlent des variations très remarquables de l'abondance de la population de *T. absoluta* et de son cortège d'auxiliaires en termes de la température (Figure II-43. A). Cela met en évidence la biodiversité fonctionnelle associée à cet agrosystème localisé (serre). De même, les deux courbes (Figure II-43B, Figure II-43C) montrent des fluctuations périodiques de *N. tenuis* ; *M. pygmaeus* ; *H.hebetor* ; *A.gelechiidivoris* ; *T. achaeae* et *T.pretiosum* dans les deux études en raison de leur forte densité, abondance et occurrence (C% =  $\geq 50\%$ ) qui ont été sélectionnées.





**Figure II-43.** Variations temporelles de *T. absoluta* et de ses principaux ennemis naturels (A) et de quelques espèces dans les deux sites d'étude (B). ABN. (C). AlAlia.

#### - Distributions spatiales

Les limites de l'analyse de distribution ( $I_a$ ) des principaux ennemis naturels étudiés indiquent que les variables étudiées ( $I_a > 1$  agrégé,  $I_a < 1$  régulier et  $I_a = 1$  aléatoire, Zhang et al. 2021) sont distribuées avec 20 espèces (soit 83.33%) représentant une distribution agrégée et les 4 espèces restantes (soit 16.67%) une distribution aléatoire (Tableau II-11).

**Tableau II-11.** Distribution spatiale des principaux ennemis naturels de *T. absoluta* (X : Moyenne ;  $S^2$  : variance ;  $I_a = S^2/X$ : indice de distribution).

Espèces	Ni	X	$S^2$	$I_a$	Distribution spatiale
<i>Dacnusa sibirica</i>	22	3.5	4.7	1.34	Agrégative
<i>Bracon sp</i>	9	1.5	3.9	2.6	Agrégative
<i>Habrobracon hebetor</i>	11	1.83	2.96	1.62	Agrégative
<i>Cotesia sp</i>	19	3.16	5.76	1.82	Agrégative
<i>Dolichogenidea (Apanteles) sp</i>	18	3	9.2	3.06	Agrégative
<i>Apanteles gelechiidivoris</i>	23	3.83	6.56	1.71	Agrégative
<i>Pristomerus pallidus</i>	13	2.16	12.56	5.81	Agrégative
<i>Pristomerus sp</i>	17	2.83	8.96	3.16	Agrégative
<i>Diadegma pulchripes</i>	8	1.33	1.86	1.39	Agrégative
<i>Diadegma ledicola</i>	1	0.16	0.16	1	Aléatoire
<i>Diadegma mollipla</i>	14	2.33	2.66	1.14	Agrégative
<i>Campoplex haywardi</i>	13	2.16	4.56	2.11	Agrégative
<i>Goniozus nigrifemur</i>	6	1	1.2	1.2	Agrégative
<i>Brachymeria secundaria</i>	4	0.66	0.66	1	Aléatoire
<i>Hockeria sp</i>	1	0.16	0.16	1	Aléatoire
<i>Telenomus remus</i>	4	0.66	1.46	2.21	Agrégative

<i>Stenomesus japonicus</i>	11	1.83	5.36	2.92	Agrégative
<i>Necremnus tutae</i>	10	1.66	3.86	2.32	Agrégative
<i>Horismenus sp</i>	3	0.5	0.7	1.4	Agrégative
<i>Halticoptera aenea</i>	1	0.16	0.16	1	Aléatoire
<i>Trichogramma achaeae</i>	17	2.83	7.76	2.74	Agrégative
<i>Trichogramma pretiosum</i>	9	1.5	2.7	1.8	Agrégative
<i>Nesidiocoris tenuis</i>	38	6.5	13.1	2.01	Agrégative
<i>Macrolophus pygmaeus</i>	46	7.66	50.66	6.61	Agrégative

### - Régression linéaire

L'analyse de la variance et le test F ont montré que le modèle de régression linéaire est significatif, avec un coefficient de détermination ( $R^2$ ) fiable dans les serres des deux sites. Ces résultats ont prouvé la corrélation (20%-31%) entre le nombre des ennemis naturels pour tous les différents niveaux de taux d'infestation et le facteur temps (évolution de l'infestation de *T.absoluta* sur les plantes de tomate au fil du temps). De plus, l'analyse statistique a révélé une association linéaire et une différence significative entre le niveau de population imaginaire des ennemis naturels et le taux d'infestation ( $R^2A=0.3136$ ,  $P=0.0001$ , et  $R^2B=0.2066$ ,  $P=0.0001$ ) dans les serres du site rural (Ain Ben Noui) et du site urbain (AlAlia), respectivement. Cela signifie que la présence de l'hôte (*T.absoluta*) stimule fortement la présence de ses ennemis naturels uniquement à certains points dans la région d'Ain Ben Noui (Figure II-44).

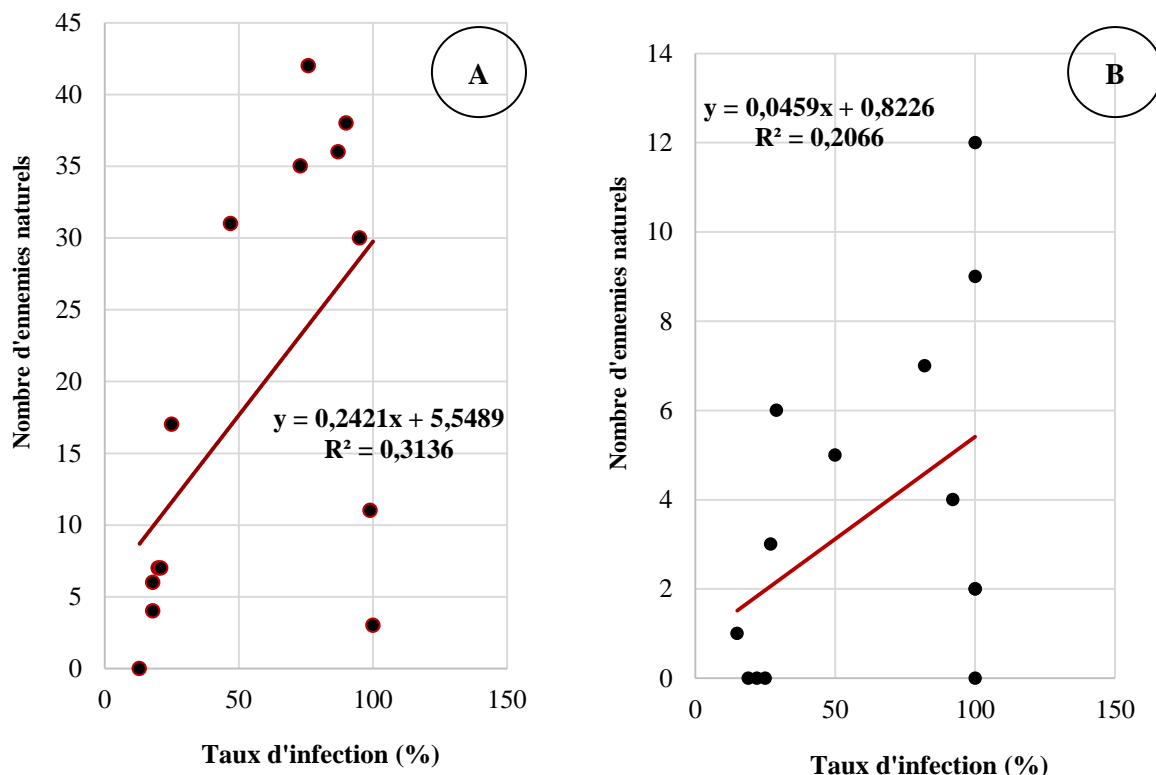


Figure II-44. Régressions entre le nombre d'ennemis naturels et le taux d'infestation dans les serres des sites ABN (A) et AlAlia (B).



### 3.6. Discussion

La valeur de la qualité de l'échantillonnage est proche de zéro (0.04) (Tab 12), ce qui montre que l'échantillonnage effectué est relativement de bonne qualité, et que l'inventaire a été réalisé avec une précision suffisante. Elle est moins importante que les résultats de Chennouf (2011) et ceux de Mahdi (2015). Dans le présent travail, les valeurs d'abondance relative illustrent la forte contribution des *N. tenuis* et *M.pygmaeus* (*Miridae*); *D. sibirica*, *Cotesia* sp, *A. gelechiidivoris*; *Dolichogenidea* (*Apanteles*) sp et *H. hebetor* (*Braconidae*); *D.mollipla*; *Pristomerus* sp; *D. pulchripes* et *C. haywardi* (*Ichneumonidae*); *T. achaeae* et *T. pretiosum* (*Trichogrammatidae*) avec une fréquence centésimale de 50% en raison de leur richesse et de leur densité les plus élevées. De même, KRID et al. (2015) ont signalé que les *Miridae* se classent premiers avec AR%= 49.2% et également Mollá et al. (2009) ont démontré que *N. tenuis* représentait 95.6% des prédateurs collectés et *Apanteles* sp (29.1%). Ces auteurs indiquent que la densité de ces espèces a augmenté vers la fin du cycle de culture, et leur présence en nombre important s'explique par le fait qu'ils sont de bons auxiliaires de culture utilisés dans les serres, et ils ont pu se multiplier dans ce milieu prospère.

Selon Krebs (1978), les captures des insectes utiles ont révélé leur diversité importante à moyenne dans les plants de tomates dans nos sites d'étude. Plusieurs auteurs ont rapporté cette diversité, comme l'étude de Lahmar (2008) à Staouali, qui a révélé une valeur de  $H' = 4.64$  et une valeur d'équitabilité de  $E = 0.86$ , et celle de Bissad et al. (2015) qui avait des valeurs similaires de  $E=0.91$  pour Ouargla, et de  $E=0.71$  pour la région de Hauraoua. L'indice de diversité de Hill allant de 0.97-1.07 a indiqué des différences remarquables dans la richesse spécifique des ennemis naturels collectés d'un mois à l'autre. La variation obtenue pourrait être attribuée aux différences de niveau de diversité qui se produisent dans l'agroécosystème des serres étudiées.

Les espèces réagissent de différentes manières au changement climatique, et la variation de la distribution et de l'abondance des espèces entraînent des changements inévitables dans les interactions intrinsèques et la structure des communautés (Loehman et al. 2017). La température a été citée comme un facteur majeur affectant les traits biologiques des insectes (Khaliq et al. 2014) et leur capacité à s'adapter au climat local. Il a été estimé qu'une augmentation de la température de 2°C seulement pourrait accélérer le développement de la plupart des insectes. Dans notre étude, le nombre d'insectes a fluctué tout au long de la saison de plantation, augmentant au printemps à des températures supérieures à 20°C, et les indices de diversité des arthropodes ont changé en conséquence. Sharma (2014) a montré que le réchauffement des serres améliore la diversité et l'activité des insectes parasitoïdes, ainsi que des prédateurs généralistes des communautés d'insectes, et que ces facteurs affectent directement la croissance de nombreux arthropodes. Campos et al. (2017) ont signalé que les basses températures ont un impact direct sur la disponibilité des œufs et les taux de croissance des larves et des pupes de l'hôte, ce qui entraîne une diminution du nombre d'auxiliaires tout au long de l'hiver, tandis que les bonnes températures stimulent la ponte des œufs et l'abondance des larves, favorisant ainsi la croissance des ennemis naturels en raison de la présence de l'hôte (*T.absoluta*) (Bacci et al.2018).

Cette étude a révélé des différences remarquables entre la population de *T.absoluta* et ses ennemis naturels, en particulier au début de l'évolution, car elle a besoin de suffisamment de

temps et d'énergie pour agir et trouver des hôtes afin de les attaquer ou de les désactiver (Chougar 2011). Pour cela, lorsque les populations de ravageurs sont abondantes dans les zones agricoles, la plupart des ennemis naturels ne réagissent pas assez rapidement pour limiter les dégâts (Hajek & Eilenberg 2018). Le risque maximal est constitué par la 1ère génération de *T.absoluta*, au tout début du printemps (Figure II-43). Les ennemis naturels les plus à même d'assurer cet effet précoce étaient ceux présents très tôt dans la parcelle et y ayant donc passé l'hiver. Nous avons caractérisé les espèces effectivement présentes au début de la génération *N. tenuis*, *D. sibirica*, *Bracon sp.*, *H.hebetor* et *S.japonicus*. Ehler (1998) a indiqué que les prédateurs généralistes mettent généralement moins de temps à s'adapter aux ravageurs exotiques que les parasitoïdes, et cela aurait pu être le cas pour *T.absoluta*. Leurs richesses spécifiques de communauté sont souvent influencées par des dynamiques environnementales indirectes comme la compétition et l'hyperparasitisme intraspécifique entre espèces (Heimpel & Mills 2017). Ces interactions peuvent libérer les herbivores de la pression de l'ennemi naturel et ainsi conduire à des épidémies ; dans de nombreux écosystèmes agricoles, les ennemis naturels seuls ne suffisent pas à contrôler les fortes populations de ravageurs, mais l'ajout de pesticides chimiques peut compléter le programme de protection agricole (Aigbedion-Atalor et al. 2019).

L'efficacité des prédateurs et des parasitoïdes dans la lutte biologique dépend de la synchronisation de leur cycle de vie avec celui du ravageur (Van Lenteren & Nicot 2020). Ainsi, ils se déplacent et consomment les ressources plus rapidement à mesure que les températures augmentent jusqu'à leurs extrêmes thermiques spécifiques à chaque espèce (Pernet & Charabidze 2015). Sur la base des résultats présentés dans la figure II-43, nous avons observé une diminution exponentielle de l'abondance des ennemis naturels après 30°C dans nos serres, dans laquelle Sharma (2014) a précédemment rapporté que la température affecte clairement le métabolisme chez les insectes, modifiant radicalement leur comportement et leur réponse physiologique aux interactions trophiques pour la prédation et le parasitisme. KRID et al. (2015) ont montré que les espèces prédatrices de *T. absoluta*, notamment celles de la famille des *Miridae*, étaient très actives dans l'Oasis de Ouargla entre 15°C et 28°C, tandis qu'Ounis (2017) a confirmé la présence d'une forte abondance de parasitoïdes *T.absoluta* pendant la saison printanière dans l'oasis de Biskra. Les données de terrain ont montré un schéma frappant dans le développement des ennemis naturels, mais leur abondance temporelle est presque absente à certaines périodes de l'année, ce qui signifie que les influences saisonnières jouent un rôle important dans la dynamique observée (Krechemer & Foerster 2019). De plus, Frago (2016) a expliqué que leur réponse numérique liée varie suivant que les prédateurs/parasitoïdes sont spécialisés ou généraux. Les espèces spécialistes répondent numériquement à la variation de la densité de sa proie et limitent les pics de pullulation. Les parasitoïdes évitent également les signaux des prédateurs et les intraguïdes parasitoïdes par les signaux chimiques qu'ils reçoivent, ce qui peut réduire leur efficacité (Strand 1986). Aigbedion-Atalor et al. (2019) ont montré une synergie efficace entre *N. tenuis* et *D. gelechiidivoris* pour réduire la densité de population *T. absoluta*, ce qui était évident entre *N. tenuis*, *M.pygmaeus*, *A. gelechiidivoris*, *T. achaeae* et *T. pretiosum* dans la zone d'étude. Selon Burel et al. (2008), les monocultures ont un nombre limité de catégories de consommateurs, ce qui explique la diversité similaire des ennemis naturels dans les serres, en raison de la pénurie

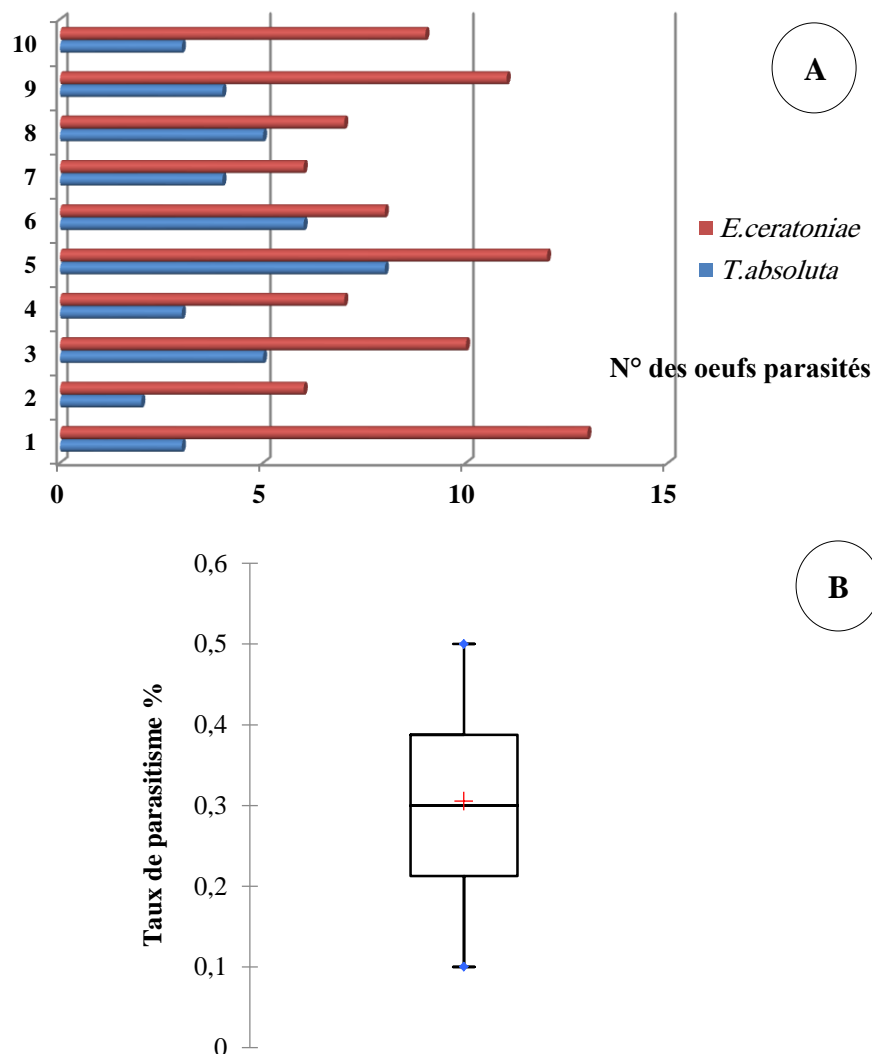
des ressources nutritives (Balzan & Moonen 2014), avec des effets négatifs sur les agents de bio-contrôle notamment vers la fin du cycle de culture.

De manière générale, multiples facteurs biotiques et abiotiques influencent les densités de population d'insectes, leurs conditions d'émergence, ainsi que les facteurs de persistance et d'adaptation aux milieux locaux, dans lesquelles les espèces des familles *Braconidae*, *Ichneumonidae*, *Bethylidae*, *Scelionidae*, *Eulophidae*, *Trichogrammatidae* et *Miridae* se distinguent par leur comportement social et leur tendance à former des groupes lorsque la distribution des ressources est agrégée, qui sont des facteurs importants pour améliorer l'efficacité des agents de lutte biologique et parvenir à un programme de lutte efficace basé sur ces parasitoïdes et prédateurs indigènes (Krechemer & Foerster 2017 ; Damien 2018). De plus, les valeurs de l'indice de la diversité ont varié entre les deux sites durant la période d'étude, et d'autant plus élevées que le milieu est peu perturbé, naturel et hétérogène (Bissad et al. 2015).

#### 4. Résultats de parasitisme de *Trichogramma pretiosum*

##### 4.1. Taux de parasitisme de *Trichogramma pretiosum*

La souche de *T. pretiosum* testée a accepté et parasité avec succès les œufs des hôtes cibles *T. absoluta* (hôte principal) et *E. ceratoniae* (hôte de substitution). Les résultats montrent des contacts variables avec les œufs selon les espèces (Figure 45A), et l'impact de la régulation naturelle sur les œufs de *T. absoluta* a été déterminé à partir d'une boîte à moustache qui montre, d'une part, la variation du nombre d'œufs parasités entre 0.1 et 0.4 comme des extrémités où nous n'avons pas de valeurs extrêmes, et d'autre part, il y a 25% des individus qui sont inférieurs à 0.2 comme taux de parasitisme, 50% de l'échantillon ne dépassent pas 0.3 comme taux de parasitisme, et le reste de 25% de l'échantillon dépasse 0.4 du taux de parasitisme, ce qui a donné en moyenne un taux de parasitisme de 0.305 ( $F=9.079$ ,  $d1=1$ ,  $P= 0.003$ ) [Annexe II -5] (Figure 45B).



**Figure II-45.** Taux de parasitisme ; A : Nombre de contacts par femelle parasitoïde *T. pretiosum* sur les œufs de *T. absoluta* et *E. ceratoniae* en 72h (20 observations/femelle au total). B : Boîte à moustaches indique un milieu (ligne continue), les moustaches montrent une plage de données et les signes représentent les contours. Différentes limites indiquent des différences significatives entre *T. pretiosum*. (+) : Moyenne de parasitisme.

## 4.2. Discussion

Les parasitoïdes trichogrammes, en tant qu'agents de lutte biologique, peuvent être produits rapidement et à moindre coût par rapport aux autres parasitoïdes, en raison de leur courte durée de génération et du fait qu'ils peuvent être facilement élevés sur des hôtes artificiels (Mansour et al. 2018). Cependant, le succès de leur parasitisme dépend de l'identification taxonomique de ces espèces. Récemment, des techniques moléculaires ont été développées pour résoudre le statut taxonomique de ces parasitoïdes (Zouba et al. 2013). D'après nos tests, ces espèces préfèrent d'élever sur les œufs de Lepidoptera *E. ceratoniae* en raison de la grande taille de l'hôte, ce qui a été confirmé par les études de Bai et al. (1992) et Greenberg et al. (1998). Pratisoli & Parra (2000) ont constaté la possibilité de développement et de reproduction du *T. pretiosum* élevé sur les œufs de *T. absoluta* à différentes températures, ils se sont bien développés à 23C°-25C° dans les conditions de laboratoire. Carneiro & Fernandes (2012) ont démontré que les femelles de parasitoïde oophage *T. pretiosum* étaient capables de reconnaître les œufs de l'hôte précédemment parasités par d'autres parasitoïdes, ils ont expliqué à la fois les interactions interspécifiques entre les deux espèces. Hassan (1994) rapporte que ce comportement peut être influencé par plusieurs facteurs, tels que : l'hôte, les conditions climatiques, le nombre d'insectes à lâcher, la densité de ravageurs, l'espèce et la souche du parasitoïde à utiliser, le moment et le nombre de lâchers, le mode de distribution, ainsi que la phénologie des plantes.

Au Brésil, ils ont été testés pour le contrôle de *T. absoluta*, mais n'ont pas montré suffisamment de succès (Alrubeai 2017). Faria et al. (2008) ont constaté que ce ravageur était parasité par le *T. pretiosum* jusqu'au 28% dans les cages contenant des plantes de tomates, et que le parasitisme se produisait principalement dans la partie supérieure des plantes, un taux moins élevé que celui que nous avons trouvé. Chailleux et al. (2013) ont signalé qu'environ 10% de suppression sur *T. absoluta* surviennent au stade de l'œuf en raison du parasitisme naturel de ce parasitoïdes. Ce faible taux s'explique en partie par le lâcher d'ennemis naturels, souvent suggéré comme l'une des raisons du succès des espèces envahissantes (Williamson & Fitter 1996). Les ravageurs exotiques rencontrent rarement des espèces de parasitoïdes indigènes très flexibles qui peuvent s'adapter et devenir des antagonistes importants, a expliqué Sylla (2018). En Amérique du Sud, seul le parasitoïde oophage *T. pretiosum* est utilisé sur moins de 1000 ha dans les cultures de tomates pour lutter contre *T. absoluta*. Bien que ce parasitoïde puisse attaquer et se reproduire sur ce ravageur, il doit être relâché en grand nombre et à intervalles réguliers pour obtenir un certain taux de suppression des ravageurs, car la densité de parasitoïdes est également dépendante de celle de leurs hôtes, afin d'obtenir une bonne qualité de reproduction et de progéniture lors du développement sur les œufs de *T. absoluta* (Holt & Lawton 1994), dans laquelle Barbault (2008) a ajouté l'agrégation comme facteur augmentant la dynamique des populations. Pratisoli et al. (2005) ont montré que la proportion de 16 parasitoïdes par œuf est la plus proche de l'idéal pour un lâcher dans des plantations commerciales de tomates tuteurées, visant à lutter contre l'oxyure de la tomate

En outre, des effets synergiques ou additifs similaires entre les parasitoïdes des œufs et les prédateurs omnivores généralistes de *T. absoluta* ont été signalés, et la combinaison des deux ennemis naturels s'est avérée plus efficace pour le contrôle de ce ravageur envers l'efficacité du prédateur seul, suggérant une interaction additive entre les deux ennemis

naturels (Aigbedion-Atalor et al. 2019). L'utilisation de plusieurs ennemis naturels est nécessaire pour contrôler ce ravageur dans les cas où ils démontrent des interactions synergiques ou additives dans les approches de lutte biologique. Le succès des approches biologiques dépend non seulement de la période et du nombre d'ennemis lâchés, mais aussi de leur qualité intrinsèque (activité, longévité et fécondité) (Dutton et al. 1996).

# CONCLUSION GÉNÉRALE

## CONCLUSION GÉNÉRALE

Le présent travail aura le mérite d'étudier de nouvelles approches biologiques pour la protection intégrée contre la mineuse de tomate *Tuta absoluta* sous serres dans la région de Biskra, en se concentrant sur le type d'agents du biocontrôle contre ce ravageur. À l'issue de cette contribution, les principaux résultats ainsi trouvés se résument comme suit :

Les résultats de la surveillance bioécologique de la population de *T. absoluta* menée dans ce travail signalent que l'insecte est présent tout au long du cycle végétatif de la culture (de décembre à juin), montrant ainsi son adaptabilité aux conditions contrôlées dans la région, ce qui prouve la nature envahissante de cette espèce. Le nombre d'adultes et l'abondance de différents stades de leur développement sont étroitement liés aux changements thermiques dans l'intervalle de 18°C à 40°C, avec la meilleure performance à 28°C, car le ravageur développe 3-4 générations successives au début de février, en mars-avril et à la fin de mai. Les femelles préfèrent pondre leurs œufs sur les feuilles médianes et apicales du cultivar sélectionné (Kawa), notant que cette variété hybride de tomate utilisée est sensible. Il y'a donc une nécessité de rechercher d'autres cultivars plus résistants à *T. absoluta* en Algérie. Nous avons également noté l'influence de la complexité structurelle des milieux sur le nombre total de mineuses, et par conséquent sur son taux d'infestation. Le travail met en évidence la capacité de ce ravageur à se développer sur divers hôtes secondaires sous différentes conditions climatiques, ces résultats soulignent le rôle de la structure entourant la culture dans la propagation de ce ravageur. Toutefois, la tomate reste son hôte principal préféré présentant un cycle de vie le plus court.

L'analyse systématique révèle 501 individus bénéfiques appartenant à 2 classes, 6 ordres, 19 familles et 37 espèces, avec une richesse spécifique chez l'ordre des hémiptères. L'approche fonctionnelle suggère que ces espèces inventoriées appartiennent à deux grandes catégories trophiques: les prédateurs (51.1%) et les parasitoïdes (48.9%). Une structuration trophique se manifeste graduellement au cours du temps ; par ordre d'arrivée, la population du ravageur *T. absoluta* est la première installée ; les ennemis naturels surviennent avec un faible taux de dominance. La prédation a été citée comme la principale cause de mortalité au début de la période de végétation, tandis que le parasitisme est plus important dans les étapes les plus avancées du développement de la culture, qu'il convient souvent de préserver et même de valoriser, compte tenu de son intérêt contre la mineuse de tomate.

Toutes les espèces sont représentées par cinq guildes de parasitoïdes et une guilde de prédateurs :

**a) Parasitoïdes des œufs :** *Trichogramma achaeae* et *Trichogramma pretiosum* (Hyménoptera : Trichogrammatidae).

**b) Parasitoïdes larvaires précoces :** endoparasitoïdes *Dolichogenidea (Apanteles) sp* et *Apanteles gelechiidivoris* (Syn.: *Dolichogenidea gelechiidivoris*) (Hyménoptera: Braconidae).

**c) Endoparasitoïdes larvaires :** *Cotesia sp* (Hyménoptera: Braconidae); *Pristomerus pallidus*, *Pristomerus sp*, *Diadegma pulchripes*, *Diadegma ledicola* et *Diadegma mollipla* (Hyménoptera: Ichneumonidae); *Hockeria sp*, *Brachymeria secundaria* et *Haltichella spinola* (Hyménoptera: Chalcididae) ; *Telenomus remus* (Hyménoptera: Scelionidae).



**d) Midlarval ectoparasitoïdes :** *Bracon sp*, *Habrobracon hebetor* et *Dacnusa sibirica* (Hyménoptera: Braconidae); *Stenomesus japonicus* Horismenus *sp* et *Necremnus tutae* (Hyménoptera:Eulophidae); *Archytas sp* (Diptera: Tachinidae); *Goniozus nigrifemur* (Hyménoptera: Bethyilidae).

**e) Larval/pupal parasitoïdes :** endoparasitoïdes *Halticoptera aenea* (Hyménoptera: Pteromalidae) et *Campoplex haywardi* (Hyménoptera: Ichneumonidae).

**f) Prédateurs :** *Tapinoma nigerrimum* (Hyménoptera: Formicidae); *Polistes carnifex* (Hyménoptera: Vespidae); *Nesidiocoris tenuis*, *Macrolophus pygmaeus* et *Deraeocoris punctulatus* (Heteroptera: Miridae); *Orius sp* (Hemiptera: Thripidae); *Lasiochilus sp* (Hemiptera: Anthocoridae); *Geocoris punctipes* (Hemiptera: Geocoridae). *Selenophorus sp* (Coleoptera: Carabidae); *Chilocorus politus* (Coleoptera : Coccinellidae); *Anthicus sp* (Coleoptera: Anthicidae). *Chrysoperla carnea* (Coleoptera: Chrysopidae) et *Salticidae sp* (Araneae: Salticidae).

La recherche approfondie sur le système trophique des espèces capturées révèle la découverte de 7 espèces nouvelles pour la région de Biskra et de 2 espèces nouvelles pour l'Algérie.

L'analyse structurelle de 24 principaux agents de biocontrôle associés à *T. absoluta* a donné un échantillonnage de bonne qualité ( $Q=0,04$ ). La richesse moyenne de ces agents varie en fonction des conditions thermiques ( $S_m= 0.85-6.28$ ), liées à des densités (D) variables selon les espèces. Les espèces *N. tenuis*, *D. sibirica*, *Cotesia sp*, *A. gelechiidivoris*, *Dolichogenidea (Apanteles) sp*, *D. mollipla* et *T. achaeae*, contribuent fortement (78,57% et 57,14%) dans l'inventaire. La plupart des espèces présentent une distribution agrégée, caractérisée par le comportement social des individus au sein des familles d'hémiptères et d'hémiptères, influencé en raison de la disponibilité des ressources. La diversité des espèces est plus élevée pendant la période printanière, montrant une adaptation aux variations saisonnières. Les indices de diversité montrent une régulation entre les espèces, avec une forte diversité des ressources alimentaires attirant et maximisant les régulations naturelles. Les facteurs de diversité varient temporellement, spatialement et individuellement, influencés par les variations thermiques. Les résultats des tests de biocontrôle montrent l'efficacité de *Trichogramma pretiosum* contre *T.absoluta* jusqu'à 30.5%, mais l'intégration d'autres méthodes de lutte est nécessaire.

En conclusion, l'étude souligne l'importance des ennemis naturels dans la régulation de *T.absoluta*, mettant en avant la nécessité de promouvoir des pratiques de lutte biologique pour un contrôle efficace de ce ravageur.

### Perspectives

En perspective, il serait important de lancer des études pour connaître le cycle biologique de quelques espèces auxiliaires les plus dominantes (parasitoïdes ou prédateurs), les cultures et les facteurs les plus adaptés à leur nutrition et à leur reproduction, afin de pouvoir les exploiter en lutte biologique et d'assurer les conditions de leur polarisation.

Il serait souhaitable d'encourager la gestion et l'aménagement des paysages et de biodiversité associés au milieu agricole pour accroître la richesse naturelle de l'agrosystème, notamment celles du secteur serres

Il serait nécessaire d'offrir les possibilités de recherche sur les produits du biocontrôle, et de faciliter son application sur le terrain, avec la réalisation des bilans technico-économiques pour identifier les problèmes auxquels sont confrontés les agriculteurs lors de l'application des techniques de protection biologique dans les cultures sous serre.

Il serait préférable de favoriser les partenariats à long terme entre les fournisseurs des produits de biocontrôle, et les serristes pour assurer un développement durable, à travers un programme national basé sur l'utilisation de ces produits dans les serres, piloté par un conseil scientifique et technique regroupant l'ensemble des financeurs et des opérateurs publics et professionnels.

RÉFÉRENCES  
BIBLIOGRAPHIQUES

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Ashmead W. H. 1894. Report on the parasitic Cynipidae, part of the Braconidae, the Ichneumonidae, the Proctotrypidae, and part of the Chalcididae. Part III. [Hymenoptera of the Island of St. Vincent]. *J. Linn. Soc. London. Zool.* 25: 188–254.
2. Ashmead W.H.1904. Descriptions of new Hymenoptera from Japan. II. *Journal of the New York Entomological Society* 12(3): 146–165.
3. Altieri M.A. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, ecosystems & environment* 74: 19–31.
4. Arnó J., Sorribas R., Prat M., Matas M., Pozo C., Rodríguez D., Garreta A., Gómez A., Gabarra R. 2009. *Tuta absoluta*, a new pest in IPM tomatoes in the northeast of Spain. *IOBC/WPRS Bull* 49:203–208.
5. Allache F., Houhou M-A., Osmane I. Naili L., Demnati F. 2012. Suivi de l'évolution de la population de *Tuta absoluta* Meyrick (Gelechiidae), un nouveau ravageur de la tomate sous serre à Biskra (sud-est d'Algérie). *Entomologie faunistique - Faunistic Entomology* 65 : 149–155.
6. Ait Kaki A. 2014. *Recherche de nouvelles potentialités de bactéries du genre Bacillus pour l'agriculture et l'agroalimentaire*. Université Constantine 1– Constantine, Thèse de doctorat, 30–115 p.
7. Ayachine-Ziri S. 2015. *Lutte intégrée contre Tuta absoluta (Meyrick, 1917) sur culture de tomate en plein champ*. Ecole Nationale Supérieure Agronomique– Alger, Thèse de doctorat, 63–123 p.
8. Allache F., Bouta Y., Demnati F. 2015. Population development of the tomato moth *Tuta absoluta* (Lepidoptera : Gelechiidae) in greenhouse tomato in Biskra, Algeria. *J.Crop Prot.* 4(4):509–517.
9. Abdelmaksoud M.M.E., El-Refai S.A., Rashwan R.S.A. 2016. Survey of parasitoids and predators of tomato leaf miner, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) in Egypt. *Arab universities journal of agricultural sciences* 24 (2): 547–553.
10. Aisso R., Komlan F., Aïssi M., Mensah A., Mohamed S. 2016. Profils morphologique, sensoriel et durée de conservation de nouvelles variétés de tomates introduites au Sud-Bénino. *Science et technique* 2 : 9–339.
11. Alili D. 2016. *Bioécologie de la mineuse de la tomate Tuta absoluta et recherche de méthodes de lutte*. Université de Blida 1– Blida, Thèse de Doctorat, 14–54 p.
12. Alrubeai H.F. 2017. Biological Control of Insect Pests in Iraq: 1) an Overview of Parasitoids and Predators Research Development. *Academic Journal of Entomology* 10(2): 10–18.
13. Amichi F. 2018. *Une agriculture transitoire au service d'une agriculture pérenne dans un front pionnier Saharien en Algérie. L'eldorado d'El Ghrouss*. Agriculture, économie et politique. AgroParisTech; Institut agronomique et vétérinaire Hassan II (Maroc), Thèse de Doctorat, 137 p.
14. Aigbedion-Atalor P. O., Hill M. P., Zalucki M. P., Obala F., Idriss G.E., Midingoyi S.K., Chidege M., Ekesi S., Mohamed S.A. 2019. The South America Tomato Leafminer, *Tuta absoluta* (Lepidoptera : Gelechiidae), Spreads Its Wings in Eastern Africa: Distribution and Socioeconomic Impacts. *Journal of Economic Entomology* 112(6): 2797–2807.
15. Allache F., Demnati F. 2020. Monitoring and population changes of *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) on tomato under greenhouse conditions in an arid expanse of south-eastern Algeria. *Acta agriculturae Slovenica* 115 (2): 409–416.
16. Alori E. T., Obianuju C. E., Bernard R. G. et Olubukola O.B. 2020. Plant–Archaea Relationships: A Potential Means to Improve Crop Production in Arid and Semi-Arid Regions. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 36 (9): 133.
17. Anonyme. 2020. *Cycle de vie d'un plant de tomate*. Parlons sciences. Consulté 18 octobre 2021, à l'adresse <https://parlonssciences.ca/ressources-pedagogiques/documents-dinformation/cycle-de-vie-dun-plant-de-tomate>
18. Assassi S., Daoudi A., Colin J.P. 2020. Quelle place pour les petits exploitants dans l'agriculture contractuelle ? Le cas de la tomate industrielle en Algérie. *Cahiers Agricultures* 29(26): 25002.
19. Abd El-Ghany N. M., Fauchaux M. J. 2021. Sensory structures on the larval antennae and mouthparts of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera : Gelechiidae). *Zoologischer Anzeiger* 294: 28– 38.
20. Arfa L., Elloumi M. 2021. La filière tomate de transformation à Haouaria en Tunisie : prédominance de la forme industrielle déterritorialisée. *Cahiers Agricultures* 30(31):10.
21. Atlas Big. 2021. Production mondiale de tomates par pays. Consulté 18 octobre 2021, à l'adresse <https://www.atlasbig.com/fr-fr/pays-par-production-de-tomates>
22. Blackwall J. 1841. The difference in the number of eyes with which spiders are provided proposed as the basis of their distribution into tribes; with descriptions of newly discovered species and the characters of a

- new family and three new genera of spiders. *Transactions of the Linnean Society of London* 18(4): 601–670.
23. Benkhelil M.L. 1991. *Les techniques de récolte et de piégeage utilisées en entomologieterrestrre*. Ed. OPU, Alger, 66 p.
  24. Bai B., Luck R.F., Forster B., Janssen J.A.M. 1992. The effect of host size on quality attributes of the egg parasitoid, *Trichogramma pretiosum*. *Entomol. Exp. Appl.* 64: 37–48.
  25. Boldt T.S., Jacobsen C.S. 2006. Different toxic effects of the sulfonylurea herbicides metsulfuron methyl, chlorsulfuron and thifensulfuron methyl on fluorescent Pseudomonads isolated from an agricultural soil. *FEMS Microbiology Letters* 161:29–35.
  26. Barbault R. 2008. *Écologie générale : structure et fonctionnement de la biosphère (Sixième édition revue et augmentée)*. Dunod, Paris, 390 p.
  27. Burel F., Garnier E., Amiaud B., Aulagnier S., Butet A., Chauvel B., ..., Villenave C. 2008. Chapitre 1. Les effets de l'agriculture sur la biodiversité. In: Le Roux X, Barbault R, Baudry J, Burel F, Doussan I, Garnier E, Herzog F, Lavorel S, Lifran R, Roger-Estrade J, Sarthou J-PMT (Eds.), *Agriculture et biodiversité. Valoriser les synergies*. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA (France), pp. 139–226.
  28. Boudjedjou L., Fenni M. 2011. Caractérisation de la flore adventice des cultures maraichères de la région de Jijel (Algérie). *Agriculture* 2: 24–32.
  29. Boualem M., Allaoui H., Hamadi R., Medjahed M. 2012. Biologie et complexe des ennemis naturels de *Tuta absoluta* à Mostaganem (Algérie). *European and Mediterranean Plant Protection Organization Bulletin* 42 (2): 268–274.
  30. Balzan M.V., Moonen A. 2014. Field margin vegetation enhances biological control and crop damage suppression from multiple pests in organic tomato fields. *The Netherlands Entomological Society Entomologia Experimentalis et Applicata* 150: 45–65.
  31. Bissad F.Z., Bounaceur F., Chebouti N., Behidji N., Merabet A. 2015. Diversité des arthropodes associés à la culture de tomate de plein champ dans la région de Zemouri (Wilaya de Boumerdes). *Revue agrobiologia* 6(1):75–85.
  32. Ba A., Cantoreggi N., Simos J., Duchemin É. 2016. Impacts sur la santé des pratiques des agriculteurs urbains à Dakar (Sénégal). *La revue électronique en sciences de l'environnement* 16(1):1–16.
  33. Bajracharya A.S.R., Mainali R.P., Bhat B., Bista S., Shashank P. R., Meshram N.M. 2016. The first record of South American tomato leaf miner, *Tuta absoluta* (Meyrick 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae) in Nepal. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 4(4):1359–1363.
  34. Broad G. R., Shaw M.R., Godfray H., Charles J. 2016. Checklist of British and Irish Hymenoptera - Braconidae. *Biodiversity Data Journal* 4: e 8151.
  35. Ball W.G.E. 2017. A taxonomic review of the Selenophori group (Coleoptera, Carabidae, Harpalini) in the West Indies, with descriptions of new species and notes about classification and biogeography. *ZooKeys* 690: 1–195.
  36. Bacci L., Ézio M.S., Gerson A.S., da Silva L.J. 2018. Natural mortality factors of tomato leafminer *Tuta absoluta* in open-field tomato crops in South America. *Pest Management Science* 75(3): 736–743.
  37. Badaoui M. 2018. *Contribution à l'étude de la dynamique des populations de Tuta absoluta Meyrick (Lepidoptera; Gelechiidae) et essais de contrôle biologique sur la culture de tomate*. Université Abdelhamid Ibn Badis– Mostaganem, Thèse de Doctorat, 139 p.
  38. Bensaha H., Benseddik A., Lalmi D., Kherrou S. 2019. Sanitary assessment of an agricultural greenhouse equipped with thermal storage system in the Ghardaïa Region. *AIP Conference Proceedings* 26(4): 020096-5.
  39. Biondi A., Desneux N. 2019. Special issue on *Tuta absoluta*: recent advances in management methods against the background of an ongoing worldwide invasion. *Journal of Pest Science* 92(4): 1313–1315.
  40. Brévault T., Clouvel P. 2019. Pest management: Reconciling farming practices and natural regulations. *Crop Protection* 115: 1–6.
  41. Bellouche O. 2020. *Etude toxicologique de deux pesticides récemment utilisés à Bordj Bou Arreridj*. Université de Bordj Bou Arreridj, Algérie, Thèse de Doctorat, 200 p.
  42. Baldi I., Botton J., Cécile C., Xavier C., Elbaz A., et al. 2021. *Pesticides et effets sur la santé : Nouvelles données. Report, Institut national de la santé et de la recherche médicale (INSERM)*. Inserm : Editions EDP Sciences, Paris, 1009 p.
  43. Cornet A. 1975. *Principales adventices des cultures arrosées de contre saison*. Dakar : ORSTOM, 24 p.
  44. Caussanel J.P. 1989. Nuisibilité et seuils de nuisibilité des mauvaises herbes dans une culture annuelle : situation de concurrence bispécifique. *Agronomie* 9(3): 219–40.

45. Claude C., Claude F. 1994. *Production légumières, tome 3 : légumineuses potagères, légumes fruits*. Tec & Doc - Lavoisier, Paris, 214 p.
46. Cabello T., Gallego J.R., Vila E., Soler A., del Pino M., Carnero A., Hernandez S., Polaszek A. 2009. Biological control of the South American tomato pinworm. *Tuta absoluta* (Lep.: Gelechiidae), with releases of *Trichogramma achaeae* (Hym.:Trichogrammatidae) in tomato greenhouses of Spain. *IOBC/WPRS Bull* 49:225–230.
47. CTB. 2009. L'agriculture bio dans les pays du Sud : une opportunité de développement durable. fSource : [http://www.befair.be/sites/default/files/allfiles/brochure/Brochure\\_bio%5B1%5D.pdf](http://www.befair.be/sites/default/files/allfiles/brochure/Brochure_bio%5B1%5D.pdf). Accessed January 2021.
48. Chennouf R. 2011. *Diversité entomofaunistique associée à la tomate et étude de Tuta absoluta Meyrick (Lepidoptera, Gelechiidae) dans la région d'Ouargla (Hassi Ben Abdallah)*. École Nationale Supérieure Agronomique– El Harrach, Thèse de Magister, 30–76 p.
49. Chougar S. 2011. *Bioécologie de la mineuse de la tomate Tuta absoluta (MEYRICK, 1917) (Lepidoptera : Gelechiidae) sur trois variétés de tomate sous serre (Zahra, Dawson et Tavira) dans la wilaya de Tizi-Ouzou*. Thèse de Magister, Université Mouloud MAMMERI–Tizi-Ouzou, 91–140p.
50. Carneiro T.R, Fernandes O.A.2012. Interspecific interaction between *Telenomus remus* (Hymenoptera: Platygasteridae) and *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) on *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) eggs. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 84(4): 1127–1135.
51. CE. 2012. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:154:0012:0019:FR:PDF>. Accessed January 2021
52. Chailleux A., Bearez P., Pizzol J., Amiens-Desneux E., RamirezRomero R., Desneux N. 2013. Potential for combined use of parasitoids and generalist predators for biological control of the key invasive tomato pest, *Tuta absoluta*. *J Pest Sci* 86:533–541.
53. Chittaro Y., Sanchez A., Blanc M., Monnerat C.2013. Coléoptères capturés en Suisse par pièges attractifs aériens: bilan après trois années et discussion de la méthode. *ENTOMO H ELVETICA* 6: 101–113.
54. Carpintero D.L. 2014. Western Hemisphere Lasiochilinae (Hemiptera: Heteroptera: Anthocoridae) with comments on some extralimital species and some considerations on suprageneric relationships. *Zootaxa* 1–87: 50–53.
55. Campos F., Frese M., Goldstein M., Iacovone L., Johnson H. C., McKenzie D., Mensmann M. 2017. From the Western Palaearctic region to beyond: *Tuta absoluta* ten years after invading Europe. *J. Pest Sci.* 90: 787–796.
56. Campetella M. 2018. L'horticulture et le jardinage en France et en Italie au xvie siècle : le cas des manuels de techniques horticoles de Charles Estienne (1536) et des traductions italiennes de Pietro Lauro (1545). *Cahiers d'études italiennes* 27(1):145. DOI: <https://doi.org/10.4000/cei.5174>
57. Cherif A. 2018. *The tomato leafminer Tuta absoluta (Lepidoptera: Gelechiidae): Biological, ecological parameters and control alternatives*. National Agronomic Institute of Tunisia (INAT), Carthage –Tunisia, Thèse de Doctorat, 100 p. (in French).
58. Costa J. M. 2018. The global tomato industry. In: Heuvelink E (eds) *Tomatoes*, 1–26.
59. Dautrebande S., Polarski M., Dewalsche J. 1990. Essais de mobilité des pesticides dans les sols agricoles. *Journal of Hydrology* 117(1–4): 301–321.
60. Dutton D.G., Starzomski A., Ryan L. 1996. Antecedents of Abusive Personality and Abusive Behavior in Wife Assaulters. *Journal of Family Violence* 11(2):113–132.
61. Desneux N., Wajnberg E., Wyckhuys K. A. G., Burgio G., Arpaia S., Narváez-Vasquez C. A., González-Cabrera J., Ruescas D. C., Tabone E., Frandon J., Pizzol J, Poncet C., Cabello T., Urbaneja A. 2010. Biological invasion of European tomato crops by *Tuta absoluta*: ecology, geographic expansion and prospects for biological control. *Journal of Pest Science* 83: 197–215.
62. Debras J-F., Mouret H.2013. Biodiversité végétale et richesse en arthropodes. In: 208.Sauvion N., Calatayud P.A., Thiéry D., Marion-Poll F. (Eds.), *Interactions insectes-plantes*. Edition Quae, France, pp. 197–215.
63. Diop A. 2013. *Diagnostic des pratiques d'utilisation et quantification des pesticides dans la zone des Niayes de Dakar (Sénégal)*. Université du Littoral Côte d'Opale – Sénégal, Thèse de Doctorat, 16–85 p.
64. Dobignard A., Chatelain C. 2010–2013. *Index synonymique flore d'Afrique du Nord, Conservatoire et jardin botaniques*. Éditions des conservatoires et jardin botaniques, Genève, 452 p.
65. Dehliz A. 2016. *Etude des potentialités des entomophages autochtones en vie de lutter contre le nouveau ravageur de la tomate Tuta absoluta (Meyrick) (Lep : Gelechidae) dans la région du sud-est algérien*. Université Abdelhamid Ibn Badis– Mostaganem. Thèse de Doctorat, 140 p.
66. Dale-Skey N., Askew R. R., Noyes J. S., Livermore L., Broad G.R. 2016. Checklist of British and Irish Hymenoptera - Chalcidoidea and Mymarommatoidea. *Biodiversity Data Journal* 4: 8013–8013.

67. Decourtye A., Vidau C., Rollin O., Requier F., Rüger C., Allier F., Le Féon V., Kretzschmar A., Devillers J., Henry M., Odoux J-F. 2016. Fréquentation des cultures par les abeilles mellifères et sauvages : synthèse des connaissances pour réduire le risque d'intoxication aux pesticides. *Cahiers Agricultures* 25(4): 44001.
68. Deghiche-Diab N., Deghiche L. 2016. *Flore spontanée des Oasis des Ziban*. Editions: Universitaires Européennes, 316 p.
69. Drouai H., Mimeche F., Abdelghani Z., Mimeche H., Belhamra M., Biche M. 2016. New floristic records of *Tuta absoluta* Meyrick 1917, in Zibans's Oasis (Biskra Algeria). *Journal of Entomology and Zoology Studies* 4(6): 130–132.
70. Damien M. 2018. *Favoriser Les Ennemis Naturels De Ravageurs Par La Diversité Végétale Dans Un Contexte Hivernal*. Université de Rennes 1, Thèse de Doctorat, Rennes –France, 70–143 p.
71. Dehliz A., Lakhdari W., Acheuk F. 2018. Euphorbia guyoniana aqueous extract efficiency against tomato leaf miner in southern East Algeria. *Organic Agriculture* 8(2): 349–354.
72. Didi F. 2018. *Optimisation de la gestion du microclimat de la serre par l'introduction de l'intelligence artificielle*. Université Abou-Bekr Belkaid –Tlemcen, Thèse de Doctorat, 32–125 p.
73. DSA. 2020. Direction des statistiques agricoles, Biskra, Algérie.
74. Decrouy A. 2021. Composition d'une fleur et leur FONCTION. <https://www.projetecolo.com/composition-d-une-fleur-les-differentes-parties-d-une-fleur-192.html>
75. Ehler L.E. 1998. Conservation biological control: past, present, and future. In: Barbosa P.A., ed. *Conservation biological control*. New York, NY, USA: Academic Press, 1–8.
76. FAO. 2002. International Code of Conduct on the Distribution and Use of Pesticides. Source: <http://www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/AGRICULT/AGP/AGPP/Pesticid/Code/Download/code.pdf> . <http://faostat.fao.org/> Accessed January 2023
77. EPPO. 2007. Distribution Maps of Quarantine Pests for Europe: *Tuta absoluta*. European and Mediterranean Plant Protection Organisation. Disponible sur Internet (02/11/2022) [[http://www.appo.org/quarantine/insects/Tuta\\_absoluta/DSGNORAB\\_Map.htm](http://www.appo.org/quarantine/insects/Tuta_absoluta/DSGNORAB_Map.htm):1-2].
78. EPA. 2009. Environmental Protection Agency des États-Unis. <https://www.nature.com/scitable/content/global-warming-causes-and-effects-epa-2009-94989120/>
79. Elouissi M. 2016. *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*. Université Abdelhamid Ibn Badis –MOSTAGANEM, Thèse de Doctorat, 113 p.
80. Ercolano M. R., Di Matteo A., Andolfo G., Frusciante L. 2021. The Wild Genetic Resources of Tomato : A Reservoir of Useful Genes for the Future. In D. Carputo, R. Aversano, & M. R. Ercolano (Éds.), *The Wild Solanums Genomes*, Springer International Publishing, 35–49 p.
81. Finlayson's. 1975. Key to genera of Campopleginae. (Finlayson, T. 1975. The cephalic structures and spiracles of finalinstar larvae of the subfamily Campopleginae, tribe Campoplegini (Hymenoptera: Ichneumonidae). *Mem. Ent. Soc. Can.* 94: 1–137.
82. Faria C.A., Torres J.B., Fernandes A.M.V., Farias A.M.I. 2008. Parasitism of *Tuta absoluta* in tomato plants by *Trichogramma pretiosum* Riley in response to host density and plant structures. *Ciência Rural* 38: 1504–1509.
83. FAO. 2011. World Food Situation: FAO Food Price Index (<http://www.fao.org/worldfoodsituation/wfs-home/foodpricesindex/en/>) Accessed 16/03/2020.
84. Frago E. 2016. Interactions between parasitoids and higher order natural enemies: intraguild predation and hyperparasitoids. *Current Opinion in Insect Science* 14:81–86.
85. Fiaboe K., Fernández-Triana J., Nyamu F., Agbodzavu K. 2017. *Cotesia icipe* sp. n., a new Microgastrinae wasp (Hymenoptera, Braconidae) of importance in the biological control of Lepidopteran pests in Africa. *Journal of Hymenoptera Research* 61: 49–64.
86. Felipe-Victoriano M., Talamas E.J., Sánchez-Peña S.R. 2019. Scelionidae (Hymenoptera) parasitizing eggs of *Bagrada hilaris* (Hemiptera: Pentatomidae) in Mexico. In: Talamas E (Eds) *Advances in the Systematics of Platygastroidea II*. *Journal of Hymenoptera Research* 73: 143–152.
87. Ferracini C., Bueno V.H.P., Dindo M.L., Ingegno B.L., Luna M.G., Salas Gervassio N. G., Sánchez N. E., Siscaro G., van Lenteren J. C., Zappalà L., Tavella L. 2019. Natural enemies of *Tuta absoluta* in the mediterranean basin, Europe and South America. *Biocontrol Science and Technology* 29(6): 578–609.
88. Fagan-Jeffries E. P., Andrew D.A. 2020. Synopsis of the parasitoid wasp genus *Cotesia* Cameron, 1891 (Hymenoptera: Braconidae: Microgastrinae) in Australia, with the description of seven new species. *European Journal of Taxonomy* 667: 1–70.
89. FAO. 2020. Comité de l'Agriculture » [archive], sur [fao.org](http://fao.org) (consulté le 15 janvier 2021)

90. Fauvergue X., Rusch A., Barret M., Bardin M., Jacquin-Joly E., Malausa T., Lannou C. 2020. *Biocontrôle : éléments pour une protection agroécologique des cultures*. Versailles (France) : Quae, 375 p.
91. Gaussen H., Leroy J. F. Ozenda P. 1982. *Précis de Botanique Tome 2. Végétaux Supérieurs*. Edition Masson, 579 p.
92. Greenberg S.M., Nordlund D.A., Wu Z. 1998. Influence of rearing host on adult size and oviposition behavior of mass produced female *Trichogramma minutum* Riley and *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Biol. Control* 11 : 43-48.
93. Grall J., Coïc N. 2005. *Synthèse des méthodes d'évaluation de la qualité du benthos en milieu côtier*. Rebert, Bretagne, 48– 90 p.
94. Guenaoui Y. 2008. Nouveau ravageur de la tomate en Algérie: Première observation de *Tuta absoluta*, mineuse de la tomate invasive, dans la région de Mostaganem, au printemps 2008. *Phytoma-La Défense des Végétaux* 617: 18–19.
95. Gacemi A., Guénaoui Y. 2012. Efficacy of Emamectin Benzoate on *Tuta absoluta* Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae) Infesting a Protected Tomato Crop in Algeria. *Academic Journal of Entomology* 5(1): 37–40.
96. Gabarra R., Arnó J., Lara L., Verdú M. J., Ribes A., Beitia F., Urbaneja A., Téllez M. del M., Mollá O., Riudavets J. 2014. Native parasitoids associated with *Tuta absoluta* in the tomato production areas of the Spanish Mediterranean Coast. *BioControl* 59:45–54.
97. Ghoneim K. 2014. Predatory insects and arachnids as potential biological control agents against the invasive tomato leafminer, *Tuta absoluta* Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae), in perspective and prospective. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 2(2): 52–71.
98. Gómez-Valderrama J., Herrera L., Uribe-Vélez D., López-Ferber M., Villamizar L. 2014. An immunological method for granulovirus detection in larvae of *Tuta absoluta* : Searching for isolates with prospects for biological control of this pest in Colombia. *International Journal of Pest Management* 60(2): 136–143.
99. Guillemaud T., Blin A., Le Goff I., Desneux N., Reyes M., Tabone E., Tsagkarakou A., Niño L., Lombaert E. 2015. The tomato borer, *Tuta absoluta*, invading the Mediterranean Basin, originates from a single introduction from Central Chile. *Sci Rep* 5:8371.
100. Ghelamallah A. 2016. *Etude des pucerons des cultures maraîchères et leurs complexes parasitaires dans la région de Mostaganem (Nord Ouest Algérien)*. Université Abdelhamid Ibn Badis– Mostaganem. Thèse de Doctorat, 119 p.
101. Gurr G.M., Wratten S.D., Landis D.A., You M. 2017. Habitat Management to Suppress Pest Populations: Progress and Prospects. *Annual Review of Entomology* 62: 91–109.
102. Gilles F., Raffard P. 2018. Atlas de l'alimentation (CNRS Editions). <https://www.cnrseditions.fr/catalogue/geographie-territoires/atlas-de-l-alimentation/>
103. Gontijo L., Cascone P., Giorgini M., Michelozzi M., Rodrigues H. S., Spiezia G., Iodice L., Guerrieri E. 2019. Relative importance of host and plant semiochemicals in the foraging behavior of *Trichogramma achaeae*, an egg parasitoid of *Tuta absoluta*. *Journal of Pest Science* 92:1479–1488.
104. González-Chang M., Tiwari S., Sharma S.; Wratten S.D. 2019. Habitat Management for Pest Management: Limitations and Prospects. *Annals of the Entomological Society of America* 112(4): 1–16.
105. Gaudiaut T. 2020. Infographie : La production de plastique dans le monde.
106. Statista Infographies. <https://fr.statista.com/infographie/21889/repartition-production-mondiale-de-plastique-par-pays-region/>
107. Ghaderi S., Fathipour Y., Mirhosseini M. A., Asgari S. 2020. Field-based thermal requirements study to improve *Tuta absoluta* (Lepidoptera : Gelechiidae) management. *Journal of Crop Protection* 9(4): 591–599.
108. Gheraissa D., Askri A. 2020. *Enquête sur la situation de la tomate dans la région d'El-Oued*. Université d'Eloued– Algérie, Thèse de Magister, 102 p.
109. Girardeau A. 2021. Après la COP26, de multiples rendez-vous pour la protection de la planète. [archive], sur [www.liberation.fr](http://www.liberation.fr), 15 novembre 2021 (consulté le 16 novembre 2021).
110. Holt R.D., Lawton J.H. 1994. The ecological consequences of shredd natural enemies. *Annual Review of Ecology and Systematics* 25: 495–520.
111. Haubruge E., Amichot M. 1998. Les mécanismes responsables de la résistance aux insecticides chez les insectes et les acariens. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2(3): 161–174.
112. Howard R. W., BAKER J. E. 2003. Morphology and chemistry of Dufour glands in four ectoparasitoids: *Cephalonomia tarsalis*, *C. Waterstoni* (Hymenoptera Bethyilidae), *Anisopteromalus calandrae*, and *Pteromalus cerealellae* (Hymenoptera: Pteromalidae). *Comp. Biochem. Physiol. (B)* 135: 153–167.



113. Hassan S.A. 1994. Strategies to select Trichogramma species for use in biological control. In: WAJNBERG, E.; HASSAN, S.A. (Ed.). *Biological control with egg parasitoids*. Wallingford: CAB International, cap. 3, p. 55–71.
114. Heuvelink E., Dorais M. 2005. *Crop growth and yield*. In PE&RC (eds) *Tomatoes* Publisher CAB International, Wallingford, pp. 85–144.
115. Harrat A., Moussi A. 2007. Inventory of locust fauna in two biotopes in eastern Algeria. *Sciences & technologie C. Biotechnologies* 26(4): 99–105 [In French].
116. Hansson C. 2009. Eulophidae of Costa Rica 3: Genus Horismenus. *Memoirs of the American Entomological Institute* 82: 1–916.
117. Herth A. 2011. Le bio-contrôle pour la protection des cultures : 15 recommandations pour soutenir les technologies vertes. <http://agriculture.gouv.fr/ministere/le-bio-controle-pour-la-protection-des-cultures-15-recommandationspour-soutenir-les> (consulté en avril 2016)
118. Heimpel G.E., Mills N.J. 2017. *Biological control: ecology and applications*. 1st ed. Cambridge University Press.
119. Hajek A.E., Eilenberg J. 2018. *Natural enemies: an introduction to biological control*. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press.
120. INPV. 2015. *Index des produits phytosanitaires à usage agricole* (3). 216 p.
121. Isidore Y. 2019. Risques de pertes post-récoltes et modes endogènes de conservation des produits maraîchers à Parakou (nord du Bénin). *Revue Espace géographique et société Marocaine* 27(4) : 209.
122. IBMA. 2020. <https://www.ibmafrance.com/biocontrole/>
123. Ismoilov K., Wang M., Jalilov A., Zhang X., Lu Z., Saidov A., Sun X., Han P. 2020. First report using a native Lacewing species to control *Tuta Absoluta*: from laboratory trials to field assessment. *Insects* 11(5): 286.
124. IOBC. 2021. International organisation for Biological Control. <https://www.iobc-global.org/>
125. Jaenicke F. 1867. Neue exotische Dipteren. *Abhandlungen der Senckenbergischen Naturforschenden Gesellschaft* 6: 311–408.
126. Jafarlu M., Karimpour Y., Lotfalizadeh H. 2021. Review of the genus Necremnus Thomson, 1878 (Hymenoptera: Eulophidae) in Iran. *J. Crop Prot.* 10(4): 787–797.
127. Krebs C.J. 1978. *Ecology: Experimental analysis of distribution and abundance*. 2nd ed. Harper & row publishers, New York, USA.
128. Khachai S. 2001. *Contribution à l'étude du comportement hydrophysique des sols des périmètres d'ITDAS, plaine de l'Outaya*, Université Mohamed Khider– Biskra, Thèse de Magister, 133p.
129. koudjil M., Boukabcha F., Harichane H. 2014. Perte en rendement et déprédation par la mineuse, *Tuta absoluta* (Lepidoptera, Gelechiidae) sur la culture de tomate, dans la wilaya de Chlef (Algérie). *Nature et technologie (B) Sciences agronomiques et biologique* 12: 73–85.
130. Khaliq A., Javed M., Sohail M., Sagheer M. 2014. Environmental effects on insects and their population dynamics. *J Entomol Zool Stud* 2(2): 1–7.
131. KRID K., MESSATI S., IDDER-IGHILI H., IDDER MA. 2015. *La Lutte Variétale Contre La Mineuse De La Tomate Tuta Absoluta (Meyrick) (Lepidoptera:Gelechiidae) Sous Abris Plastique A L'itdas De Hassi Ben Abdallah Ouargla*. Université Kasdi Merbah Ouargla, Thèse de Doctorat, 68 p.
132. Krechmer F. S., Foerster L. A. 2017. Development, Reproduction, Survival, and Demographic Patterns of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera : Gelechiidae) on Different Commercial Tomato Cultivars. *Neotropical Entomology* 46(6): 694–700.
133. Khiari A. 2018. Systèmes oasiens traditionnels, entre pérennité et abandon. Les Cahiers d'EMAM. *Études sur le Monde Arabe et la Méditerranée* 30(30).
134. Krechmer F.S., Foerster L.A. 2019. Influence of biotic and abiotic factors on the population fluctuation of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) in an organic tomato farming. *International Journal of Tropical Insect Science* 40(1):1–10.
135. Komivi S. A., Sevgan S., Fathiya M. K., Sunday E., Samira. A. M. 2020. Entomopathogenic fungus isolates for adult *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) management and their compatibility with Tuta pheromone. *J Appl Entomol* 144(9) 1–11.
136. Karkanis A. C., Athanassiou C. G. 2021. Natural insecticides from native plants of the Mediterranean basin and their activity for the control of major insect pests in vegetable crops : Shifting from the past to the future. *Journal of Pest Science* 94(2): 187– 202.
137. Lahmar R. 2008. *Entomofaune de quelques cultures maraîchères sous serre Inventaire et caractérisations (Hassi Ben Abdallah-Ouargla)*. Thèse ingénieur d'état, Université de Ouargla, 129 p.

138. Lambert N. 2010. *LUTTE BIOLOGIQUE AUX RAVAEURS : APPLICABILITÉ AU QUÉBEC*. Centre Universitaire de Formation en Environnement Université Sherbrooke, Québec –Canada. l'obtention du grade de maître en environnement (M. Env.), 30 pp.
139. Luna M. G., Sanchez N.E., Pereyra P. C., Nieves E., Savino V., Luft E., Virla E., Speranza S. 2012. Biological control of *Tuta absoluta* in Argentina and Italy: evaluation of indigenous insects as natural enemies. *EPPO Bulletin* 42(2): 260–267.
140. Loehman R.A., Keane R.E., Holsinger L.M., Wu Z. 2017. Interactions of landscape disturbances and climate change dictate ecological pattern and process: spatial modeling of wild- fire, insect, and disease dynamics under future climates. *Landscape Ecol* 32:1447–1459.
141. Lubello P., Falque A., Temri L. 2017. *Systèmes agroalimentaires en transition*. Éditions Quæ, France, 184 p.
142. Li W., Huo L., Wang D., Ahrens D., Wang X. 2018. Contribution to the genus *Chilocorus* Leach, 1815 (Coleoptera: Coccinellidae: Chilocorini), with descriptions of two new species from China. *European Journal of Taxonomy* 469: 1–34.
143. Martinez-Cascales J. I., Cenis J. L., Cassis G., Sanchez J. A. 1839. Species identity of *Macrolophus melanotoma* (Costa 1853) and *Macrolophus pygmaeus* (Rambur 1839) (Insecta: Heteroptera: Miridae) based on morphological and molecular data and bionomic implications. *Insect Syst. Evol.* 37: 385–404.
144. Mills N.J. 1992. Parasitoid guilds, life-styles and host ranges in the parasitoid complexes of tortricoid hosts. *Environmental Entomology* 21: 230–239.
145. Memmott J. 1999. The Structure of a Plant-Pollinator Food Web. *Ecology Letters* 2: 276–280.
146. Mbengue M.M. 2001. La Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants. *L'Observateur des Nations Unies* 11: 67–87.
147. Mäder P., Fliebbach A., Dubois D., Gunst L., Fried P., Niggli U. 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science* 296: 1694–1697.
148. Mediouni J., Dhouibi M. 2007. Mass-rearing and field performance of irradiated carob moth *Ectomyelois ceratoniae* in Tunisia. In: Vreysen M.J.B., Robinson A.S. & Hendrichs J. (Eds.), *Area-wide Control of Insect Pests*, Springer, Dordrecht, 265–273 p.
149. Mollá O., Monton H., Vanaclocha P., Beitia F., Urbaneja A. 2009. Predation by the mirids *Nesidiocoris tenuis* and *Macrolophus pygmaeus* on the tomato borer *Tuta absoluta*. *IOBC/WPRS Bull.* 49: 209–214.
150. Montserrat-Delgado A. 2009. *La polilla del tomate "Tuta absoluta" en la región de Murcia: Bases para su control*. Técnica 34, Conejaria de Agricultura y Agua, Region de Murcia, Espana, 112 p.
151. Meddour R. 2011. *La méthode phytosociologique sigmatiste ou Braun-blanquetotixenienne*. Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, Faculté des Sciences Biologiques et Agronomiques, 40 p.
152. Mahdi K. 2015. *Importance des facteurs limitant les pullulations de la mineuse de la tomate Tuta absoluta (Meyrick, 1917) dans l'Algérois*. Ecole Nationale Supérieure en Agronomie–El Harrach, Thèse de Doctorat, 262 p.
153. Marja v.d.- S., Jean-François G., Bart V. de- V. 2015. PM 7/124 (1) Spodoptera littoralis, Spodoptera litura, Spodoptera frugiperda, Spodoptera eridania. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin* 45(3) 410–444.
154. Métaillé J.-P. 2016. Les plantes cultivées : La contribution précolombienne à l'agriculture mondiale. In : *Les Amériques. Tome I- Du précolombien à 1830. Sous la direction de Michel Bertrand, Jean-Michel Blanquet, Antoine Coppolani et Isabelle Vagnoux*. Laffont, France, pp. 751–755 p.
155. McCravy K.W. 2018. A Review of Sampling and Monitoring Methods for Beneficial Arthropods in Agroecosystems. *Insects* 9: 170.
156. Michaud L. 2018. *La tomate : De la terre à la table*. Éditions Multi Mondes, 298p.
157. Mansour R., Brévault T., Chailleux A., Cherif A., Grissa-Lebdi K., Haddi K., Mohamed S.A., Nofemela R.S., Oke A., Sylla S., Tonnang H.E.Z., Zappalà L., Kenis M., Desneux N., Biondi A. 2018. Occurrence, biology, natural enemies and management of *Tuta absoluta* in Africa. *Entomologia Generalis* 38: 83–112.
158. MADR. 2019. Statistiques Agricoles. disponible on-line : <http://madrp.gov.dz/agriculture/statistiques-agricoles/> (18/10/2021)
159. Mohammadpour M., Hosseini M., Michaud J. P., Karimi J., et al. 2020. The life history of *Nabis pseudoferus* feeding on *Tuta absoluta* eggs is mediated by egg age and parasitism status. *Biological Control* 151: 104401.
160. MCPE. 2022. DÉCRET EXÉCUTIF N° 99-156. <https://www.commerce.gov.dz/reglementation/decret-executif-n-deg-99-156>.
161. Nixon G.E.J. 1937. Some Asiatic Telenominae (Hym., Proctotrupoidea). *Annals and Magazine of Natural History* 10(20): 444–475.
162. Nicole M.C. 2002. Les relations des insectes phytophages avec leurs plantes-hôtes. *Antennae* 9(1): 5–9.

163. Naouri M., Hartani T., Kuper M. 2015. Mobilités des jeunes ruraux pour intégrer les nouvelles agricultures sahariennes (Biskra, Algérie). *Cahiers Agricultures* 24(6):379–386.
164. Narendran T.C., van Achterberg C. 2016. Revision of the family Chalcididae (Hymenoptera, Chalcidoidea) from Vietnam, with the description of 13 new species. *ZooKeys* 576: 1–202.
165. Negi S., Sharma P.L., Sharma K.C., Verma S.C. 2018. Effect of host plants on developmental and population parameters of invasive leafminer, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Phytoparasitica* 46(4): 213–221.
166. Ning S-f., Zhou J-c., Liu Q-q., Zhao Q., Dong H. 2019. Gradual, temperature-induced change of secondary sexual characteristics in *Trichogramma pretiosum* infected with parthenogenesis-inducing *Wolbachia*. *PeerJ* 7:e7567.
167. Nentwig W., Blick T., Bosmans R., Gloor D., Hänggi A., Kropf C. 2022. Spiders of Europe. Online at <https://www.araneae.nmbe.ch>, accessed on {16/04/2023}.
168. Ozenda P. 2004. Flore du Sahara .3ème ed, CNRS, Paris, 622 p.
169. Öztemiz S. 2012. Domates güvesi [(*Tuta absoluta* Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae)] ve Biyolojik Mücadelesi. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi* 15(4): 47–57.
170. OCDE. 2017. *Tomato (Solanum lycopersicum)*. Paris: OCDE, 69–104p.
171. OECD. 2017. Safety Assessment of Transgenic Organisms in the Environment, Volume 7: OECD Consensus Documents. Organisation for Economic Co-operation and Development. [https://www.oecd-ilibrary.org/environment/safety-assessment-of-transgenic-organisms-in-the-environment-volume-7\\_9789264279728-en](https://www.oecd-ilibrary.org/environment/safety-assessment-of-transgenic-organisms-in-the-environment-volume-7_9789264279728-en). Accessed January 2023
172. ONU. 2017. Pesticides are « global human rights concern », say UN experts urging new treaty, [archive] communiqué du 7 mars 2017 (en anglais)] et Report of the Special Rapporteur on the right to food [archive], rendu le 24 Janvier 2017 (PDF, 24 p). <https://www.ohchr.org/en/press-releases/2017/03/pesticides-are-global-human-rights-concern-say-un-experts-urging-new-treaty>.
173. Ounis F. 2017. *Approche prospective de la régulation biologique de Tuta absoluta (lepidoptera, gelechiidae) par des parasitoïdes autochtones dans la région de Biskra*. Université Saad Dahlab, Blida1–Algérie, Thèse de Magister, 60–100 p.
174. Olivier Frey. 2020. Consultant et formateur indépendant. AgriData n°5 : la production et la consommation de tomates dans le monde. Consulté 18 octobre 2021, à l'adresse <https://olivierfrey.com/>
175. Ouedraogo D. 2020. *Recherche d'alternatives aux pesticides chimiques pour lutter contre Tuta Absoluta (Meyrick, 1971) et de stratégies d'optimisation de l'utilisation de Nesidiocoris Tenuis (Reuter, 1895), prédateur de ce ravageur au Burkina Faso*. Liège université Gembloux Agro-Bio Tech., Thèse de Magister de spécialisation en production intégrée et préservation des ressources naturelles en milieu urbain et péri-urbain.
176. Polis G.A., Holt R.D. 1992. Intraguild predation: the dynamics of complex trophic interactions. *Trends in Ecology & Evolution* 7: 151–154.
177. Parra J. R. P., Zucchi R.A. 2004. *Trichogramma* in Brazil: Feasibility of Use after Twenty Years of Research. *Neotropical Entomology* 33(3):271–281.
178. Pereyra P.C., Sanchez 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.
179. Pratisoli D., Parra J. R. P. 2000. Desenvolvimento e exigências térmicas de *Trichogramma pretiosum* Riley, criados em duas traças do tomateiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 35: 1281–1288.
180. Pope T.W., Kissen R., Grant M., Pickett J.A., Rossiter J.T., Powell G. 2008. Comparative Innate Responses of the Aphid Parasitoid *Diaeretiella rapae* to Alkenyl Glucosinolate Derived Isothiocyanates, Nitriles, and Epithionitriles. *Jou. Che. Eco.* 34:1302–1310.
181. Pincebourde S., Woods H.A. 2012. Climate uncertainty on leaf surface: the biophysics of leaf microclimates and their consequences of leaf-dwelling organism. *Funct. Ecol* 26: 844–853.
182. Paull J. 2013. The Rachel Carson Letters and the Making of Silent Spring. *SAGE Open* (July-September): 1–12.
183. Pernet L., Charabidze D. 2015. *Stratégies de régulation et d'optimisation thermique chez les insectes*. Thèse de Magister en science, Université de Lille 2 –France, 120 p.
184. Polat B., Özpınar A., Şahin A.K. 2016. Studies of selected biological parameters of tomato leafminer *Tuta absoluta* (Meyrick), (Lepidoptera: Gelechiidae) under natural conditions. *Phytoparasitica* 44:195–202.
185. Pezzini C., Jahnke S.M., Köhler A. 2017. Morphological characterization of immature stages of *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae) ectoparasitoid of *Ephestia kuehniella* (Lepidoptera, Pyralidae). *Journal of Hymenoptera Research* 60: 157–171.

186. Pompanon F., Shehzad W. 2019. Code-barres ADN pour caractériser la biodiversité, Encyclopédie de l'Environnement, [en ligne ISSN 2555-0950]. <http://www.encyclopedie-environnement.org/?p=1121>
187. Pénigot W. 2020. Contribution à la connaissance des Ichneumonidae hivernants (Hymenoptera) de la forêt de Grésigne. *Carnets natures* 7 : 31–39.
188. Quinio A. L. 2016. La tomate, la taxinomie et la Cour suprême des États-Unis. *Droits, Éditeur : Presses Universitaires de France* 64(2) : 189–204.
189. Riley C.V. 1879. Parasites of the cotton worm. *Canadian Entomologist* 11(9): 161–162.
190. Robertson C. 1928. *Flowers and insects; Lists of visitors of four hundred and fifty-three flowers*. Urbana-Champaign, University of Illinois, 50 p.
191. Rambur J. P. 1939. Faune entomologique de l'Andalousie. Arthur Bertrand, Paris. pp. 97–176.
192. Roush R. T., Daly J. C., 1990. *The role of population genetics in resistance research management. Pesticide resistance in arthropods*, Roush, R. T., Tabashnik, B. E., (Eds.) Chapman and Hall, New York, pp. 97–152.
193. Riquois A. 1998. Pour une agriculture biologique au cœur de l'agriculture française. Rapport, MAP, Conseil général du génie rural et des eaux et forêts, 99 p.
194. Rekibi F. 2015. *Analyse compétitive de la filière tomate sous serre. Cas de la Wilaya de Biskra*. Thèse de Doctorat, Université Mohamed Khider– Biskra, 40–100 p.
195. Ramasamy S., Ravishankar M. 2018. Integrated Pest Management Strategies for Tomato Under Protected Structures. *Sustainable Management of Arthropod Pests of Tomato* 313–322.
196. Raj K.N.M., Girish R., Hanumantharaya L., Ravi Cs., Ganapathi M. 2020. Comparison of moth catches in pheromone tarps against tomato pin worm, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) in open field condition. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 8(4): 1064–1066.
197. Rahmoune H., Mimeche F., Guimeur K., Cherif K. 2020. Utilisation des pesticides et perception des risques chez les agriculteurs de la région de Biskra (Sud Est d'Algérie). *International Journal of Environmental Studies* 77(1): 82–93.
198. Ramkumar G., Asokan R., Ramya S., Gayathri G. 2021. Characterization of *Trigonella foenum-graecum* Derived Iron Nanoparticles and Its Potential Pesticidal Activity Against *Tuta absoluta* (Lepidoptera). *Journal of Cluster Science* 32(5): 1185– 1190.
199. Sturge H.A. 1926. The Choice of a Class Interval. *Journal of the American Statistical Association* 21(153): 65–66.
200. Sweet M.H., Slater J.A. 1961. A generic key to the nymphs of North American Lygaeidae (Hemiptera: Heteroptera). *Annals of the Entomological Society of America* 54: 333–340.
201. Strand M. R. 1986. The physiological interactions of parasitoids with their hosts and their influence on reproductive strategies. In: *Insect Parasitoids*. Waage J. K. & Greathead D. (Ed.) Academic Press, London. pp. 97–136.
202. Scott J. G. 1990. Investigating mechanisms of insecticide resistance: methods, strategies, and pitfalls. In: Roush, R.T., Tabashnik, B.E (Eds.), *Pesticide resistance in arthropods*. Chapman and Hall, New York, pp. 39–57.
203. SAS (Statistical Analysis System Institute) .2002. *SAS/STAT User's Guide. Version 8*. 6th Edition, SAS Institute, Cary.
204. San Martin G. 2004. *Clé de détermination des Chrysopidae de Belgique*. Jeunes & Nature, Wavre, 23–38 p.
205. Shankara N., de Jeude J.van-L., de Goffau M., Hilmi M., van Dam B. 2005. *La culture de la tomate production, transformation et commercialisation, production, transformation et commercialisation*. Agrodok 17, 105 p.
206. Seifert B. 2012. Clarifying naming and identification of the outdoor species of the ant genus *Tapinoma* Förster, 1850 (Hymenoptera: Formicidae) in Europe north of the Mediterranean region with description of a new species. *Myrmecological News* 16:139–147.
207. Sharma H.C. 2014. Climate Change Effects on Insects: Implications for Crop Protection and Food Security. *Journal of Crop Improvement* 28(2): 229–259.
208. Sabbour M.M. 2014. Biocontrol of the Tomato Pinworm *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) in Egypt. *Middle East Journal of Agriculture Research* 3(3): 499–503.
209. SPSS. 2015. *IBM SPSS Statistics for Windows (Version 23.0)*. IBM Corp, Armonk Chicago, IL.
210. Saavedra T.M., Figueroa G.A., Dzul C.J.G. 2017. Origin and evolution of tomato production *Lycopersicon esculentum* in México. *Ciência Rural, Santa Maria* 47(03):1–8.
211. Sayah N. 2017. *Utilisation des métabolites endogènes et exogènes dans la lutte contre les aleurodes de la tomate dans la région de Biskra*. Université Mohamed Khider –Algérie, Thèse de Doctorat, 18–139 p.

212. Savino V., Luna M. G., Salas Gervassio N. G., Coviella C. E. 2017. Interspecific Interactions between Two *Tuta Absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) Larval Parasitoids with Contrasting Life Histories. *Bulletin of Entomological Research* 107(1): 32–38.
213. Sankarganesh E, Firake D.M, Sharma B., Verma V.K., Behere G.T.2017. Invasion of the South American Tomato Pinworm, *Tuta absoluta*, in northeastern India: a new challenge and biosecurity concerns. *Entomol Gen* 36:335–345.
214. Si Mohammed A. 2017. *Caractérisation et lutte biologique vis-à-vis de Fusarium oxysporum*. Université Ahmed Ben Bella–Oran, Thèse de Doctorat, 60–120 p.
215. Son D., et al. 2018. Détermination par piégeage de la diversité et de l'abondance des familles d'insectes associées à la culture de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) au Burkina Faso. *Entomologie Faunistique* 71: 1–15.
216. Syed-Ab-Rahman S.F., Carvalhais L.C., Schenk P. 2018. Identification of soil bacterial isolates suppressing different *Phytophthora spp.* and promoting plant growth. *Frontiers in Plant Science* 9: 1502.
217. Sylla E.S. 2018. *Invasion de la mineuse de la tomate, Tuta absoluta (Lepidoptera : Gelechiidae) au Sénégal : dynamique des populations, gamme d'hôtes et potentiel de régulation biologique*. Université de Cheikh Anta Diop–Senegal, Thèse de doctoart, 120 p.
218. Santana P.A., Kumar L., Da Silva R.S., Picanço M.C. 2019. Global geographic distribution of *Tuta absoluta* as affected by climate change. *Journal of Pest Science* 92(4):1373–1385.
219. Syndoux D., N'dri E.K., Cissé I., Amissa A.A. et al. 2019. Valeur nutritionnelle et capacité antioxydante de quatre variétés de tomate (*Lycopersicon esculentum* mill) cultivées en Côte d'Ivoire. *International Journal of Innovation and Applied Studies, Rabat* 26(4): 915–925.
220. Soudani N., Belhamra M., Ugya A.Y., Patel N., Carretta L., Cardinali A., Toumi K. 2020. Environmental risk assessment of pesticide use in Algerian agriculture. *Journal of Applied Biology & Biotechnology* 8(05): 36–47.
221. Sunil K.T., Jayalaxmi G., Rashmi G. 2020. Host preference of the South American tomato Moth, *Tuta absoluta* (Povolny) (Lepidoptera: Gelechiidae) among few tested Solanaceous crops. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 8(3): 815–817.
222. Taleb A., Maillat J. 1994. Mauvaises herbes des céréales de la Chaouia (Maroc). I. Aspect floristique. *Weed Research* 34: 345–352.
223. 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): 173–178.
224. Tscharrntke T., Bommarco R., Clough Y., Crist T.O., Kleijn D., Rand T.A., Tylianakis J.M., Nuhuys S.v., Vidal S. 2007. Conservation biological control and enemy diversity on a landscape scale. *Biological Control* 43: 294–309.
225. Tonnang H. E. Z., Mohamed S.F., Khamis F., Ekesi S. 2015. Identification and Risk Assessment for Worldwide Invasion and Spread of *Tuta absoluta* with a Focus on Sub-Saharan Africa : Implications for Phytosanitary Measures and Management. *PLOS ONE* 10(8): e0135283.
226. Tendeng E., Babacar L., Saliou D., Karamoko D. 2017. Actualisation de l'entomofaune des cultures maraîchères en Basse Casamance (Sénégal). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 11(3): 1021–1028.
227. Topakci N., Keçeci M. 2017. The development of greenhouse biological control application in Turkey: From research to practice the example of Antalya. *Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi* 8(2): 161–174 (in Turkish).
228. Tabuloc C. A., Lewald K. M., Conner W. R., Lee Y., Lee E.K., Cain A.B., Godfrey K.E., Arnó J., Agusti N., Perini C.R., Guedes J.C., Zalom F.G., Chiu J.C. 2019. Sequencing of *Tuta absoluta* genome to develop SNP genotyping assays for species identification. *Journal of Pest Science* 92(4): 1397– 1407.
229. tutiempo.net. 2022. Données climatiques. <https://fr.tutiempo.net/climat/telecharger/ws-605250.html>
230. Uchoa-Fernandes M.A. Campos W.G. 1993. Parasi-toides de larvas e pupas da traca-do-tomateiro, *Scrobipalpuloides absoluta* (Meyrick, 1917) (Lepidoptera, Gelechiidae). *Rev. Bras. Entomol.* 37: 399–402.
231. Urbaneja A., Monto'n H., Molla'Ó. 2009. Suitability of the tomatoborer *Tuta absoluta* as prey for *Macrolophus caliginosus* and *Nesidiocoris tenuis*. *J Appl Entomol* 133:292–296.
232. Van Mele P. 2008. A Historical Review of Research on the Weaver Ant *Oecophylla* in Biological Control. *Agricultural and Forest Entomology* 10(1): 13–22.
233. Van Damme V. M., Beck B. K., Berckmoes E., Moerkens R., Wittemans L., De Vis R., Nuyttens D., Casteels H.F., Maes M., Tirry L., De Clercq P. 2016. Efficacy of entomopathogenic nematodes against larvae of *Tuta absoluta* in the laboratory. *Pest Management Science* 72(9): 1702 –1709.

234. Van Lenteren J.C., Nicot P.C. 2020. Integrated Pest Management Methods and Considerations Concerning Implementation in Greenhouses. In: Gullino ML, Albajes R, Nicot PC (eds) *Integrated Pest and Disease Management in Greenhouse Crops, Plant Pathology in the 21st Century 9, 2nd ed.* Dordrecht-Heidelberg-London, New York.
235. Werner F. G., Chandler D.S. 1995. Anthicidae (Insecta: Coleoptera). *Fauna of New Zealand* 34:64.
236. Williamson M., Fitter A. 1996. The Varying Success of Invaders. *Ecology* 77: 1661–1666.
237. Wright A. F. 1998. Parasitic Wasps. By D.J.L. Quicke (London: Chapman & Hall, 1997). Xvi + 470 Pp. Hard Cover £65.00. ISBN 0412 58350 X. *Bulletin of Entomological Research* 88(5): 576–576.
238. Whitfield J.B., Austin A.D., Fernandez-Triana J.L. 2018. Systematics, Biology, and Evolution of Microgastrine Parasitoid Wasps. *Annual Review of Entomology* 63(1): 389–406.
239. WPTC. 2020. WPTC crop update and world production estimate as of 11 March 2020. World Processed Tomato Association. Consulté 18 octobre 2021, à l'adresse <https://www.wptc.to/releases-wptc.php>
240. Wang Z-T., Li C-D. 2021. Three new species, and new distributional data, of Haltichella (Hymenoptera, Chalcididae) from China. *ZooKeys* 1060: 1–16.
241. Xian X., Han P., Wang S., Zhang G., Liu W., Desneux N., Wan F. 2017. The potential invasion risk and preventive measures against the tomato leafminer *Tuta absoluta* in China. *Entomol Gen* 36:319–333.
242. Yi-Ping W., Xue-Xin C., Jun-Hua H. 2004. A Review of Bracon (Rostrobracon) (Hymenoptera: Braconidae: Braconinae) from China, With Description of One New Species. *Oriental Insects* 38(1): 341–345.
243. Youssef R.M., Abo Kaf N.H., Abboud R. 2022. *Stenomiesius japonicus* Ashmead (Hymenoptera: Eulophidae): a new parasitoid of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) in Syria. *Journal of Insect Biodiversity and Systematics* 8(2): 219–227.
244. ZIRI S. 2011. *Contribution à la lutte intégrée contre Tuta absoluta sur tomate en plein champ*. École Nationale Supérieure Agronomique–El-Harrach, Thèse de Magister, 92 p.
245. Zappalà L., Biondi A., Alma A., Al-Jboory I.J., Judit Arnó J., Bayram A., Chailleux A., El-Arnaouty A., Gerling D., Guenaoui Y., Shaltiel-Harpaz L., Siscaro G., Stavrinides M., Tavella L., Vercher Aznar R., Urbaneja A., Desneux N. 2013. Natural enemies of the South American moth, *Tuta absoluta*, in Europe, North Africa and Middle East, and their potential use in pest control strategies. *Journal of Pest Science* 86(4): 635–647.
246. Zouba A., Chermiti B., Chraïet R., Mahjoubi K. 2013. Effect of two indigenous Trichogramma species on the infestation level by tomato miner *Tuta absoluta* in tomato greenhouses in the south-west of Tunisia. *Tunisian Journal of Plant Protection* 8: 87–106.
247. Zarei E., Fathi S.A.A., Hassanpour M., Golizadeh A. 2019. Assessment of intercropping tomato and sainfoin for the control of *Tuta absoluta* (Meyrick). *Crop Protection* 120: 125–133.
248. Zhang G., Ma D., Wang Y., Gao Y., Liu W., Zhang R., Fu W., Xian X., Wang J., Kuang M., Wan F. 2020. First report of the South American tomato leafminer, *Tuta absoluta* (Meyrick), in China. *Journal of Integrative Agriculture* 19(7): 1912–1917.
249. Zink F. A., Tembrock L.R., Timm A. E., Gilligan, T.M. 2020. A Real-Time PCR Assay for Rapid Identification of *Tuta absoluta* (Lepidoptera : Gelechiidae). *Journal of Economic Entomology* 113(3): 1479–1485.
250. Zhang L., Lin X., Leng L., Zeng Y. 2021. Spatial distribution of rural population from a climate perspective: Evidence from Jiangxi Province in China. *PLoS ONE* 16(3): e0248078.

# ANNEXES

## Annexes

**Annexe I-1.** Production annuelle de tomates selon le rapport du DSA Biskra pour l'année 2019/2020.

Suite à votre envoi N° 893 du 26/08/2019, relatif au suivi de la plasticulture (campagne 2019/2020), j'ai l'honneur de vous transmettre le bilan final selon le canevas ci après :

### Serres tunnels

Espèce	Intention prévue (Ha)	Superficie plantée (Ha)	Estimation de production (Qx)	Superficie récoltée (ha)	Production obtenue (Qx)	Rendement (Q/Ha)
Tomate	2 500	2 640	3 375 000	2 640	3 430 000	1 300
Piment	1 450	1 530	1 015 000	1 530	1 081 000	710
Poivron	1 000	1 100	680 000	1 100	757 000	700
Courgette	350	410	262 500	410	315 500	800
Concombre	460	460	405 000	460	428 000	930
Aubergine	500	570	327 500	570	404 100	710
Melon	1 000	1 150	448 500	1 150	448 700	400
Pastèque	200	200	78 000	200	80 000	400
<b>TOTAL</b>	<b>7 460</b>	<b>8 060</b>	<b>6 591 500</b>	<b>8 060</b>	<b>6 944 300</b>	-

### Multi chapelle

Espèce	Intention superficie(Ha)	Superficie plantée (Ha)	Estimation de production (Qx)	Superficie récoltée (ha)	Production obtenue (Qx)	Rendement (Qx/Ha)
Tomate	450	550	990 000	550	1 039 500	1 890
Piment	140	150	180 000	150	184 500	1 230
Poivron	120	100	120 000	100	122 000	1 220
Courgette	30	10	9 000	10	9 100	910
Aubergine	55	40	28 000	40	28 400	710
Melon	160	160	96 000	160	97 600	610
Pastèque	0	02	1 000	02	1 000	500
<b>TOTAL</b>	<b>955</b>	<b>1 012</b>	<b>1 424 000</b>	<b>1 012</b>	<b>1 482 100</b>	-

**Annexe II -1.** Liste globale des espèces floristiques identifiées au niveau des deux sites d'étude.

Groupe	Famille	Espèce
<b>Dicotylédones</b>	Asteraceae	Sonchus arvensis
		Pulicaria undulata
	Primulaceae	Anagallis arvensis
	Rhamnaceae	Zizyphus lotus
	Apiaceae	Daucus carota
	Fabacées	Melilotus indica
		Medicago hispida
		Medicago sativa
	Plantaginaceae	Plantago notate
	Lamiaceae	Ballota hirsute
	Amaranthaceae	Suaeda fruticosa
		Spinacia oleracea
		Chenopodium album
	Tamaricaceae	Tamarix gallica
	Caryophyllaceae	Moricandia arvensis
Malvaceae	Malva parviflora	
Polygonaceae	Polygonum aviculare	
<b>Monocotylédones</b>	Poaceae	Panicum repens
		Phalaris paradoxa
		Hordeum murinum
		Pennisetum dichotomum
		Cynodon dactylon
	Phragmites communis	
<b>Total</b>	<b>13</b>	<b>23</b>



**Annexe II -2.** Analyses statistiques des quelques stades de *Tuta absoluta*.

a. Adultes AlAlia/ saison		b. Adultes ABN/ saison	
Rapport	0,017	Rapport	0,010
F (Valeur observée)	0,017	F (Valeur observée)	0,010
F (Valeur critique)	5,820	F (Valeur critique)	5,820
DDL1	6	DDL1	6
DDL2	6	DDL2	6
p-value (bilatérale)	< 0,0001	p-value (bilatérale)	< 0,0001
Alpha	0,05	Alpha	0,05

c. Larve	
Rapport	0,182
F (Valeur observée)	0,182
F (Valeur critique)	5,820
DDL1	6
DDL2	6
p-value (bilatérale)	0,057
Alpha	0,05

d. <i>Tuta absoluta</i> / saison					
Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
Spring(AlAlia) vs Winter(ABN)	71,333	9,562	2,759	< <b>0,0001</b>	Oui
Spring(AlAlia) vs Winter (AlAlia)	67,667	9,070	2,498	< <b>0,0001</b>	Oui
Spring(AlAlia) vs Spring (ABN)	7,125	0,955	2,064	0,349	Non
Spring (ABN) vs Winter(ABN)	64,208	8,607	2,498	< <b>0,0001</b>	Oui
Spring (ABN) vs Winter (AlAlia)	60,542	8,115	2,064	< <b>0,0001</b>	Oui
Winter (AlAlia) vs Winter(ABN)	3,667	0,491	2,064	0,628	Non

**Annexe II-3.** Analyse des taux d'infestation de *Tuta absoluta*.

## a. Infestation AlAlia

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
Spring vs Winter	67,667	9,045	2,179	< <b>0,0001</b>	Oui

## b. Infestation ABN

Source	Valeur	Erreur standard	T	Pr >  t	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)
Constante	19,167	5,623	3,408	<b>0,005</b>	6,915	31,419
Saison-Spring	64,208	7,439	8,631	< <b>0,0001</b>	48,000	80,416

**Annexe II-4.** Analyse de régression de poisson pour les effectifs des parasitoïdes et des prédateurs autochtones de *T. absoluta*.

Source	Valeur	Erreur standard	Khi <sup>2</sup> de Wald	Pr > Khi <sup>2</sup>
Constante	2,109	0,208	102,615	< 0,0001
RA%	-0,022	0,011	4,140	0,042

**Annexe II-5.** Analyse du nombre d'œufs de *T.absoluta* parasités par *T. presteium*.

Source	DDL	Khi <sup>2</sup> (LR)	Pr > LR
Taux	1	9,079	0,003