UNIVERSITE KASDI MERBAH-OUARGLA

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences Agronomiques

Année : 2026

N° d'enregistrement :
/...../...../...../...../

THESE

Pour l'obtention du Diplôme de Doctorat 3ème Cycle
Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie
Filière : Sciences Agronomiques
Spécialité : Protection Des Végétaux

Efficacité des pratiques agricoles dans la lutte contre quelques ravageurs des cultures maraichères dans la région des Ziban (Est algerien).

Présentée et soutenue publiquement
par :

Mlle. NACER Souria

le 02/06/ 2026

Devant le jury composé de :

GHEZOUL Omar	Pr	U.K.M.Ouargla	Président
BELLAROUCI Med El Hafed	MCA	U.K.M.Ouargla	Directeur de Thèse
IDDER IGHILI Hakima	Pr	U.K.M.Ouargla	Co-directeur de Thèse
SADINE Salah Eddine	Pr	U Ghardaia	Rapporteur
BABOAOUSMAIL Mahfoud	MCA	U El Oued	Rapporteur
BENBRAHIM Keltoum	MCA	U.K.M.Ouargla	Rapporteur

Remerciement

Avant tout, je rends grâce à Allah, le Tout-Puissant, pour m'avoir accordé la santé, la patience, la force et la persévérance nécessaires à l'aboutissement de ce travail.

J'exprime ma profonde gratitude et mon immense reconnaissance à mes chers parents, pour leur amour inconditionnel, leurs sacrifices, leurs encouragements constants et leur soutien moral tout au long de mon parcours académique. Qu'ils trouvent ici l'expression de mon respect et de ma reconnaissance éternelle.

Je tiens à adresser mes sincères remerciements à mon directeur de thèse **Dr. BELLAROUCI Mohamed El Hafedh**, pour avoir accepté de sauver et diriger ce travail, pour sa confiance, sa disponibilité, ses orientations scientifiques, ses conseils précieux et son encadrement rigoureux, qui ont grandement contribué à la réalisation de ce travail.

Mes remerciements s'adressent aussi à ma co-directrice de thèse **Pr. IGHILI Hakima** pour l'intérêt porté à ce travail et pour sa contribution scientifique.

Je remercie également les membres du jury qui ont accepté d'évaluer ce travail, pour l'honneur qu'ils me font, ainsi que pour leurs remarques constructives et leur contribution à l'amélioration de la qualité scientifique de cette thèse.

Mes remerciements s'adressent aussi aux responsables et au personnel des différentes institutions agricoles, notamment la Direction des Services Agricoles (DSA) de Biskra et la station reginale de la Protection des Végétaux (SRPV) Batna, pour leur collaboration, leur disponibilité et les informations fournies.

Je remercie chaleureusement les agriculteurs de la région d'étude pour leur accueil, leur coopération et leur précieuse contribution sur le terrain, sans lesquels ce travail n'aurait pu être mené à bien.

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à l'ensemble du personnel du laboratoire du Centre de Recherche et d'Analyses Physico-Chimiques (CRAPC), en particulier aux équipes chargées des analyses chromatographiques (GC-MS/MS et LC-MS/MS), pour leur professionnalisme, leur assistance technique et leur soutien scientifique.

Mes sincères remerciements vont également aux ingénieurs, enseignants-chercheurs et professeurs universitaires qui m'ont apporté leur aide précieuse tout au long de ce travail. Je remercie tout particulièrement **Monsieur Louchène**, ancien ingénieur au SRPV de Batna, pour son soutien, ses encouragements et la mise à disposition du matériel nécessaire à la réalisation du suivi sur le terrain. J'exprime également ma gratitude à **Dr Haddou M.** du CDARS d'Ouargla pour la réalisation des cartes.

Je remercie chaleureusement les professeurs de l'Université d'Ouargla, **M. Kammassi A., M. Guezoul O., M. Sekkour M., Mme Benbrahim Kelthoum et Mme Draoui N.**, pour leur aide, leurs conseils et leur disponibilité. Mes remerciements s'adressent

aussi aux professeurs de l'Université Batna 1, **M. Laamari M.** et **Mme Lombarkia N.**, que j'ai toujours trouvés disponibles pour me conseiller et me soutenir.

Je tiens également à remercier le personnel du laboratoire de pédologie de l'Université Batna 1 pour la réalisation des analyses du sol et de l'eau. J'adresse ma reconnaissance à **M. Addel A.**, ingénieur en phytotechnie, pour son aide lors de la réalisation des enquêtes et pour les informations fournies, ainsi qu'à **M. Moukhtari M.** pour la fourniture des standards analytiques.

Je remercie aussi mon frère **Hourma A.** pour son assistance durant les sorties sur le terrain. Enfin, je n'oublie pas **M. Sahraoui A.**, qui m'a toujours donné espoir et a cru en moi et en mes capacités à atteindre mes objectifs.

Je remercie sincèrement toutes les personnes qui m'ont apporté leurs conseils, leur aide et leurs encouragements tout au long de ce travail.

Je tiens à exprimer une pensée toute particulière à mes chères sœurs, **Leila, Samira et Imane**, ainsi qu'à mes chères amies, **Hana, Imen, Nacira et Asma**. Je vous adresse mes remerciements les plus sincères et les plus profonds pour votre présence constante à mes côtés, votre soutien moral inestimable, votre écoute et vos encouragements dans les moments les plus difficiles. Votre affection et votre confiance ont été pour moi une source précieuse de force et de motivation tout au long de ce parcours.

Enfin, je remercie toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation, à la finalisation et à la réussite de cette thèse.

NACER Souria

Efficacité des pratiques agricoles dans la lutte contre quelques ravageurs des cultures maraichères dans la région des Ziban (Est algerien)

Résumé

Cette étude a pour objectif d'analyser de manière intégrée les pratiques agricoles, la dynamique des principaux ravageurs et la contamination des tomates par les résidus de pesticides dans des cultures maraîchères sous serre du sud algérien. Les travaux sont conduits au cours des campagnes agricoles (2021-2022, 2022–2023 et 2023-2024) sur trois sites représentatifs de la région du Ziban ; Ain Naga, M'Ziraa et Doucen, caractérisés par un climat aride et des systèmes de production intensifs sous serre.

La méthodologie repose sur des enquêtes auprès des producteurs, un suivi entomologique régulier de *Tuta absoluta* et des aleurodes sur deux cultures maraicheres stratigiques ; tomate et piment, ainsi que des analyses analytiques des résidus de pesticides dans les fruits de tomate. Les résultats mettent en évidence une forte hétérogénéité des pratiques phytosanitaires, liée principalement au niveau de formation et à l'accès à l'information technique. Les producteurs formés adoptent des pratiques plus proches des bonnes pratiques agricoles, contrairement à ceux s'appuyant sur l'expérience empirique.

Le suivi des ravageurs confirme que *Tuta absoluta* et les aleurodes constituent les principaux bioagresseurs des cultures étudiées. Les infestations présentent une structuration verticale au sein de la plante et horizontale au sein de la serre et sont fortement influencées par les microclimats intra-serres. Par ailleurs, la répétition des traitements insecticides suggère un risque accru de développement de résistances.

L'analyse des résidus révèle la présence de plusieurs pesticides, y compris de substances interdites telles que le Terbufos, avec parfois des dépassements des limites maximales de résidus. Ces résultats soulignent la nécessité de renforcer la formation des producteurs, le contrôle de l'usage des pesticides et l'adoption de stratégies de gestion intégrée des ravageurs afin d'assurer la durabilité et la sécurité sanitaire des productions.

Mots clés : ravageurs, cultures maraicheres, pratiques agricoles, résidus de pesticides, Ziban.

The Effectiveness of Agricultural Practices in Controlling Certain Pests of Vegetable Crops in the Ziban Region (Eastern Algeria)

Abstract

This study aims to provide an integrated analysis of agricultural practices, the population dynamics of major pests, and tomato contamination by pesticide residues in greenhouse vegetable production systems in southern Algeria. The research was conducted over three agricultural seasons (2021–2022, 2022–2023, and 2023–2024) at three representative sites in the Ziban region: Ain Naga, M'Ziraa, and Doucen, characterized by an arid climate and intensive greenhouse-based production systems.

The methodology is based on surveys conducted among farmers, regular entomological monitoring of *Tuta absoluta* and whiteflies on two strategic vegetable crops, tomato and chili pepper, as well as analytical determination of pesticide residues in tomato fruits. The results highlight strong heterogeneity in phytosanitary practices, mainly related to farmers' level of training and access to technical information. Trained producers tend to adopt practices closer to Good Agricultural Practices, whereas those relying on empirical experience show less compliance.

Pest monitoring confirms that *Tuta absoluta* and whiteflies are the main bioaggressors affecting the studied crops. Infestations show vertical structuring within the plant and horizontal distribution within the greenhouse and are strongly influenced by intra-greenhouse microclimatic conditions. Moreover, the repeated application of insecticides suggests an increased risk of resistance development.

Residue analysis revealed the presence of several pesticides, including prohibited substances such as terbufos, with occasional exceedances of maximum residue limits. These findings emphasize the need to strengthen farmer training, improve pesticide use control, and promote integrated pest management strategies to ensure the sustainability and food safety of greenhouse vegetable production.

Keywords: pests, greenhouse vegetable crops, agricultural practices, pesticide residues, Ziban.

فعالية الممارسات الزراعية في مكافحة بعض آفات محاصيل الخضر في منطقة الزيبان (شرق الجزائر)

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل متكامل للممارسات الزراعية، وديناميكية أهم الآفات الحشرية، وتلوث ثمار الطماطم بمتبقيات المبيدات في الزراعات المحمية بالجنوب الجزائري. أُنجزت الأعمال خلال ثلاث مواسم زراعية (2021–2022، 2022–2023، و2023–2024) في ثلاثة مواقع ممثلة لمنطقة الزيبان، وهي عين الناقة، مزيرعة والدوسن، والتي تتميز بمناخ جاف وأنظمة إنتاج مكثفة داخل البيوت البلاستيكية.

اعتمدت المنهجية على إجراء استبيانات ميدانية لدى المنتجين، ومتابعة حشرية منتظمة لكل من حفار أوراق الطماطم (*Tuta absoluta*) والذباب الأبيض على محصولين استراتيجيين من الخضار هما الطماطم والفلفل، إضافة إلى التحاليل المخبرية لمتبقيات المبيدات في ثمار الطماطم. وأظهرت النتائج وجود تباين كبير في الممارسات الصحية النباتية، يرتبط أساسًا بمستوى التكوين والوصول إلى المعلومات التقنية. إذ يعتمد المنتجون المتكوّنون ممارسات أقرب إلى الممارسات الزراعية الجيدة، في حين يعتمد الآخرون على الخبرة التجريبية.

وأكدت المتابعة الحشرية أن حفار أوراق الطماطم والذباب الأبيض يمثلان أهم الآفات المؤثرة على المحاصيل المدروسة، حيث تُظهر الإصابات توزيعًا عموديًا داخل النبات وأفقيًا داخل البيت البلاستيكي، وتتأثر بدرجة كبيرة بالظروف المناخية الدقيقة داخل البيوت. ومن جهة أخرى، فإن تكرار المعاملات بالمبيدات الحشرية يشير إلى خطر متزايد لتطور مقاومة الآفات.

وكشفت تحاليل المتبقيات عن وجود عدة مبيدات، بما في ذلك مواد محظورة مثل التيربوفوس، مع تسجيل تجاوزات أحيانًا للحدود القصوى المسموح بها. وتؤكد هذه النتائج ضرورة تعزيز تكوين المنتجين، وتشديد الرقابة على استعمال المبيدات، واعتماد استراتيجيات المكافحة المتكاملة للآفات من أجل ضمان استدامة الإنتاج وسلامته الصحية.

الكلمات المفتاحية : الآفات لزراعية، الزراعات المحمية، الممارسات الزراعية، متبقيات المبيدات، الزيبان.

Liste des abréviations

ACM : Analyse des correspondances multiples

ANOVA : Analyse de la Variance

C : Taux de calcaire

C18 : Octadecylsilane

$CaCO_3$: Carbonate de calcium

CDARS : Commissariat au Développement de l'Agriculture des Régions Sahariennes

CE : Conductivité électrique

CEC : Capacité d'échange cationique

CRAPC : Centre de Recherche et d'Analyses Physico-Chimiques

DAR : Délai avant récolte

DJA : Dose journalière admissible

dS/m : Décisiemens par mètre

DSA : Direction des services agricoles

EFSA : Autorité européenne de sécurité des aliments

EPPO : Organisation européenne et méditerranéenne pour la protection des plantes

ET : Écart-type

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture

GCB : Noir de carbone graphitisé

GC-MS : Chromatographie en phase gazeuse-spectrométrie de masse

H% : Humidité relative (%)

HPLC : Chromatographie liquide à haute performance

Khi² (χ^2) : Test du khi-deux

LC-MS/MS : Chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse en tandem

LMR : Limite maximale de résidus

LOD : Limite de Detection

LOQ : Limite de Quantification

MADR: Ministère de l'Agriculture et du Développement rural

$MgSO_4$: Sulfate de magnésium

MO : Matière organique

MS : Matière sèche

Mt : Million de tonnes

NaCl : Chlorure de sodium

PH : Potentiel hydrogène

PP (mm) : Précipitations (millimètres)

PSA : Amines primaires et secondaires

Q3 : Quotient pluviothermique

QuEChERS : Méthode d'extraction rapide, facile, économique, efficace, robuste et sûre (*Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged and Safe*)

RSD : Écart-type relatif

SPE : Extraction en phase solide

T max : Température maximale

T min : Température minimale

T moy : Température moyenne

UE : Union européenne

WHO : Organisation mondiale de la santé

µL : Microlitre

µm : Micromètre

Liste des figures

Figure 1. Localisation de la région d'étude 8
Figure 2. Diagramme ombrothermique de Gaussen de la région d'étude (2014-2023). 11
Figure 3. L'étage bioclimatique de région d'étude selon le climagramme d'Emberger. 12
Figure 4. Principales zones productrices des légumes dans le monde en 2018. 16
Figure 5. Répartition de la production végétale par filière en Algérie (2019). 18
Figure 6. Répartition régionale de la production maraîchère sous serre en Algérie (2019) 19
Figure 7. Répartition géographique de la production mondiale de tomate en 2021 21
Figure 8. Principaux pays producteurs de tomate dans le monde en 2021. 22
Figure 9. Part relative des principaux pays producteurs de piments verts dans le monde en 2021. 23
Figure 10. Répartition géographique de *T. absoluta*. 28
Figure 11. Cycle de vie de la mineuse de la tomate (*T. absoluta*). 29
Figure 12. Symptômes des dégâts de *T. absoluta* sur feuilles et fruits de la tomate 30
Figure 13. Cycle biologique des aleurodes (Hemiptera: Aleyrodidae). 33
Figure 14. Localisation des sites d'études dans la region des Ziban. 45
Figure 15. Localisation de l'exploitation d'étude dans le site d'Ain Naga. 47
Figure 16. Localisation de l'exploitation d'étude dans le site de M'Ziraa. 48
Figure 17. Localisation de l'exploitation d'étude dans le site de Doucen). 49
Figure 18. Piège à phéromone de type Delta installée dans les serres de tomate. 53
Figure 19. Serres tunnels retenues pour l'échantillonnage ; A: culture de tomate, B: culture de piment. 55
Figure 20. Phase d'extractions 61
Figure 21. Phase de purification 62
Figure 22. Procédés représentatifs de l'analyse de sédiments par la méthode QuEChERS 62
Figure 23. Liquide chromatographe liquide spectrometre (LCMS 8040 Shimadzu). 63
Figure 24. Chromatogramme LC-MS/MS représentatif, illustrant la détection simultanée de plusieurs pesticides appartenant à différentes familles chimiques. 65
Figure 25. Schéma des principales étapes de la méthode QuEChERS appliquée à l'analyse des résidus de pesticides dans la tomate. 66
Figure 26. Niveau d'éducation des enquêtés dans les trois sites 69
Figure 27. Formation agricole dans les sites enquêtés 69
Figure 28. Rotation des cultures dans les sites enquêtés 70
Figure 29. Utilisation du filet insecte-proof dans les sites enquêtés 71
Figure 30. La pratique d'effeuillage dans les sites enquêtés 72
Figure 31. Gestion des mauvaises herbes arrachées dans les sites etudiés 73
Figure 32. Type de produit utilisé dans les sites enquêtés 74
Figure 33. . Fréquence des traitements dans les sites enquêtés 75
Figure 34. Changement de produit phytosanitaire dans les sites enquêtés 76
Figure 35. Mélange des produits phytosanitaire dans les sites enquêtés 77
Figure 36. Produits inefficaces et comportement des agriculteurs dans les sites étudiés 78
Figure 37. Respect du délai avant récolte (DAR) des serristes des trois sites étudiés 80
Figure 38. Lien entre formation agricole, niveau d'étude et adoption des pratiques culturales 86
Figure 39. Lien entre formation agricole, niveau d'étude et adoption des pratiques phytosanitaires 89
Figure 40. Niveaux de risque d'infestation selon les captures en fonction de la température 92
Figure 41. Fluctuation temporelle du taux d'infestation de *Tuta absoluta* dans les trois sites 94
Figure 42. Variation de l'infestation de *Tuta absoluta* selon les strates foliaires dans les trois sites 95

Figure 43. Efficacité des insecticides utilisés par les serristes contre *T absoluta* dans les trois sites..... 98
Figure 44. A .Variation horizontale de l'infestation des aleurodes selon la position dans la serre, B. Carte de densité (heatmap) illustrant la distribution spatiale des aleurodes dans la serre. 100
Figure 45. Variation de l'infestation des aleurodes selon les strates foliaires dans les trois sites 102
Figure 46. Fluctuation temporelle du taux d'infestation des aleurodes dans les trois sites ... 105
Figure 47. Efficacité des traitements utilisés contre les Aleurodes. 107
Figure 48. Comparaison des concentrations en résidus de pesticides avec les limites maximales de résidus (LMR) dans trois sites de production. 107

Liste des tableaux

Tableau 1. Données climatiques mensuelles moyennes de la région d'étude sur la période (2014–2023)..... 10
Tableau 2. Principaux communes productrices de cultures maraichères sous serres dans la région des Ziban pour la campagne 2023/2024 46
Tableau 3. Caractéristiques granulométriques et classes texturales des sols des sites d'étude 50
Tableau 4. Propriétés physico-chimiques des sols des sites d'étude..... 50
Tableau 5. Propriétés physico-chimiques des eaux d'irrigation des sites d'étude 50
Tableau 6. Liste des standards analytiques utilisés pour l'identification et la quantification des résidus de pesticides dans les échantillons de tomate. 58
Tableau 7. Tableau récapitulatif des réactifs utilisés 60
Tableau 8. Données analytiques d'un extrait des pesticides analysés..... 67
Tableau 9 Répartition croisée entre formation agricole et mélange de produits (Site Ain Naga) 81
Tableau 10 Formation agricole et choix de produits (Site Ain Naga)..... 82
Tableau 11 formation agricole et gestion des mauvaises herbes arrachées (Site Doucen)..... 83
Tableau 12. Effet de la position dans la serre sur le taux d'infestation moyen des aleurodes dans les trois sites..... 99
Tableau 13. Répartition des infestations des aleurodes selon les strates foliaires dans les trois sites..... 101
Tableau 14. Effet du mois sur le taux d'infestation moyen des aleurodes dans les trois sites 104
Tableau 15. Effet du moment de traitement sur le taux d'infestation moyen des aleurodes dans les trois sites..... 106
Tableau 16. Effet du produit sur le taux d'infestation moyen des aleurodes dans les trois sites. 106
Tableau 17. Familles chimiques des molécules détectées dans les trois sites. 109
T**ableau 18.** Classe toxicologique et statut réglementaire des molécules détectées dans la région d'étude..... 111

Table des matières

Remerciement 3
Résumé 5
Abstract 6
الملخص 7
Liste des abréviations 8
Liste des figures 10
Liste des tableaux 12
Table des matières 13
Introduction générale 2
Partie I. synthèse bibliographique 7
chapitre 1. Présentation de la région d'étude 8
1.1. Localisation géographique de la région des Ziban 8
1.2. Etude climatique 9
1.2.1. Analyse des données climatiques 9
1.2.2. Synthèse climatique 10
1.2.2.1. Diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls 10
1.2.2.2. Climagramme pluviothermique d'Emberger 11
1.3. Ressources en eaux 12
1.4. Ressources en sols 13
1.5. Impact des conditions climatiques et agro-environnementales sur les ravageurs 14
chapitre 2. Production des légumes et intensification des cultures maraichères 16
2.2. Production mondiale des légumes 16
2.3. Production nationale des légumes 17
2.4. Serriculture 18
2.4.1. La tomate: importance agronomique et contexte de production 20
2.4.2. Le piment: importance agronomique et contexte de production 22
chapitre 3. Bioagresseurs des cultures maraîchères 24
3.1. Bioagresseurs des cultures maraîchères 24
3.1.1. Insectes ravageurs 24
3.1.2. Acariens phytophages 25
3.1.3. Nématodes phytoparasites 25
3.1.4. Agents pathogènes associés 26
3.2. Bioagresseurs majeurs des cultures maraîchères sous serre 26

3.2.1. Mineuse sud- américaine de la tomate (*Tuta absoluta)*.....26
3.2.1.1. Systématique.....26
3.2.1.2. Origine et répartition mondiale 27
3.2.1.3. Bioécologie.....28
3.2.1.4. Impact Économique et méthodes de lutte 29
3.2.2. Les aleurodes (Aleyrodidae).....31
3.2.2.1. Systématique.....31
3.2.2.2. Répartition géographique 32
3.2.2.3. Bioécologie.....32
3.2.2.4. Impact Économique et méthodes de lutte 33
chapitre 4. Résidus des pesticides et impact environnemental 36
4.1. Notions générales sur les résidus de pesticides.....36
4.2. Différents types de résidus de pesticides 37
4.3. Impacts sanitaires des résidus de pesticides 38
4.4. Effets environnementaux des résidus de pesticides 39
4.5. Méthodes d'analyse des résidus de pesticides 40
4.5.1. Principales méthodes d'extraction des résidus.....40
4.5.2. La méthode QuEChERS 41
4.5.3. Techniques de détection et validation des méthodes.....41
Partie II. Étude expérimentale 44
chapitre 1. Materiels et methodes.....45
1.1. Présentation des sites d'étude.....45
1.1.1. Présentation générale des exploitations étudiées 46
1.1.1.1. Site d'Ain Naga 46
1.1.1.2. Site de M'Ziraa.....47
1.1.1.3. Site de Doucen 48
1.1.2. Conditions édaphiques et hydriques des exploitations étudiées: 49
1.1.2.1. Propriétés physico-chimiques des sols 49
1.1.2.2. Qualité des eaux d'irrigation.....50
1.2. Méthodes de suivi et de collecte des données. 51
1.2.1. Méthodologie de l'enquête auprès des agriculteurs 51
1.2.1.1. Questionnaire.....51
1.2.1.2. Le dépouillement des informations de l'enquête et le traitement des données 52
1.2.2. Méthode d'échantillonnage et suivi des ravageurs 52
1.2.2.1. Cas de la tomate.....52
1.2.2.2. Cas du piment.....54

1.2.3. Analyse des résidus des pesticides dans le fruit 56
1.2.3.1. Justification du choix de la matrice 56
1.2.3.2. Échantillonnage des fruits (tomate) 57
1.2.3.3. Choix des pesticides à analyser 58
1.2.3.4. Choix de la méthode 59
1.2.3.5. Réactifs utilisés pour l'extraction et la purification 59
1.2.3.6. Appareillage utilisé 60
1.2.3.7. Préparation et conservation des échantillons 61
1.2.3.8. Mode opératoire 61
1.2.3.8.1. *Extraction* 61
1.2.3.8.2. *Purification* 61
1.2.3.9. Analyse chromatographique (LC-MS/MS) 63
1.2.3.10. Assurance qualité et validation analytique 65
1.3. Analyses statistiques 67
chapitre 2. Résultats et discussion 68
2.1. Cultures maraichères et pratiques agricoles 68
2.1.1. Statistiques descriptives 68
2.1.2. Analyses statistiques approfondies 80
2.1.2.1. Analyse des relations entre les variables d'enquête (Test du Khi²) 80
2.1.2.1.1. Formation agricole et pratique de mélange des produits – Site d'Aïn Naga 81
2.1.2.1.2. Formation agricole et choix de produit – Site d'Aïn Naga 82
2.1.2.1.3. Formation agricole et gestion des mauvaises herbes arrachées – Site de Doucen. 83
2.1.2.2. Caractérisation des pratiques agricoles sous serre à travers l'Analyse des Correspondances Multiples (ACM) 84
2.1.2.2.1. Analyse des pratiques culturales des sites étudiés 85
2.1.2.2.2. Analyse des pratiques phytosanitaire des sites étudiés 88
2.2. Tomates, piment et principaux insectes ravageurs 91
2.2.1. *Tuta absolutta* principal insecte ravageur de la culture de tomate sous serre 91
2.2.1.1. Evaluation des niveaux de risque d'infestation selon les captures en fonction de la température : 91
2.2.1.2. Infestation de la culture de tomate par *Tuta absoluta* 93
2.2.1.3. Préférence alimentaire des larves de *Tuta absoluta* selon les strates foliaires 94
2.2.1.4. Efficacité des insecticides utilisés par les serristes contre *T absoluta* 96
2.2.2. Les mouches blanches un redoutable ravageur de la culture du piment sous serre 99
2.2.2.1. Dispersion spatiale de l'infestation dans la serre 99
2.2.2.2. Préférence alimentaire des aleurodes selon les strates foliaires 101

2.2.2.3. Variation du taux d'infestation des aleurodes en fonction du temps 103
2.2.2.4. Efficacité des traitements utilisés contre les aleurodes sous serre..... 105
2.3. Résidus de pesticides dans les fruits : identification, conformité et risques associés ... 108
2.3.1. Profil général des résidus de pesticides détectés dans les échantillons 109
2.3.2. Évaluation de la conformité des résidus aux LMR..... 112
2.3.3. Présence de substances non autorisées ou interdites 116
Conclusion générale 119
Références bibliographiques 121

Introduction générale

Introduction générale

Dans les pays en développement, l'agriculture joue un rôle déterminant dans l'accroissement des disponibilités alimentaires et dans la génération de revenus, contribuant ainsi à l'accès à l'alimentation et à la sécurité alimentaire, et participant à la stabilité socio-économique **(FAO, 2002).** Dans les régions arides et semi-arides du Sud algérien, l'implantation de systèmes de culture sous serre a profondément transformé la production maraîchère en permettant une intensification et une diversification notables. Grâce à la protection du microclimat, ces dispositifs favorisent l'allongement des cycles de production et une amélioration des rendements, tout en réduisant la consommation en eau grâce à l'irrigation localisée **(Djaghrouri et *al*., 2024).** De plus, les politiques publiques et les programmes de soutien agricole ont contribué au développement de véritables pôles maraîchers, comme dans la région des Ziban, renforçant la spécialisation et la compétitivité des exploitations **(Aidat et *al*., 2023).** La mise en place de ce système a permet de répondre ainsi aux besoins croissants du marché national et aux opportunités d'exportation **(Nourani & Bencheikh., 2019)**. Cependant, la culture sous serre entraîne aussi des changements dans la dynamique biologique des cultures : la diversité d'invertébrés, comprenant à la fois des ravageurs et des auxiliaires, nécessite une gestion intégrée des populations **(Chougar & Medjdoub-Bensaad, 2022)**. Ainsi que certaines maladies cryptogamiques posent un défi majeur, notamment dans des systèmes à forte humidité, ce qui souligne l'importance d'une gestion rigoureuse de l'environnement et des pratiques phytosanitaires **(Aissat et *al.*, 2008)**. Dans ce contexte, la tomate et le piment figurent parmi les principales cultures conduites sous abri, en raison de leur importance nutritionnelle, de leur forte consommation et de leur contribution significative à la génération de revenus agricoles **(El-Sheikh et *al*., 2023).** Toutefois, l'intensification de ces cultures s'accompagne de contraintes importantes, au premier rang des quelles figure la pression phytosanitaire**.**

En effet, Les systèmes de culture sous serre, s'ils favorisent une production maraîchère régulière et de haut rendement, créent également un environnement particulièrement favorable à l'installation et à la prolifération d'insectes nuisibles. Les conditions internes ; températures relativement stables, humidité élevée, forte densité culturale et absence d'ennemis naturels efficaces, constituent un milieu propice à leur développement **(Desneux et *al*., 2010).** Certains de ces ravageurs sont autochtones mais trouvent dans les serres des conditions optimales pour se développer, tandis que d'autres sont des espèces exotiques invasives introduites accidentellement et devenues particulièrement problématiques en raison de l'absence d'ennemis naturels efficaces. Parmi les plus nuisibles figure la mineuse de la tomate, *Tuta*

absoluta (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae), considérée comme l'un des ravageurs les plus dévastateurs des solanacées à l'échelle mondiale depuis son introduction en Méditerranée dans les années 2006–2008 **(Desneux et *al.*, 2010; Biondi et *al.*, 2018)**. Cet insecte est capable de causer des pertes de rendement dépassant 80 % en l'absence de lutte appropriée, en attaquant aussi bien les feuilles que les tiges et les fruits de la tomate **(Campos et *al.*, 2017)**. À côté de ce lépidoptère, les aleurodes tels que *Bemisia tabaci* et *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae) constituent une autre contrainte majeure. Ces insectes, très polyphages, causent des dégâts directs par leur alimentation, mais surtout des dommages indirects liés à la transmission de virus phytopathogènes et à l'excrétion de miellat, favorisant le développement de fumagine et altérant la qualité commerciale des productions **(Navas-Castillo et *al* ., 2011)**. Ainsi, si la culture protégée constitue un gain pour la production maraîchère, elle impose aussi une gestion phytosanitaire rigoureuse et durable afin de limiter la pression exercée par ces bioagresseurs. Leur forte capacité d'adaptation aux environnements protégés et leur dynamique de population rapide rendent leur contrôle particulièrement difficile.

Pour faire face à cette pression, les producteurs recourent majoritairement à l'usage intensif de pesticides chimiques. Cette pratique, perçue comme une solution rapide et efficace, est largement répandue dans les systèmes maraîchers du Sud algérien **(Soudani et *al*, 2020)**. Cependant, l'usage répété et souvent excessif de ces substances entraîne une perte progressive d'efficacité, en raison de l'apparition de résistances chez plusieurs bioagresseurs **(Guedes & Picanço, 2012; Campos et *al.*, 2017).** Cette dépendance accrue pose également des problèmes environnementaux et sanitaires, liés à la perturbation des équilibres biologiques, à la réduction de la biodiversité utile, la contamination des sols et des eaux **(Desneux et *al.*, 2010; Navas-Castillo et *al.*, 2011)**, et surtout présence de résidus de pesticides dans les produits récoltés **(Anastassiades et *al.*, 2003; Abuo El-Kassem et *al.*, 2023).** Ce dernier aspect soulève des préoccupations majeures en matière de santé publique et de sécurité alimentaire. Malgré l'intérêt croissant pour les méthodes alternatives, comme la lutte biologique ou certaines pratiques culturales, leur adoption reste encore très limitée dans la région.

La problématique des résidus de pesticides dans les fruits et légumes est devenue centrale, en particulier dans un contexte de mondialisation des échanges. La consommation de denrées contaminées, même à faibles doses répétées, peut engendrer des effets chroniques sur la santé humaine (neurotoxicité, perturbations endocriniennes, risques cancérogènes) **(Mostafalou & Abdollahi, 2017)**. Face à ces risques, la communauté internationale a instauré des limites

maximales de résidus (LMR)**,** fixées par la FAO, l'OMS (Codex Alimentarius) et renforcées par l'Union Européenne. Ces seuils réglementaires visent à protéger le consommateur et à garantir la compétitivité des produits sur le marché international. Ainsi, toute détection de molécules interdites ou tout dépassement de LMR constitue non seulement un risque sanitaire, mais également un obstacle majeur à la commercialisation **(EFSA, 2020).**

Dans ce cadre, le suivi des résidus de pesticides par des méthodes analytiques fiables, telles que la chromatographie en phase liquide couplée à la spectrométrie de masse (LC-MS/MS)**,** s'impose comme un outil incontournable. Ces approches permettent de détecter simultanément plusieurs molécules à des concentrations très faibles, offrant ainsi une vision précise de la contamination réelle des denrées **(Anastassiades et *al.*, 2003 ; Bouri et *al.*, 2012)**. De nombreuses études internationales, notamment en Égypte **(El Sherif et *al.*, 2024 ; El-Sheikh et *al.*, 2023),** ont montré la diversité et la fréquence élevée des résidus détectés dans les tomates, confirmant l'urgence d'une surveillance régulière. Cependant, dans le contexte algérien, les travaux disponibles demeurent rares, fragmentés et souvent limités à une approche descriptive.

Par ailleurs, l'analyse des résidus de pesticides ne peut être dissociée des pratiques agricoles qui les conditionnent. Les enquêtes auprès des producteurs révèlent généralement une méconnaissance des normes d'utilisation, un non-respect des délais avant récolte (DAR), et une tendance à mélanger plusieurs produits, ce qui accentue les risques de contamination **(Belhadi et *al.*, 2016a)**. Ces comportements trouvent leur origine dans des facteurs multiples : pression économique, manque d'encadrement technique, et accès limité aux alternatives de biocontrôle. De ce fait, comprendre les liens entre pratiques culturales, infestation des ravageurs et résidus de pesticides devient un enjeu scientifique et pratique, permettant de dégager des solutions adaptées au contexte local.

Malgré l'abondance des travaux menés à l'échelle internationale, peu d'études ont adopté une approche intégrée combinant ces trois volets dans les régions arides d'Afrique du Nord. Au Sud algérien, marqué par un climat difficile et une production maraîchère intensive, cette articulation reste quasi inexistante. Les données disponibles concernent soit la dynamique des ravageurs, soit les enquêtes phytosanitaires, soit les analyses de résidus, mais rarement leur mise en relation. Ce manque scientifique limite la compréhension globale du problème et la mise en place de stratégies de gestion durable.

C’est dans ce cadre que s’inscrit la présente étude. Elle vise à contribuer à une meilleure compréhension de la gestion phytosanitaire des cultures sous serre en conditions arides, à travers une approche intégrée. Les objectifs spécifiques sont :

1. Décrire les pratiques culturales et phytosanitaires adoptées par les producteurs du Sud algérien ;
2. Suivre l’évolution spatio-temporelle de l’infestation des principaux ravageurs (mineuse de la tomate et aleurodes) ;
3. Évaluer la contamination des fruits par les résidus de pesticides à l’aide de la méthode QuEChERS couplée à la LC-MS/MS ;
4. Mettre en relation ces résultats afin de dégager des pistes de gestion intégrée et durable, conciliant rendement agricole, sécurité alimentaire et protection de la santé publique.

Partie I.
Synthèse bibliographique

Partie I. synthèse bibliographique

La compréhension des systèmes de production maraîchère et de leurs contraintes nécessite une vision intégrée du milieu physique, des pratiques agricoles et des pressions biotiques auxquelles les cultures sont soumises. Cette présente première partie propose une synthèse bibliographique ciblée sur les déterminants agronomiques, écologiques et sanitaires des systèmes maraîchers sous serre, avec un focus sur le contexte des régions arides et semi-arides et plus particulièrement la région des Ziban l'un des principaux pôles maraîchers du sud algérien.

Cette partie s'organise en quatre chapitres. Le premier chapitre décrit le milieu d'étude (localisation, climat, ressources en eau et en sols) et met en évidence les contraintes agro-environnementales susceptibles d'influencer la dynamique des ravageurs. Le deuxième chapitre traite de la production légumière et de l'intensification maraîchère, en soulignant l'essor de la serriculture et son importance dans la région des Ziban. Le troisième chapitre synthétise les connaissances sur les bioagresseurs majeurs rencontrés en culture protégée ; notamment les mouches blanches (famille des Aleyrodidae) et la mineuse de la tomate (*Tuta absoluta)* en abordant leur systématique, leur bioécologie et leurs impacts économiques. Le quatrième et dernier chapitre est consacré aux pesticides : notions sur les résidus, impacts sur la santé humaine et l'environnement et les methodes d'analyse et de detection.

chapitre 1. Présentation de la région d'étude

1.1. Localisation géographique de la région des Ziban

Située au sud-est de l'Algérie, la région des Ziban constitue une porte d'accès au Sahara. Elle s'étend du Chott Melghir au Sud-Est jusqu'à l'Erg oriental au Sud-Ouest, couvrant une superficie de 2 150 980 hectares. Géographiquement, elle est localisée à 34°48 Nord (latitude) et 05°44 Est (longitude). Son altitude est d'une moyenne de 88 m, au-dessus du niveau de la me **(Hanafi & Alkama, 2016)**. Ses limites territoriales incluent les wilayas de Batna au Nord, Khenchela au nord-est, M'sila au Nord-Ouest, El Oued et Ouargla au Sud, ainsi que Djelfa au Sud-Ouest.

La région des Ziban regroupe deux importantes entités, qui sont le Ziban Est dit «Zab Chergui » à l'Est et le Ziban Ouest dite «Zab Gherbi » à l'Ouest. **(Fig 01)**

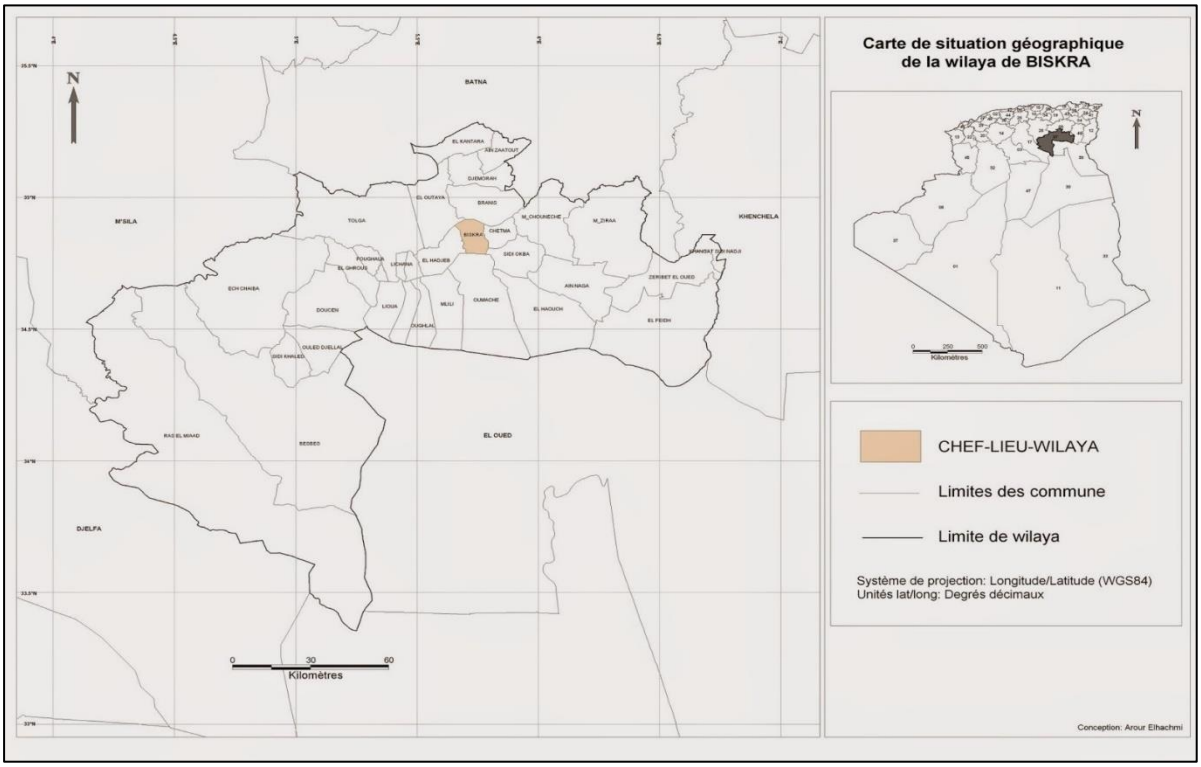


Figure 1. Localisation de la région d'étude (DPSB., 2014)

La région des Ziban fait partie du bassin mésozoïque saharien, délimité au nord par la flexure saharienne, au Nord-Est par les failles de la Djeffara maritime tunisienne, et au Sud ainsi qu'à l'Ouest par des zones d'érosion. Ces dernières indiquent que l'étendue initiale du bassin était plus importante que celle observée aujourd'hui **(Sedrati, 2011)**. La région présente un relief

qui évolue d'une topographie élevée et accidentée au Nord vers un plateau légèrement incliné en direction du Sud **(labdi, 2016., Bouchemal, 2017)**. Elle se distingue par quatre éléments morphologiques principaux : les montagnes, les piémonts, les plaines et les dépressions **(Aïdaoui, 1994 ; Bouchemal, 2017).** À l'Est, une vaste plaine prédomine, traversée par les lits d'Oueds, et occupe environ les deux tiers de la superficie totale. Cette plaine englobe les daïras d'El Outaya, Sidi Okba, Zeribet El Oued ainsi que la commune de Doucen **(Bouchemal, 2017., Rechachi, 2017)**. De manière générale, le relief présente une pente douce s'étendant des chaînes atlasiennes jusqu'aux plaines sahariennes du sud **(Rechachi, 2017).**

1.2. Etude climatique

1.2.1. Analyse des données climatiques.

L'analyse des données climatiques issues de *Tutiempo.net* sur une période de dix ans (2014–2023) **(Tableau 1)** ; révèle que la région étudiée se caractérise par un climat saharien aride, marqué par des températures élevées et une pluviométrie très faible, concentrée sur quelques mois de l'année. Les températures moyennes mensuelles varient de 12,9 °C en janvier à 35,4 °C en juillet, avec une température moyenne annuelle de 23,47 °C. Les précipitations sont particulièrement faibles avec un cumul annuel de seulement 77,35 mm, ce qui confirme l'extrême aridité de la région, concentrées principalement au printemps et au début de l'automne avec un maximum observé en septembre *(*14,58 mm) et un minimum en juillet (0,43 mm). L'humidité relative reste modérée à faible tout au long de l'année (moyenne : 39,3 %), atteignant un minimum critique en été (23,85 % en juillet), ce qui renforce le stress hydrique potentiel. Le vent, d'intensité modérée (13,25 km/h en moyenne), accentue l'évapotranspiration surtout au printemps. Ces conditions climatiques exigent une gestion rigoureuse de l'irrigation et du microclimat sous serre pour assurer un développement optimal des cultures maraîchères.

Tableau 1. Données climatiques mensuelles moyennes de la région d'étude sur la période (2014–2023).

	Température (°C)			PP (mm)	H%	V (Km/h)
	T max	**T min**	**T moy**			
Janvier	18,36	**7,45**	**12,91**	1,32	51,05	13,02
Février	20,03	8,83	14,43	3,91	45,06	13,12
Mars	23,92	11,71	17,82	9,91	40,31	16,78
Avril	28,04	15,85	21,95	13,49	37,07	15,26
Mai	32,32	19,85	26,09	12,32	33,02	15,57
Juin	38,48	25,66	32,07	3,36	26,51	15,25
Juillet	**41,84**	28,91	**35,38**	0,43	23,85	12,8
Aout	40,47	28,23	34,35	1,07	28,94	11,56
Septembre	35,73	24,46	30,10	14,58	38,49	12,03
Octobre	29,62	19,58	24,60	8,20	41,99	10,76
Novembre	22,83	13,38	18,11	4,49	50,2	12,54
Décembre	19,1	8,59	13,85	4,28	55,15	10,25
Moyenne	29,23	17,71	23,47		39,30	13,25
cumul annuel				**77,35**		

(Tutiempo, 2024)

La caractérisation du climat de la région des Ziban été réalisée en combinant deux approches complémentaires : le diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls, et le climagramme pluviothermique d'Emberger.

1.2.2. Synthèse climatique

1.2.2.1. Diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls

Le diagramme ombrothermique illustre l'évolution mensuelle des températures et des précipitations en utilisant une échelle normalisée (P = 2T), ce qui permet de distinguer la durée des périodes sèches et humides au cours de l'année.

Le diagramme ombrothermique **(Fig 02)**, révèle que la région des Ziban se caractérise par une période sèche s'étend sur l'ensemble de l'année. Les faibles apports pluviométriques, inférieurs à 15 mm par mois, combinés à des températures élevées, traduisent un climat aride permanent, sans véritable saison humide. Cette situation impose une dépendance totale de l'agriculture vis-à-vis de l'irrigation pour assurer la production maraîchère.

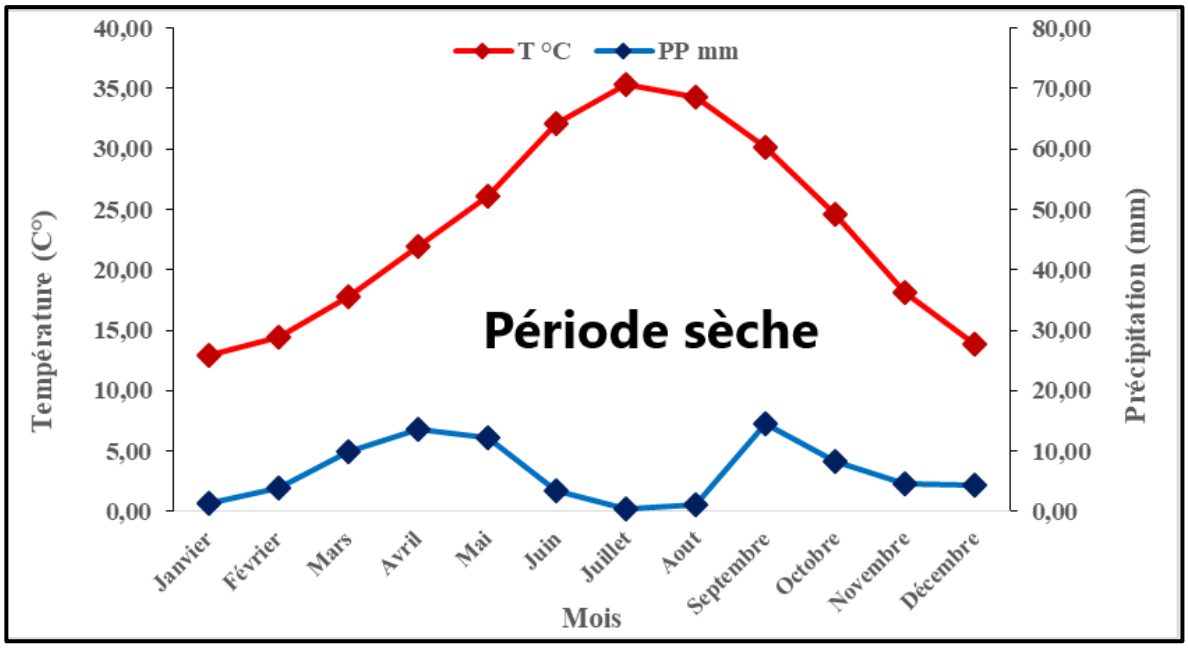


Figure 2. Diagramme ombrothermique de Gaussen de la région d'étude (2014-2023).

1.2.2.2. Climagramme pluviothermique d'Emberger

Le climagramme d'Emberger, pour sa part, est employé afin de définir l'étage bioclimatique de la région. Il s'appuie sur la moyenne des températures minimales du mois le plus froid (m) portée en abscisse, et sur le quotient pluviothermique (Q3) en ordonnée. Ce dernier, spécifiquement adapté au climat algérien, est calculé selon la relation proposée par Le Houérou (1977 ; 1995) :

$$\mathbf{Q3 = \frac{3,43P}{M - m}}$$

Où P : correspond à la pluviométrie annuelle (mm),

M : à la moyenne des températures maximales du mois le plus chaud (°C),

et m : à la moyenne des températures minimales du mois le plus froid (°C).

Le climagramme pluviothermique d'Emberger **(Fig 03)**, construit à partir des données de température et de précipitation de la région de Biskra, confirme le caractère aride du climat local.

Le quotient pluviothermique $Q_3 = (3,43\ P) / (M - m)$, situe la station des Ziban dans l'étage saharien à hiver doux. Avec une pluviométrie annuelle très faible (77,35 mm) et une divergence thermique marqué entre le mois le plus chaud (41,84 °C) et le plus froid (7,45 °C), le calcul donne $Q_3 = 7,72$**.** Ce positionnement illustre un climat caractérisé par un déficit hydrique

permanent, confirmant les résultats obtenus à partir du diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls.

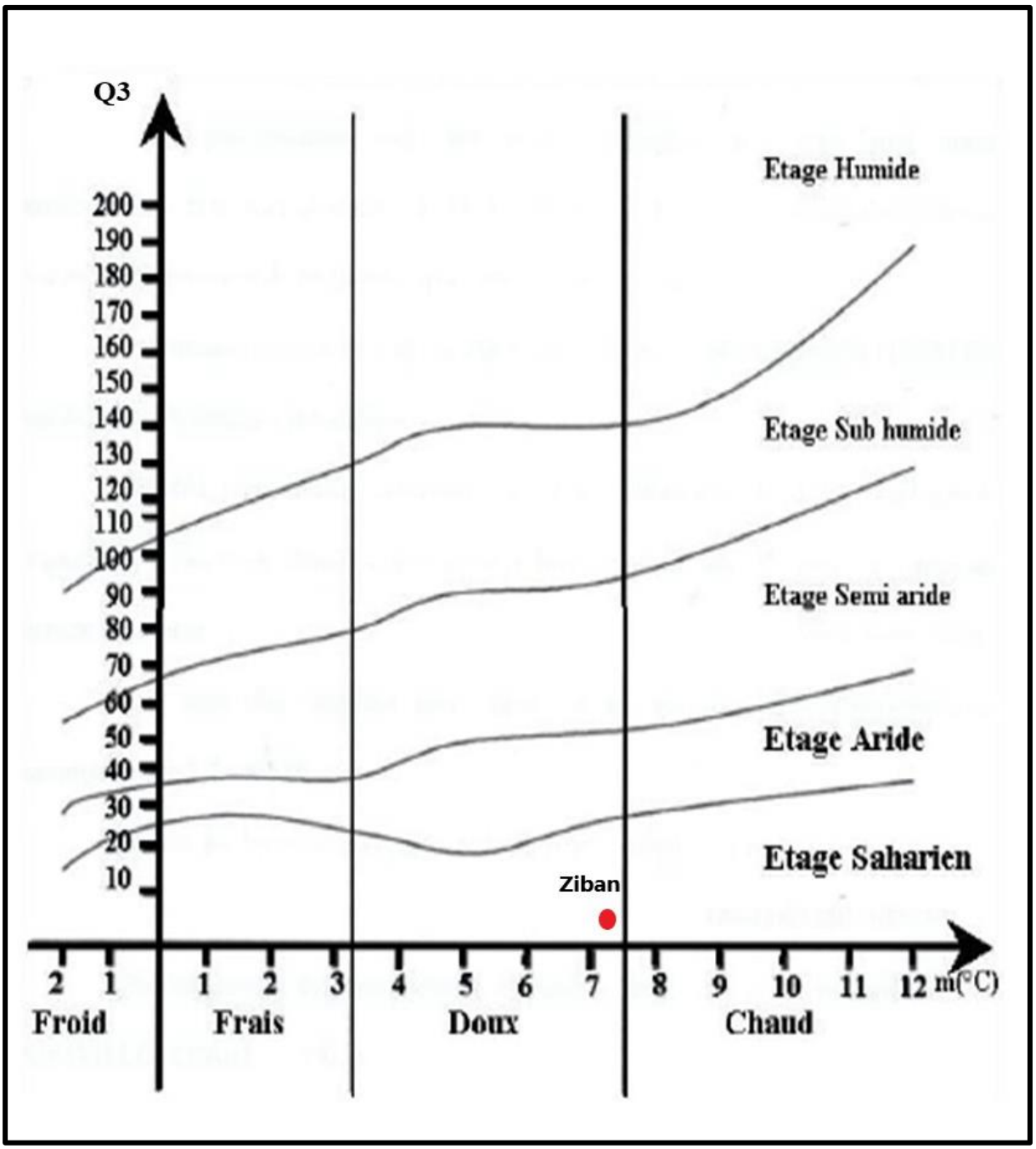


Figure 3. L'étage bioclimatique de région d'étude selon le climagramme d'Emberger.

1.3. Ressources en eaux

Dans la région des Ziban, l'agriculture dépend presque entièrement des ressources en eau souterraines en raison de la faiblesse des précipitations et de l'absence de cours d'eau permanents. Les nappes profondes et semi-profondes constituent ainsi la principale source

d'approvisionnement pour l'irrigation et le développement de la serriculture. Cette disponibilité relative de l'eau a permis l'extension rapide des cultures maraîchères, en particulier sous serre, et a fortement contribué à la dynamique agricole observée depuis plusieurs décennies **(Mebarki, 2005 ; OSS, 2003).**

Cependant, la qualité de ces eaux représente une contrainte majeure pour les systèmes de production. De nombreuses analyses ont mis en évidence une minéralisation souvent élevée, caractérisée par des teneurs importantes en sels dissous, notamment en sodium, chlorures et sulfates. L'utilisation régulière de ces eaux pour l'irrigation favorise l'accumulation progressive des sels dans les sols et accentue les phénomènes de salinité, ce qui affecte directement la croissance des cultures et leur rendement **(Remini et *al*., 2014).**

Par ailleurs, l'intensification de l'activité agricole, associée à l'augmentation des surfaces sous serre, exerce une pression croissante sur les ressources hydriques. Cette exploitation continue peut entraîner une baisse du niveau des nappes et aggraver la dégradation de la qualité de l'eau à long terme **(Naouri et *al*., 2015).** Dans ce contexte, une gestion raisonnée de l'irrigation, fondée sur l'économie de l'eau, le contrôle de sa qualité et l'adaptation des pratiques culturales, apparaît indispensable pour assurer la durabilité des systèmes agricoles dans la région du Ziban.

1.4. Ressources en sols

Les sols du Ziban se forment dans un environnement très sec, ce qui influence fortement leur fonctionnement et leur comportement agronomique. Ils sont généralement peu développés et présentent des caractéristiques qui limitent leur fertilité, notamment une faible richesse en matière organique, une structure peu stable et une activité biologique réduite. Ces conditions rendent les sols peu aptes à retenir durablement l'eau et les éléments nutritifs, ce qui oblige les producteurs à recourir de manière intensive à l'irrigation et aux apports fertilisants pour maintenir des niveaux de production acceptables **(Halitim, 1988 ; Cheverry, 1998).**

La salinité constitue l'une des contraintes les plus sérieuses dans ces sols, en particulier dans les zones agricoles irriguées. Le climat chaud et sec favorise une évaporation importante, tandis que la présence d'une nappe phréatique proche de la surface et l'insuffisance des systèmes de drainage facilitent l'accumulation progressive des sels dans les couches supérieures du sol **(Douaoui et *al*., 2006)**. Cette situation dégrade les propriétés physiques du sol et limite l'absorption de l'eau par les plantes, ce qui se traduit par une baisse des rendements et par des difficultés croissantes dans le choix des cultures adaptées aux conditions locales.

Dans les exploitations maraîchères sous serre, ces déséquilibres sont souvent accentués par l'usage fréquent d'engrais minéraux et par l'irrigation avec des eaux contenant des teneurs élevées en sels. L'accumulation progressive de ces sels aggrave les problèmes de salinité et compromet, à terme, la durabilité des systèmes de production **(Qadir et *al*., 2007)**. La préservation de la qualité des sols repose donc sur des actions correctives telles que l'amélioration de l'évacuation de l'eau, l'enrichissement du sol en matière organique et l'adoption de pratiques culturales visant à limiter l'accumulation saline.

1.5. Impact des conditions climatiques et agro-environnementales sur les ravageurs

Le climat aride, dominé par des températures élevées, une pluviométrie très faible et une humidité limitée, influence non seulement la croissance et le rendement des cultures, mais également la dynamique des ravageurs et des organismes auxiliaires. Les paramètres climatiques constituent en effet un facteur clé dans l'évolution des populations d'insectes nuisibles aux cultures maraîchères. La température agit directement sur la vitesse de développement, la survie et le potentiel reproductif des ravageurs : elle peut accélérer leur cycle biologique lorsqu'elle se situe dans des plages favorables, mais à l'inverse, réduire leur viabilité lorsque les conditions deviennent extrêmes **(Krechemer & Foerster, 2015).**

L'analyse du climat local permet donc de mieux comprendre le comportement des bioagresseurs en conditions de serre. Parmi les facteurs les plus influents, la température et l'humidité relative déterminent largement l'abondance et la répartition des populations d'aleurodes et d'autres ravageurs dans les environnements arides et méditerranéens **(Oliveira et *al*., 2001).** La dynamique des populations de *Bemisia tabaci* est fortement influencée par les conditions climatiques, notamment la température, l'humidité et les précipitations **(Lobin et *al*., 2022)**. Des températures élevées et des conditions de sécheresse favorisent sa capacité de reproduction, entraînant des pullulations importantes **(Guo et *al*., 2013 ; Kriticos et *al*., 2020)**, tandis que les modifications climatiques peuvent perturber les équilibres écologiques en affectant les interactions ravageur–plante et l'efficacité des ennemis naturels **(Bale et *al*., 2002).**

Dans ce contexte, les conditions extrêmes rencontrées dans les régions arides du Sud algérien ; caractérisées par des chaleurs intenses le jour, une faible humidité atmosphérique et d'importantes amplitudes thermiques, peuvent limiter la survie et le développement normal des stades précoces en plein champ. Toutefois, la présence de systèmes de culture irrigués et de serres maraîchères, qui offrent un microclimat plus stable et une disponibilité continue de ressources, favorise la persistance et la prolifération de ces ravageurs dans des milieux où leur

maintien serait autrement compromis. Dans leurs travaux, **Kriticos et al. (2020)** montrent que l'intégration de l'irrigation et de la culture sous serre dans les modèles climatiques modifie largement la zone de répartition potentielle de *Bemisia tabaci*. Ces pratiques agricoles atténuent l'effet des conditions naturelles défavorables et permettent au ravageur de se maintenir dans des régions où le climat seul ne garantirait pas sa survie.

Concernant la mineuse de la tomate (*Tuta absoluta*), il a été démontré que des températures modérées (20 – 25°C) permettent une succession rapide de générations et accentuent la pression parasitaire, alors que des stress thermiques plus marqués (> 35 – 40°C) diminuent la survie et la fécondité **(Biondi et *al.*, 2018 ; Gao et *al.*, 2025).** L'humidité et les précipitations jouent également un rôle en modulant la survie des stades immatures et en influençant la dispersion des populations **(Desneux et *al.*, 2010)**. Des expérimentations menées conjointement en Tunisie et en Italie ont montré que *T. absoluta* se développe de manière optimale à 28 °C avec une humidité moyenne (~52 %), tandis que des conditions plus fraîches ou trop sèches ralentissent sa croissance et limitent sa reproduction **(Cherif et *al.*, 2019)**.

En outre, la faible humidité relative typique des zones arides peut réduire l'efficacité des ennemis naturels (parasitoïdes, champignons entomopathogènes) et limiter les mécanismes de régulation naturelle comme le lessivage des œufs et larves par la pluie. De son côté, le vent constitue un facteur favorisant la dispersion des ravageurs d'une serre à l'autre ou entre parcelles voisines. Dans ces conditions, la combinaison d'éléments abiotiques propices au développement des insectes et défavorables aux régulateurs biologiques contribue à renforcer la sévérité et la persistance des infestations. Cela explique en partie pourquoi les aleurodes et *T. absoluta* représentent des ravageurs particulièrement problématiques dans les zones arides.

La variabilité thermique, associée à une pluviométrie très faible (< 150 mm/an), engendre une évapotranspiration intense et impose une forte dépendance à l'irrigation. L'alimentation en eau des cultures repose essentiellement sur les nappes souterraines et les forages profonds, dont la qualité est fréquemment compromise par une salinité élevée. Cette contrainte hydrique favorise, à moyen terme, la salinisation et la dégradation des sols, limitant leur productivité agricole **(Boudibi, 2021 ; Bannari & Al-Ali, 2020).** Par ailleurs, les sols de la région sont globalement pauvres en matière organique et en nutriments, ce qui conduit à un recours systématique aux engrais chimiques afin de maintenir les rendements. L'association de ces facteurs (stress hydrique, salinisation croissante, appauvrissement des sols et pressions phytosanitaires)

constitue un défi majeur pour la durabilité et la stabilité de l'agriculture sous serre dans cette zone saharienne.

chapitre 2. Production des légumes et intensification des cultures maraichères

2.2. Production mondiale des légumes

Entre 2000 et 2021, la production mondiale des légumes a fortement progressé, passant de près de 682 millions à plus de 1,1 milliard de tonnes, soit une hausse d'environ 70 % **(FAO, 2023)**. Cette expansion est largement tirée par l'Asie, qui concentre à elle seule plus des trois quarts de la production totale. La Chine demeure le leader incontesté avec près de 600 millions de tonnes en 2020, suivie par l'Inde et d'autres pays d'Asie du Sud, mais avec des volumes nettement inférieurs **(FAO, 2023 ; Statista, 2023).**

La carte mondiale de la production **(figure ci-dessous)** illustre cette répartition géographique **(Statista, 2018).** On constate la domination de l'Asie de l'Est (574,4 Mt), suivie de l'Asie du Sud (159,9 Mt) et de l'Asie du Sud-Est (45,6 Mt). En comparaison, les apports des autres continents restent modestes, même si certaines régions comme l'Afrique du Nord (34,1 Mt), l'Afrique de l'Ouest (26,2 Mt) ou l'Amérique du Sud (24,7 Mt) représentent des pôles régionaux importants. Ces données confirment le rôle stratégique de l'Asie dans l'approvisionnement mondial en légumes, en lien avec des conditions agroclimatiques favorables et une forte demande alimentaire.

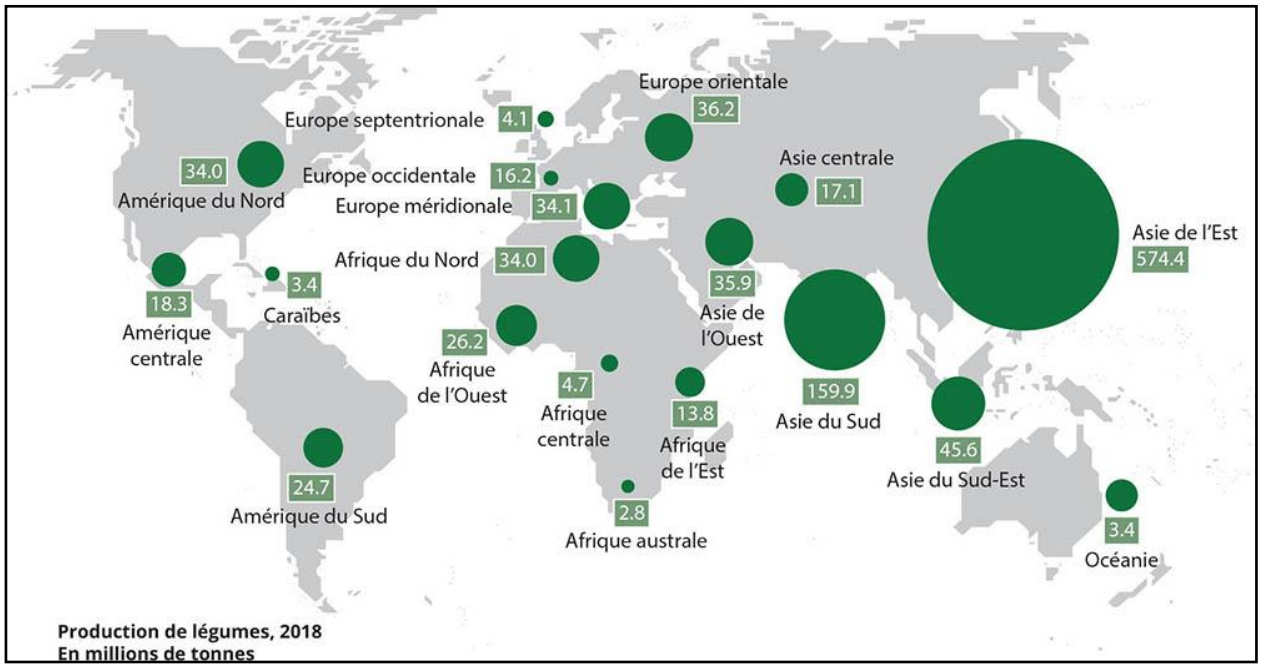


Figure 4. Principales zones productrices des légumes dans le monde en 2018 (Statista, 2023).

2.3. Production nationale des légumes

D'après les données disponibles auprès de la **FAO (2019)**, l'Algérie occupe une place de premier plan sur le continent africain pour la production de certaines filières agricoles majeures, telles que les dattes, la pomme de terre et les cultures maraîchères protégées. À l'échelle nationale, l'Algérie a connu, depuis la fin des années 1980, une transformation notable de son paysage agricole, marquée par une diversification progressive des spéculations et une intensification des cultures maraîchères. Cette dynamique s'explique en grande partie par la mise en œuvre de politiques publiques de grande envergure, notamment l'Accession à la Propriété Foncière Agricole (APFA) et, plus tard, le Programme National de Développement Agricole (PNDA) lancé en 2000, qui ont permis d'élargir les superficies cultivées et de stimuler l'investissement privé **(Aït-Amara, 1999 ; Bouammar et *al*., 2011).** Historiquement centrée sur la phoeniciculture, l'agriculture saharienne s'est progressivement orientée vers les cultures intensives, en particulier les légumes sous serre dans les Ziban et la pomme de terre dans le Souf **(Belhadi, 2017).**

Les statistiques nationales confirment cette tendance : la superficie totale consacrée aux cultures maraîchères (plein champ et sous serre) est passée de 429 417 ha en 2010 à 517 425 ha en 2021, soit une progression de près de 20 % **(Amrouni, 2024)**. Durant la campagne 2020/2021, malgré une légère baisse de la production globale estimée à 146 millions de quintaux contre 150,7 millions l'année précédente **(MADR, 2021),** les légumes ont maintenu leur rôle structurant dans l'économie agricole du pays. Ils représentaient en effet 45,6 % de la production végétale totale, loin devant les céréales (17,5 %) et les fourrages (16,3 %), confirmant ainsi leur place stratégique dans la sécurité alimentaire nationale **(Fig 05)**. Certaines cultures spécifiques, comme l'ail et l'oignon, ont même enregistré des hausses notables, illustrant la capacité d'adaptation et de diversification des producteurs face aux aléas climatiques et économiques.

Parallèlement, les régions sahariennes continuent de jouer un rôle déterminant dans l'évolution du maraîchage algérien. Des wilayas telles que Biskra, El Oued ou encore Ouargla se distinguent particulièrement par l'essor des cultures sous serre, favorisé par les aménagements hydriques et la disponibilité des terres. Cette dynamique témoigne d'un glissement progressif de la production vers le Sud, où les performances agricoles rivalisent désormais avec celles des zones traditionnelles du Nord **(Algérie Éco, 2022)**

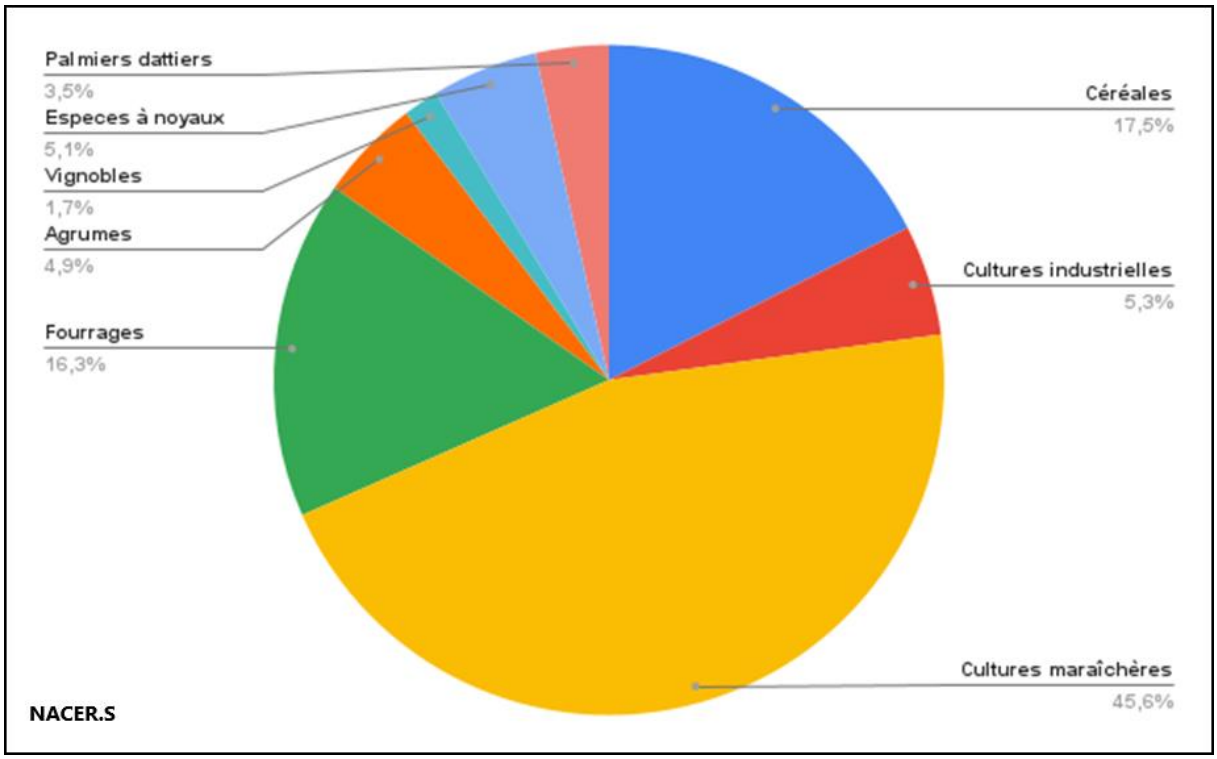


Figure 5. Répartition de la production végétale par filière en Algérie (2019).
Source : Élaboration de NACER. S à partir des données des séries B, MADR.

2.4. Serriculture

La culture maraîchère sous serre a connu en Algérie un développement rapide au cours des vingt dernières années, comme l'évolution observée pour les cultures de plein champ. Les superficies dédiées à la serriculture ont fortement augmenté, passant de moins de 8 000 hectares au début des années 2010 à plus de 21 000 hectares au début des années 2020. Cette progression traduit une intensification marquée de ce mode de production, devenu un levier important pour répondre aux besoins du marché national en produits maraîchers, notamment en période de contre-saison **(Amrouni, 2024).**

Selon les statistiques de l'année 2019 **(MADR, 2019)**, la production maraîchère sous serre en Algérie est fortement concentrée dans certaines régions. La wilaya de Biskra occupe la première place avec une production estimée à plus de 7,2 millions de quintaux, représentant à elle seule plus de la moitié de la production nationale. Elle est suivie par Tipaza (1,2 million qx), Ouargla (873 667 qx), Jijel (818 745 qx) et Mostaganem (646 525 qx) **(Fig 06)**.

Les autres wilayas contribuent avec des volumes inférieurs, traduisant une importance secondaire de l'activité par rapport à ces régions. Ces données confirment la place dominante de la wilaya de Biskra dans le secteur du maraîchage sous serre au niveau national.

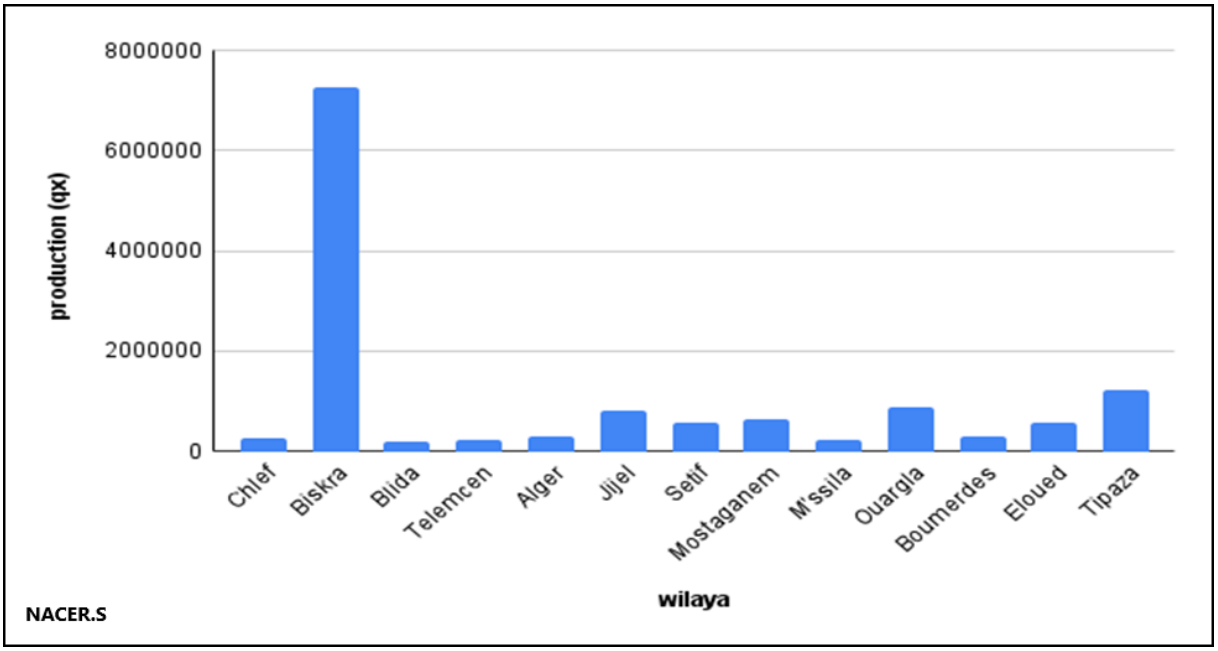


Figure 6. Répartition régionale de la production maraîchère sous serre en Algérie (2019)
Source : Élaboration de NACER.S à partir des données des séries B, MADR.

Le développement de la plasticulture dans le Sahara algérien, et plus particulièrement dans la wilaya de Biskra, remonte au milieu des années 1980, avec l'installation des premières serres maraîchères dans la région des Ziban. Cette transition a profondément transformé un espace historiquement dominé par la phoeniciculture en un bassin majeur de production maraîchère de contre-saison **(Amichi et *al*., 2015 ; Daoudi, 2016).** L'expansion des serres s'est accélérée durant les années 1990, favorisée par l'exploitation accrue des ressources en eau souterraine et par l'émergence d'un entrepreneuriat agricole local dynamique **(Naouri et *al*., 2015)**. Cette trajectoire a été renforcée par des politiques publiques structurantes, notamment l'Accession à la Propriété Foncière Agricole (APFA) de 1983 et le Programme National de Développement Agricole (PNDA) lancé en 2000, qui ont facilité l'investissement dans les infrastructures hydrauliques, l'irrigation localisée et la modernisation des exploitations agricoles **(Aidat et *al*., 2023).**

Cette croissance quantitative s'est accompagnée d'innovations techniques visant à améliorer l'efficacité des systèmes de production. L'introduction de modèles de serres mieux adaptés aux contraintes climatiques locales, l'adoption généralisée de l'irrigation goutte-à-goutte, le recours

à la fertigation et l'installation de dispositifs de protection tels que les filets anti-insectes ont contribué à renforcer la productivité des exploitations. Ces évolutions s'inscrivent dans une démarche progressive d'intensification raisonnée, en cohérence avec les orientations techniques préconisées pour les cultures protégées en zone méditerranéenne et saharienne **(FAO, 2013 ; Hoogerwerf & Amrouni, 2023).**

Aujourd'hui, la région des Ziban constitue un pôle majeur de la serriculture saharienne en Algérie, jouant un rôle déterminant dans l'approvisionnement des marchés nationaux et dans la dynamique économique régionale. Toutefois, l'intensification rapide de ces systèmes de production soulève plusieurs enjeux liés à la durabilité, notamment en ce qui concerne la gestion des ressources hydriques, la dégradation des sols et l'augmentation de la pression phytosanitaire. Ces contraintes appellent à la mise en œuvre d'approches intégrées permettant de concilier performance productive et préservation des agro-écosystèmes **(Aidat et *al.*, 2023).**

2.4.1. La tomate: importance agronomique et contexte de production

La tomate (*Solanum lycopersicum L.*), issue de la famille des Solanacées, est une espèce annuelle de grande importance alimentaire et économique, cultivée aussi bien pour la consommation en frais que pour la transformation industrielle. Elle se distingue par un enracinement pivotant abondamment ramifié, une tige herbacée de port généralement indéterminé et des feuilles composées, de type imparipenné **(Heuvelink, 2005).** Les fleurs, disposées en grappes axillaires, assurent une reproduction majoritairement autogame, bien que la pollinisation puisse être améliorée par l'action des insectes **(Dorais et *al*, 2000)**. La durée de son cycle de développement varie entre 90 et 150 jours en fonction du cultivar et des conditions de culture **(Jones, 2007).**

Les besoins climatiques de la tomate sont spécifiques : elle croît de manière optimale à des températures diurnes comprises entre 20 et 25 °C et nocturnes autour de 15–18 °C ; en revanche, des écarts inférieurs à 10 °C ou supérieurs à 35 °C compromettent la floraison et la nouaison **(Heuvelink, 2005).** Sur le plan pédologique, bien que la tomate s'adapte à une large gamme de sols, ses meilleurs rendements sont généralement obtenus sur des sols profonds, bien drainés et bien structurés (de texture sable-limoneuse à limoneuse), riches en matière organique, avec un pH légèrement acide à neutre (environ 5,5–7,5). **(Adhikari et *al*., 2018)**. Sa conduite culturale repose généralement sur l'utilisation de plants issus de pépinière, combinée à une irrigation localisée, une fertilisation équilibrée, le tuteurage, l'effeuillage et des mesures de protection phytosanitaire adaptées **(Jones, 2007)**.

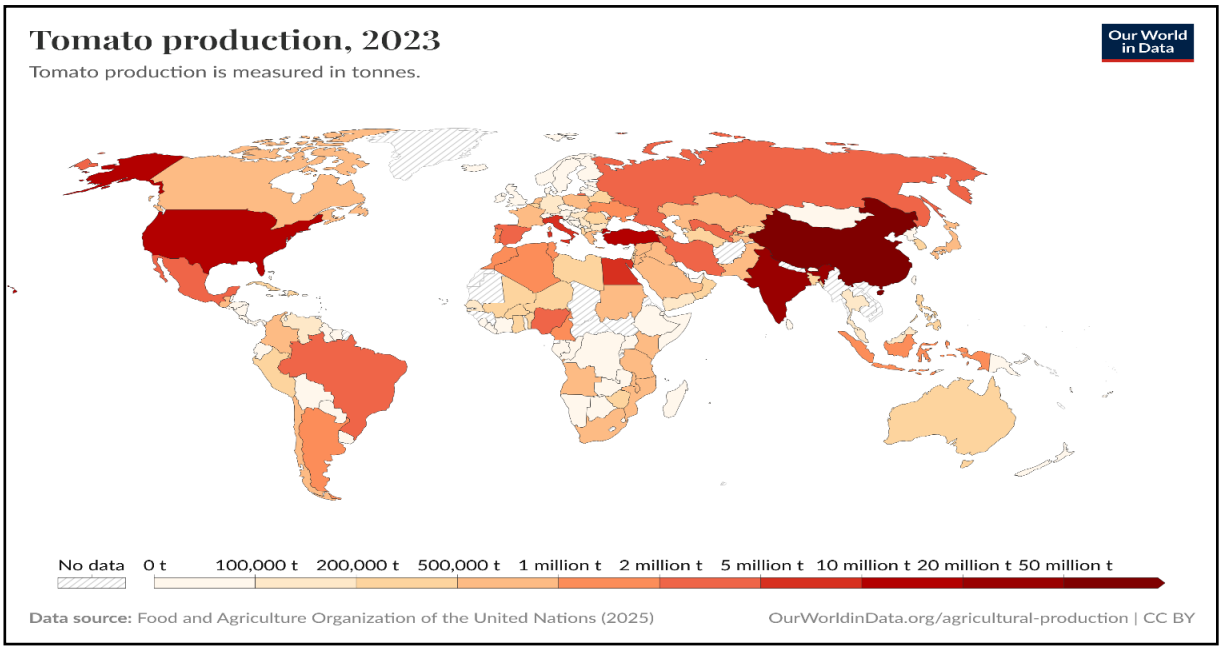


Figure 7. Répartition géographique de la production mondiale de tomate en 2021 (FAO, 2021a ; Our World in Data, 2023)

La tomate (*Solanum lycopersicum L.*) constitue aujourd'hui l'une des principales cultures maraîchères à l'échelle mondiale et occupe une position essentielle dans la sécurité alimentaire et les filières agro-industrielles. D'après les données de la FAO, la production mondiale s'élevait à plus de 189 millions de tonnes en 2021 **(FAO, 2021a)**. La répartition de cette production reste très concentrée : la Chine domine largement avec plus de 64 millions de tonnes, suivie de l'Inde (environ 20 millions t), de la Turquie (13 millions t), des États-Unis (près de 10 millions t) et de l'Égypte (7 millions t) **(FAO, 2021a ; Our World in Data, 2023)**. Le pourtour méditerranéen représente également une zone clé, avec la Turquie, l'Espagne, l'Italie et l'Égypte qui assurent des volumes importants destinés à la consommation locale et à l'export. En Algérie, bien que les quantités restent modestes comparées aux leaders mondiaux, la culture de la tomate est stratégique, notamment sous serre dans la région de Biskra. Une carte de distribution mondiale **(Fig 07)** et un histogramme des principaux producteurs **(Fig 08)** permettent d'illustrer cette répartition.

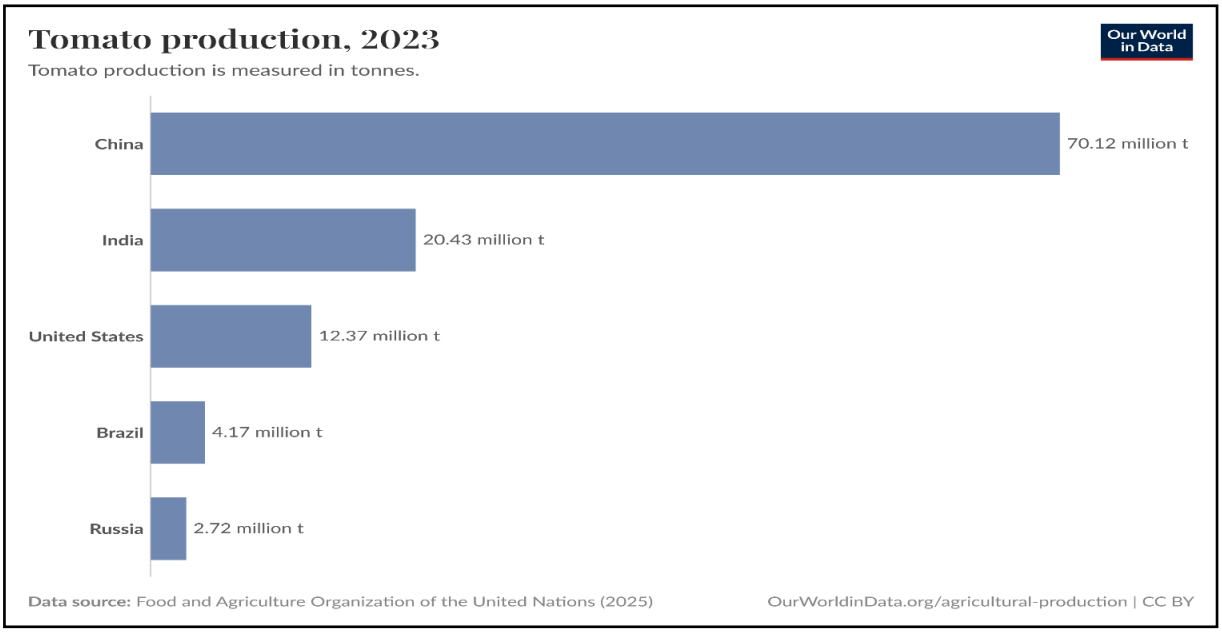


Figure 8. Principaux pays producteurs de tomate dans le monde en 2021 (FAO, 2021a ; Our World in Data, 2023).

2.4.2. Le piment: importance agronomique et contexte de production

Le piment (*Capsicum annuum L.*), appartenant à la famille des Solanacées, est une espèce annuelle cultivée pour ses fruits aux usages multiples, aussi bien frais que transformés. La plante possède un système racinaire fasciculé étalé, une tige herbacée ramifiée et des feuilles simples, ovales et alternes **(Bosland & Votava, 2012)**. Les fleurs, généralement blanches et solitaires, sont autogames mais peuvent également bénéficier d'une pollinisation croisée par les insectes **(Greenleaf, 1986)**. La durée du cycle biologique varie de 90 à 150 jours selon les variétés, les conditions de culture et l'usage visé **(Bosland & Votava, 2012).**

Le piment exige un climat chaud, avec une croissance optimale entre 20 et 30 °C, tandis que des températures inférieures à 15 °C ou supérieures à 35 °C freinent la nouaison et la qualité des fruits **(Oh & Koh, 2019)**. Bien qu'il tolère une diversité de sols, il préfère des sols limono-sableux bien drainés, riches en matière organique, avec un pH compris entre 6,0 et 6,8 **(AVRDC, 2004)**. Sa conduite culturale repose sur la transplantation de plants produits en pépinière, l'irrigation localisée, la fertilisation minérale et organique équilibrée, l'épamprage, ainsi que la protection contre les maladies et ravageurs **(Bosland & Votava, 2012)**.

Grâce à sa richesse en vitamines (notamment C et A), capsaïcinoïdes et antioxydants, le piment constitue une culture stratégique à la fois sur le plan nutritionnel et économique dans de

nombreuses régions, y compris les zones semi-arides **(Bosland & Votava, 2012 ;Ben Abed et *al*, 2022).**

Le piment (*Capsicum spp.*), son importance ne cesse de croître dans les systèmes maraîchers, aussi bien pour les variétés douces que fortes. Les estimations de la FAO indiquent qu'en 2021, la production mondiale de piments verts (*Chillies and peppers, green*) atteignait près de 36 millions de tonnes **(FAO, 2021a).** La Chine occupe une place prépondérante avec environ 16,7 millions de tonnes, loin devant la Turquie (3,1 millions t), l'Indonésie (2,7 millions t) et le Mexique (2,6 millions t). Plusieurs pays méditerranéens se distinguent également : l'Espagne (1,5 million t), l'Égypte (0,86 million t), la Tunisie (0,43 million t) et l'Algérie (0,35 million t), ce qui confirme le rôle majeur de ce bassin dans la production de piments destinés aux marchés régionaux et internationaux. Cette répartition mondiale est représentée par un graphique circulaire **(Fig 09)** mettant en évidence le poids relatif des principaux pays producteurs.

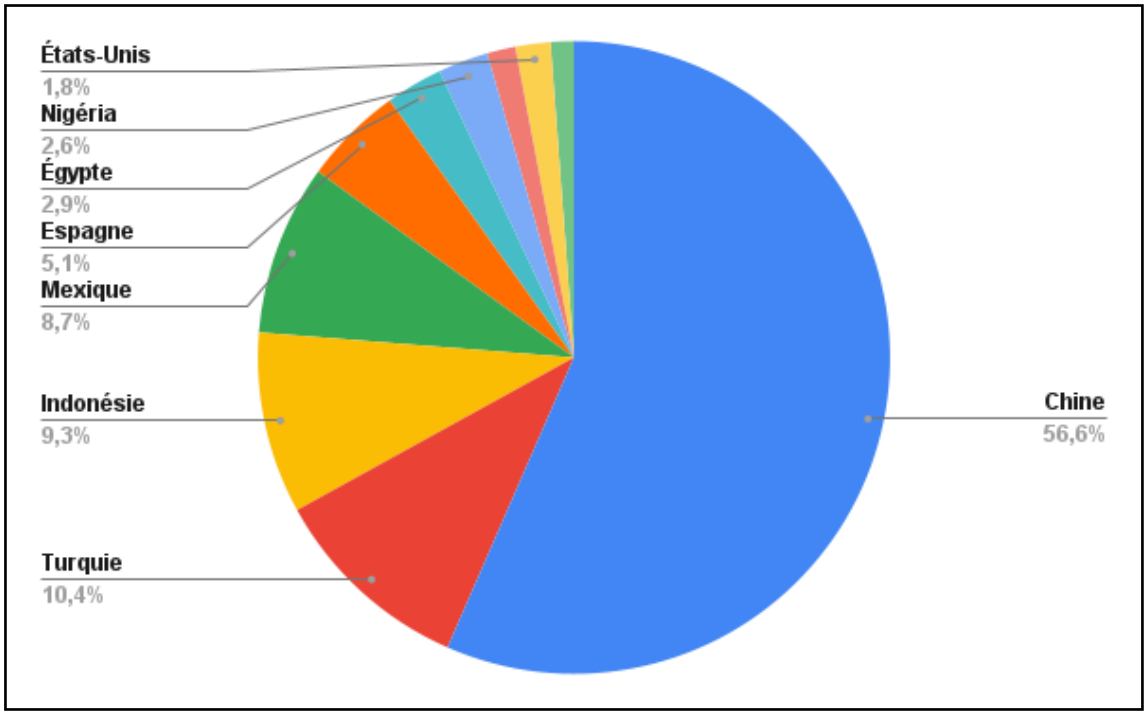


Figure 9. Part relative des principaux pays producteurs de piments verts dans le monde en 2021 (FAO, 2021a).

chapitre 3. Bioagresseurs des cultures maraîchères

3.1. Bioagresseurs des cultures maraîchères

Les cultures maraîchères sont particulièrement vulnérables à l'attaque de bioagresseurs, qui peuvent affecter la croissance, la productivité et la qualité des récoltes. Les bioagresseurs comprennent une variété d'organismes, notamment des insectes ravageurs, des acariens, des nématodes phytoparasites et des agents pathogènes (champignons, bactéries et virus). Leurs effets peuvent être directs, par la dégradation des tissus végétaux, ou indirects, par la transmission de maladies, ce qui représente une contrainte majeure pour la durabilité des systèmes maraîchers **(Hill & Johnson, 1987).**

3.1.1. Insectes ravageurs

Les insectes phytophages constituent l'un des principaux groupes de bioagresseurs affectant les cultures maraîchères, tant par leur diversité que par l'intensité des dommages qu'ils engendrent. Leur impact sur les plantes s'exerce à travers plusieurs modes d'action, notamment la succion de la sève, la consommation des tissus végétaux, la formation de galeries dans les feuilles ou encore l'atteinte des organes reproducteurs. Ces interactions perturbent le fonctionnement physiologique des plantes, entraînant une réduction de la croissance végétative, de l'accumulation de biomasse et, par conséquent, des rendements agricoles **(Savary et *al*., 2019).**

Parmi les insectes phytophages les plus fréquemment associés aux pertes de production figurent les pucerons (famille Aphididae). Ces insectes se nourrissent de la sève élaborée, ce qui provoque un affaiblissement progressif des plantes hôtes. L'excrétion de miellat, caractéristique de leur activité trophique, favorise le développement de la fumagine, limitant la photosynthèse et altérant la qualité des organes végétatifs. En outre, les pucerons jouent un rôle majeur dans la transmission de nombreux virus phytopathogènes, ce qui renforce considérablement leur importance agronomique dans les systèmes de production maraîchers **(Fereres & Raccah, 2015).**

Les aleurodes, en particulier *Bemisia tabaci* et *Trialeurodes vaporariorum*, représentent également des ravageurs d'importance majeure, notamment dans les cultures maraîchères sous serre. Leur alimentation par succion de la sève entraîne des désordres physiologiques comparables à ceux observés chez les pucerons, tandis que la production de miellat contribue à la dégradation de la surface foliaire et de la qualité des fruits. Par ailleurs, certaines espèces d'aleurodes sont reconnues comme vecteurs de virus phytopathogènes, tels que le virus de l'enroulement jaunissant des feuilles de la tomate (*Tomato yellow leaf curl virus*), responsable

de pertes significatives de vigueur et de rendement dans les cultures de tomate et d'autres espèces maraîchères **(Oliveira et *al*., 2001 ; Navas-Castillo et *al*., 2011)**

Les insectes mineurs constituent un autre groupe important de ravageurs des cultures maraîchères, en particulier au stade larvaire. Leur activité se caractérise par la formation de galeries dans les tissus foliaires, résultant de la consommation du parenchyme, ce qui perturbe les échanges gazeux et réduit la surface photosynthétiquement active. Les attaques sévères peuvent entraîner un dessèchement prématuré des feuilles, une diminution de la vigueur des plantes et, dans certains cas, une réduction significative du rendement. Chez la tomate, la mineuse *Tuta absoluta* est considérée comme l'un des ravageurs les plus destructeurs**. (Desneux et *al*., 2010 ; Biondi et *al*., 2018).**

3.1.2. Acariens phytophages

Les acariens phytophages constituent un groupe de ravageurs d'importance croissante dans les systèmes de production maraîchers. Leur mode d'alimentation repose principalement sur la perforation des cellules épidermiques et mésophylliennes, suivie de l'absorption du contenu cellulaire, ce qui entraîne l'apparition de ponctuations chlorotiques sur les feuilles. Ces altérations se traduisent par une diminution de l'activité photosynthétique, un déséquilibre physiologique de la plante et, à terme, un affaiblissement général de la culture **(Bolland, 1998 ; Vacante, 2016).** Parmi les espèces les plus répandues figure *Tetranychus urticae*, dont les infestations sévères peuvent provoquer un dessèchement prématuré du feuillage et une baisse notable du rendement, en particulier dans les cultures maraîchères sous conditions favorables **(Helle & Sabelis, 1985 ; Van Leeuwen et *al*., 2010).**

3.1.3. Nématodes phytoparasites

Les nématodes phytoparasites constituent un groupe important de bioagresseurs du sol, caractérisés par leur taille microscopique et leur aptitude à parasiter principalement les racines des plantes cultivées. Leur activité parasitaire entraîne des altérations anatomiques et fonctionnelles du système racinaire, compromettant l'absorption de l'eau et des éléments minéraux. Parmi ces organismes, les nématodes à galles du genre *Meloidogyne*, sont considérés comme les plus dommageables à l'échelle mondiale. Leur développement dans les tissus racinaires induit la formation de galles caractéristiques, perturbant la croissance des plantes et réduisant significativement leur vigueur **(Moens & Perry, 2009 ; Jones et *al*., 2013).**

Les infestations par les nématodes phytoparasites peuvent provoquer des pertes de rendement importantes dans les cultures maraîchères, lesquelles sont fréquemment sous-estimées en raison

du caractère souterrain des attaques et de l'apparition tardive de symptômes aériens peu spécifiques. Ces ravageurs présentent un large spectre d'hôtes et sont particulièrement problématiques dans les systèmes de production intensifs. Leur gestion repose aujourd'hui sur des stratégies de lutte intégrée combinant pratiques culturales, variétés tolérantes ou résistantes et méthodes alternatives visant à limiter leur impact agronomique et environnemental **(Trudgill & Blok, 2001 ; Nicol et *al*., 2011).**

3.1.4. Agents pathogènes associés

En plus des ravageurs d'origine animale, les cultures maraîchères sont exposées à un ensemble d'agents pathogènes responsables de maladies affectant durablement leur état sanitaire. Les champignons phytopathogènes, tels que *Fusarium*, *Alternaria* et *Botrytis*, ainsi que les bactéries appartenant aux genres *Xanthomonas* et *Pseudomonas*, sont à l'origine de diverses affections foliaires, racinaires ou vasculaires. Ces maladies perturbent les fonctions physiologiques des plantes, entraînant une réduction de la croissance et une altération significative de la productivité des cultures **(Savary et *al*., 2019 ; Agrios, 2005).**

Par ailleurs, les virus phytopathogènes constituent une contrainte majeure en cultures maraîchères, en particulier lorsqu'ils sont transmis par des vecteurs insectes tels que les pucerons, les aleurodes et les thrips. Les infections virales se traduisent fréquemment par des symptômes sévères, incluant le jaunissement et la déformation des feuilles, ainsi qu'un ralentissement ou un arrêt de la croissance végétative. Ces atteintes peuvent engendrer des pertes de rendement substantielles, notamment dans les systèmes de production intensifs, où les conditions favorisent la multiplication des vecteurs et la propagation rapide des virus **(Bragard et *al*., 2013).**

3.2. Bioagresseurs majeurs des cultures maraîchères sous serre

3.2.1. Mineuse sud- américaine de la tomate (*Tuta absoluta)*

3.2.1.1. Systématique

Tuta absoluta (Meyrick, 1917), communément appelée la mineuse de la tomate, est un microlépidoptère de la famille des Gelechiidae. Sa classification systématique est la suivante :

- **Embranchement** Arthropoda ;
- **Classe** Insecta ;
- **Ordre** Lepidoptera ;
- **Super-famille** Gelechioidea ;
- **Famille** Gelechiidae ;

- **Genre** *Tuta*
- **Nom bionomainal :** *Tuta absoluta* Meyrick, 1917
- **Nom commun :** Mineuse de la tomate **(Hogea, 2020)**

L'espèce a connu plusieurs révisions taxonomiques, passant successivement par les genres *Gnorimoschema*, *Scrobipalpula* et *Scrobipalpuloides*, avant que la dénomination *Tuta absoluta* ne soit définitivement retenue dans les années 1990 **(Povolný, 1994).**

3.2.1.2. Origine et répartition mondiale

Originaire de la région andine en Amérique du Sud, probablement du Pérou, *T. absoluta* était initialement restreinte aux zones productrices de tomate en Amérique latine **(Guedes & Picanço, 2012 ; Campos et *al.*, 2017)**, devenant l'un des ravageurs majeurs de la tomate au niveau mondial. À partir des années 2000, elle a progressivement envahi d'autres continents. En Europe, Après sa première détection en Espagne en 2006, l'espèce a envahi rapidement l'ensemble du bassin méditerranéen, comme la France, l'Italie, le Maroc, l'Algérie et l'Égypte **(Desneux et *al.*, 2010 ; Saad et *al.*, 2013),** puis d'autres régions d'Europe, d'Afrique, du Moyen-Orient et d'Asie **(Desneux et *al.*, 2010 ; Biondi et *al.*, 2018).** L'expansion s'est poursuivie vers l'Afrique subsaharienne, où l'espèce est aujourd'hui largement implantée. Elle a été officiellement rapportée au Sénégal en 2012 **(Pfeiffer et *al.*, 2013)**, au Niger en 2013 **(RECA, 2013),** au Nigeria en 2015 **(Aigbedion-Atalor et *al.*, 2020)**, au Burkina Faso en 2016 **(Son et *al.*, 2017)**, ainsi qu'au Cap-Vert **(Mansour et *al.*, 2018).** Cette capacité d'expansion rapide est liée à son potentiel reproductif élevé, à sa grande plasticité écologique et au commerce international des produits végétaux. Aujourd'hui, *T. absoluta* est signalée dans plus de 80 pays, où elle représente une contrainte majeure pour la production de tomate, aussi bien en plein champ qu'en conditions protégées. La répartition géographique actuelle du ravageur est illustrée dans la **Fig 10 (EPPO, 2021)**

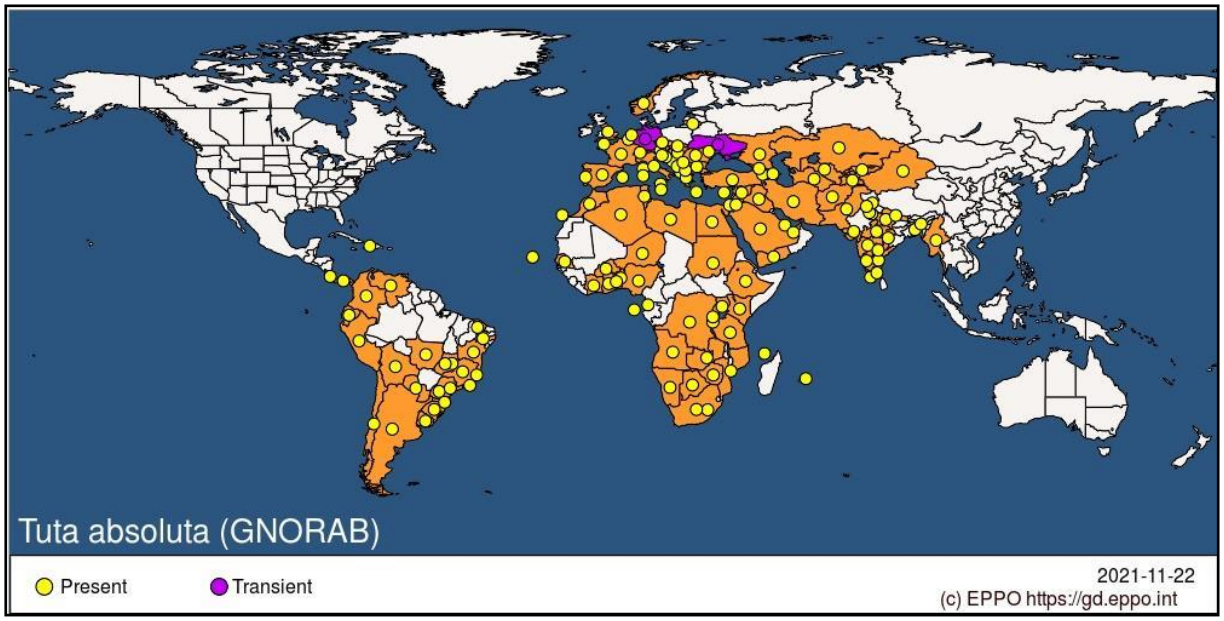


Figure 10. Répartition géographique de *T. absoluta* (EPPO, 2021).

3.2.1.3. Bioécologie

Le cycle biologique de *T. absoluta* varie fortement en fonction de la température. Il est d'environ 30 jours à 25 °C et peut être réduit à 21 jours à 30 °C, tandis qu'à des températures plus basses (15 °C), il peut dépasser 60 jours **(Rey et *al*., 2014 ; Biondi et *al*., 2018).** Ce lépidoptère possède un potentiel reproductif élevé : une femelle peut pondre en moyenne 200 à 260 œufs au cours de sa vie, et plusieurs accouplements sont possibles (**Desneux et *al*, 2010).** En Algérie, des cycles de développement complets ont été observés en 21 jours, avec la possibilité de plusieurs générations successives dans une même saison culturale **(Allache et *al*., 2012).**

Dès l'éclosion, les jeunes larves pénètrent les organes végétaux, principalement les feuilles, où elles creusent des mines caractéristiques contenant excréments et tissus détruits. Ces galeries entraînent une réduction de la photosynthèse et, par conséquent, un affaiblissement général de la plante **(Silva et *al*., 2008 ; Desneux et *al*., 2010).** La nymphose se déroule généralement dans le sol, mais elle peut aussi avoir lieu à l'intérieur des mines ou dans une cavité foliaire **(Torres et *al*., 2002). (Fig 11)**

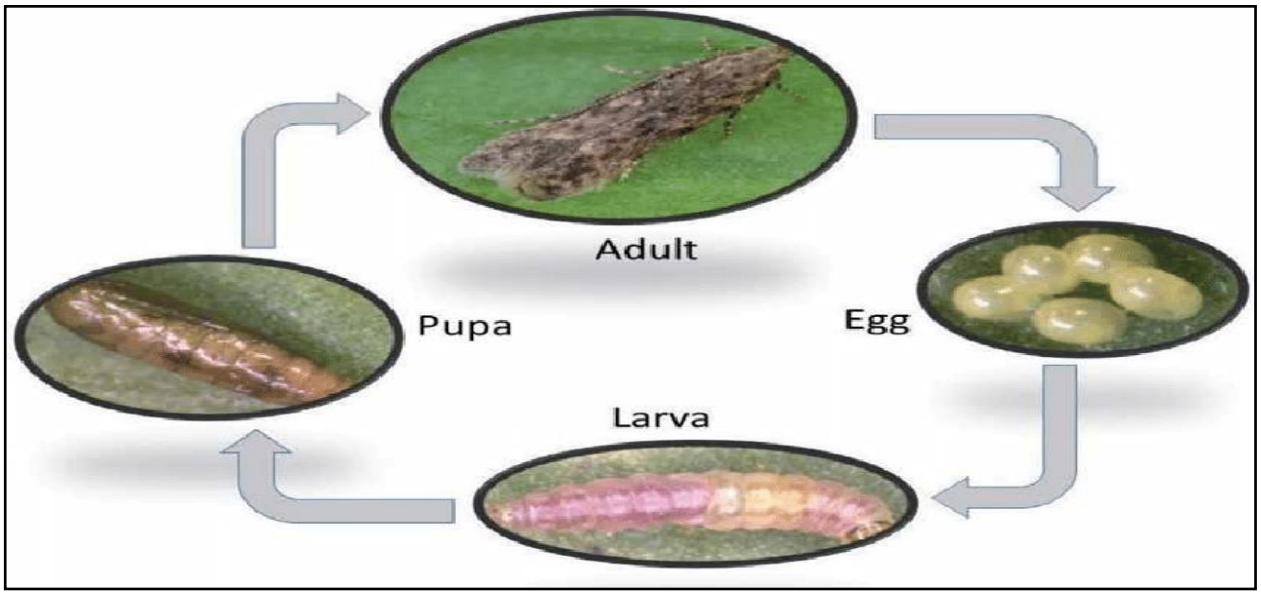


Figure 11. Cycle de vie de la mineuse de la tomate (*T. absoluta*) (El-Shafie., 2020).

Concernant les plantes-hôtes, *T. absoluta* attaque préférentiellement les Solanacées, avec une nette préférence pour la tomate (*Solanum lycopersicum*). Les larves consomment le parenchyme et laissent intacts les épidermes supérieur et inférieur, ce qui permet de distinguer leurs mines de celles des mouches mineuses (*Liriomyza* spp.), généralement plus étroites **(Rey et *al.*, 2014 ; EPPO, 2021).** Les dégâts peuvent varier selon le système de production (serre ou plein champ), le niveau d'intensification et les conditions climatiques locales **(Desneux et *al.*, 2011 ; Biondi et *al.*, 2018).**

3.2.1.4. Impact Économique et méthodes de lutte

L'expansion rapide de *T. absoluta* dans les zones de production de tomate a profondément modifié les équilibres phytosanitaires de cette culture, aujourd'hui c'est un ravageur de première importance à l'échelle mondiale. Les conséquences économiques associées à cette espèce s'expliquent notamment par son potentiel biologique élevé, caractérisé par un cycle de développement court, un nombre important de générations par an et une capacité à coloniser simultanément plusieurs parties aériennes de la plante. Les attaques larvaires affectent directement les tissus végétaux, entraînant une baisse notable de la productivité ainsi qu'une altération de la qualité marchande des fruits **(fig.12)**. Des études réalisées en Afrique du Sud révèlent qu'elle engendre des pertes conséquentes en biomasse, ralentit la croissance des plantes et affecte négativement les échanges gazeux foliaires **(Mahlangu et *al.*, 2022)**.

Figure 12. Symptômes des dégâts de *T. absoluta* sur feuilles et fruits de la tomate (Photo originale réalisée par NACER.S (2023)

Lorsque les populations de *T. absoluta* atteignent des niveaux élevés, les pertes agricoles deviennent particulièrement sévères, en particulier dans les systèmes de culture intensifs où les conditions sont favorables à sa multiplication. En l'absence de stratégies de contrôle efficaces, les dommages peuvent se traduire par une réduction majeure des rendements, pouvant aller jusqu'à compromettre totalement la récolte, notamment en production sous abri. Par ailleurs, les fruits attaqués perdent leur valeur commerciale, même lorsque les pertes en volume restent limitées, ce qui accentue les conséquences économiques pour les producteurs **(Desneux et *al.*, 2010 ; Biondi et *al.*, 2018).**

Au-delà des pertes directement liées à la production, la présence de *T. absoluta* entraîne une augmentation significative des coûts de conduite des cultures. La dépendance à des interventions phytosanitaires fréquentes alourdit les charges d'exploitation et favorise, à moyen terme, l'apparition de populations résistantes aux insecticides. Cette situation réduit l'efficacité des méthodes de lutte conventionnelles et contraint les agriculteurs à adopter des solutions plus coûteuses ou des programmes de protection plus complexes et techniquement exigeants **(Campos et *al.*, 2014 ; Roditakis et *al.*, 2015).**

Les répercussions économiques de ce ravageur dépassent ainsi le cadre de la parcelle cultivée. À une échelle plus large, *T. absoluta* peut fragiliser les filières de production de la tomate en

perturbant la régularité de l'offre et en diminuant la compétitivité des productions locales sur les marchés. Dans les régions méditerranéennes et en Afrique du Nord, où la tomate occupe une place centrale dans l'économie agricole, la maîtrise de ce ravageur représente un enjeu stratégique majeur pour la pérennité des systèmes maraîchers **(Biondi et *al*., 2018 ; Mansour et *al*., 2018).**

La gestion de *T. absoluta* repose sur une combinaison de méthodes chimiques, biologiques et culturales. L'utilisation d'insecticides reste la stratégie la plus répandue, mais l'apparition rapide de résistances à différentes familles (organophosphorés, pyrethroïdes, néonicotinoïdes) limite leur efficacité à long terme **(Silva et *al*., 2008; Guedes & Siqueira, 2012)**. Des cas récents montrent une résistance accrue aux insecticides dans certaines populations, notamment au Nigeria, ce qui complique la lutte chimique **(Bal et *al*., 2022).**

Les méthodes de lutte biologique se sont fortement développées et incluent l'utilisation de parasitoïdes comme *Trichogramma pretiosum* et de prédateurs tels que *Nesidiocoris tenuis*, qui ont montré une efficacité notable dans les serres méditerranéennes **(Urbaneja et *al*., 2012; Biondi et *al*., 2018)**. Les biopesticides à base de *Bacillus thuringiensis* ou d'extraits botaniques (azadirachtine, huiles essentielles) offrent également une alternative intéressante, notamment dans les programmes de gestion intégrée **(Roditakis et *al*., 2013).** Enfin, les mesures culturales telles que l'élimination des résidus de culture, la rotation des cultures et l'utilisation de filets insect-proof contribuent à réduire la pression des populations du ravageur **(Desneux et *al*., 2011)**. Dans ce contexte, les approches intégrées, associant méthodes chimiques raisonnées, agents biologiques et pratiques culturales, apparaissent comme la solution la plus durable pour limiter l'impact de *T. absoluta* sur la production de tomate, comme la montre l'étude de **Mawcha et *al*. (2025)** qui explorent des stratégies de gestion intégrée plus durables, incluant des méthodes alternatives et biotechnologies.

3.2.2. Les aleurodes (Aleyrodidae)

3.2.2.1. Systématique

Les aleurodes (Hemiptera : Aleyrodidae), communément appelés mouches blanches, constituent des ravageurs polyphages de grande importance économique. Ils se nourrissent en aspirant la sève du phloème, ce qui affaiblit la plante, entraîne des pertes de vigueur et favorise l'excrétion de miellat. Ce miellat sert de substrat à la fumagine, qui limite la photosynthèse, et favorise en parallèle la transmission de nombreuses viroses responsables de dégâts sévères **(Byrne & Bellows, 1991 ; Navas-Castillo et *al*., 2011)**

Sur le plan systématique, ces insectes appartiennent à :

- **Embranchement des** Arthropoda ;
- **Classe des** Insecta
- **Ordre des** Hémiptères**,**
- **Sous-ordre des** Sternorrhynches**,**
- **Famille des** Aleyrodidae.

Deux espèces sont particulièrement problématiques en cultures protégées : *Bemisia tabaci* (Gennadius, 1889), espèce largement répandue dans le bassin méditerranéen et connue pour son rôle de vecteur de virus, et *Trialeurodes vaporariorum* **(Westwood, 1856)**, couramment rencontrée dans les serres tempérées **(Onillon, 1976 ; Horowitz et *al*., 2011).**

3.2.2.2. Répartition géographique

Selon **Haddad (2025)**, les deux principales espèces d'aleurodes (*Bemisia tabaci* et *Trialeurodes vaporariorum*) étaient présentes depuis plusieurs années en Algérie, mais elles ne suscitaient pas d'inquiétude majeure chez les producteurs, car leurs dégâts restaient relativement limités. Des suivis plus récents ont toutefois montré que leur répartition s'est progressivement élargie à l'ensemble des zones bioclimatiques du pays. Ainsi, ces ravageurs colonisent aujourd'hui des milieux très diversifiés, avec une abondance marquée de *T. vaporariorum* dans les régions du Nord, alors que *B. tabaci* domine davantage les régions arides et sahariennes **(Benmessaoud-Boukhalfa, 2005).** Cette différenciation géographique souligne l'importance des conditions climatiques et écologiques locales dans la dynamique des populations d'aleurodes.

3.2.2.3. Bioécologie.

Chez les aleurodes, le cycle biologique passe par l'œuf, quatre stades larvaires dont seul le premier est mobile, puis la pupe et enfin l'adulte. Sa durée est fortement influencée par la température et peut se réduire à quelques semaines en conditions chaudes, ce qui explique la rapidité des pullulations observées en cultures sous abri **(Byrne & Bellows, 1991 ; Oliveira et *al*., 2001). (Fig 13)**. Les infestations provoquent différents types de dommages : l'aspiration continue de sève par les larves et les adultes affaiblit la plante, induit des jaunissements, ralentit la croissance et peut entraîner une chute prématurée des feuilles. Les sécrétions de miellat en excès favorisent en outre le développement de fumagine, qui recouvre feuilles et fruits, diminue la photosynthèse et dégrade la qualité commerciale des récoltes **(Gerling et al., 2001)**. Outre ces effets directs, certaines espèces, en particulier *Bemisia tabaci*, sont reconnues comme

vecteurs majeurs de virus, notamment le *Tomato Yellow Leaf Curl Virus* (TYLCV), considéré comme l'un des pathogènes les plus dommageables sur la tomate **(Polston & Anderson, 1997).** Leur caractère polyphage aggrave encore leur impact : ces insectes sont capables d'infester plus de 600 espèces végétales, incluant les principales cultures maraîchères (tomate, poivron, concombre, haricot), certaines grandes cultures comme le coton et le soja, ainsi que de nombreuses adventices et plantes ornementales servant de réservoirs **(Oliveira et *al.*, 2001 ; Navas-Castillo et *al.*, 2011)**.

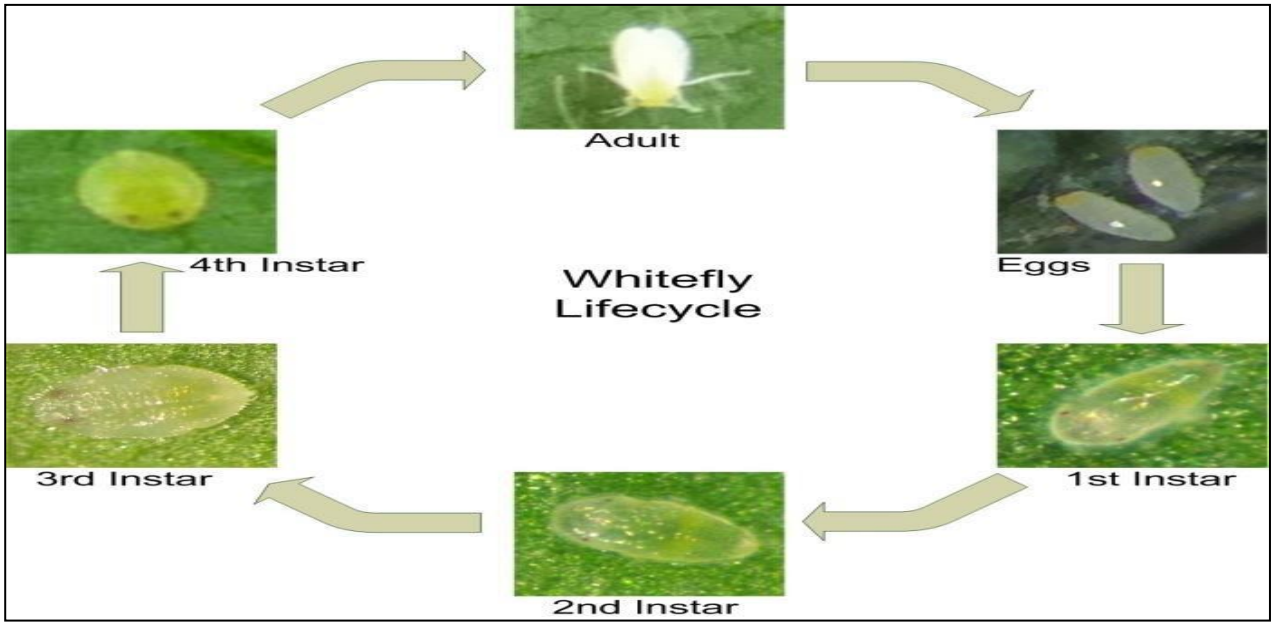


Figure 13. Cycle biologique des aleurodes (Hemiptera: Aleyrodidae) (Barbedo., 2014).

3.2.2.4. Impact Économique et méthodes de lutte

Les aleurodes, principalement *Bemisia tabaci* et *Trialeurodes vaporariorum*, constituent une contrainte économique majeure pour les cultures maraîchères. Leur alimentation par succion entraîne un affaiblissement physiologique des plantes, une réduction de l'activité photosynthétique et, par conséquent, une baisse des rendements, en particulier dans les systèmes de production intensifs et sous serre **(Oliveira et *al.*, 2001 ; Savary et *al.*, 2019)**. La production de miellat, souvent associée aux infestations élevées, favorise le développement de fumagine, ce qui altère la qualité visuelle des fruits et réduit leur valeur commerciale.

L'impact économique des aleurodes est fortement amplifié par leur rôle de vecteurs de virus phytopathogènes. Chez la tomate et d'autres cultures maraîchères, la transmission de virus tels que le Tomato yellow leaf curl virus peut provoquer des pertes de rendement très élevées

lorsque l'infection survient à des stades précoces de développement, tout en entraînant un déclassement commercial des récoltes **(Navas-Castillo et *al*., 2011 ; Bragard et *al.*, 2013).**

Par ailleurs, la gestion des populations d'aleurodes repose fréquemment sur des traitements insecticides répétés, ce qui accroît les charges de production. Cette pression phytosanitaire soutenue a favorisé l'apparition de résistances aux insecticides, rendant les stratégies de lutte plus complexes et plus coûteuses, et affectant ainsi la rentabilité des exploitations maraîchères **(Horowitz et *al*., 2020).**

La lutte contre ces insectes repose sur un ensemble de méthodes combinées. La lutte chimique, bien qu'encore couramment pratiquée, présente des limites importantes en raison du développement rapide de résistances aux principales familles d'insecticides **(Horowitz et *al*., 2020)**. C'est pourquoi des alternatives durables sont de plus en plus recommandées, notamment l'utilisation d'ennemis naturels tels que *Encarsia formosa* ou *Eretmocerus eremicus*, la mise en place de filets insect-proof et le recours à des pratiques culturales limitant la prolifération **(Sani et *al*., 2020; Polston & Capobianco, 2013)**. Dans ce contexte, la gestion intégrée demeure la stratégie la plus efficace pour limiter les populations de mouches blanches et réduire leur impact sur les cultures sous serre

Les mouches blanches, en particulier *Bemisia tabaci* et *Trialeurodes vaporariorum*, sont connues pour développer une résistance marquée à de nombreux groupes d'insecticides en raison de leur forte capacité de reproduction, de la succession rapide des générations et de l'usage intensif des traitements chimiques. Des cas de résistance ont été rapportés dès les années 1990 contre les pyréthrinoïdes et les organophosphorés, puis étendus aux néonicotinoïdes, insecticides largement utilisés en protection des cultures maraîchères **(Horowitz et *al*., 2020).** Des études récentes confirment que certaines populations de *B. tabaci* présentent une résistance multiple, liée à des mutations au niveau des récepteurs cibles (modification de la sous-unité β1 de l'acétylcholine nicotinique) et à une activité accrue d'enzymes de détoxification (cytochromes P450, estérases, glutathion-S-transférases) **(Bass et *al*., 2015 ; Wang et *al*., 2013).**

En Algérie, les observations de terrain suggèrent que l'efficacité de plusieurs molécules couramment appliquées en serre est compromise, notamment contre *T. vaporariorum* dans la région de Biskra, ce qui laisse supposer l'existence de mécanismes de tolérance ou de résistance **(Haddad, 2025)**. La gestion de ce phénomène constitue un défi majeur, car la dépendance

excessive aux traitements chimiques accélère la sélection de souches résistantes, réduisant fortement l'efficacité des stratégies phytosanitaires traditionnelles. Ainsi, la lutte contre les aleurodes nécessite l'intégration de méthodes alternatives (biocontrôle, rotations de modes d'action, lâchers d'auxiliaires) afin de retarder l'évolution de la résistance et garantir la durabilité des programmes de protection **(Gorman et *al.*, 2010 ; Horowitz et *al.*, 2020).**

chapitre 4. Résidus des pesticides et impact environnemental

4.1. Notions générales sur les résidus de pesticides

Les résidus de pesticides désignent l'ensemble des traces détectables de substances actives phytosanitaires, ainsi que de leurs dérivés, tels que les métabolites, les produits de transformation ou certaines impuretés, susceptibles de persister dans ou sur les productions agricoles, les denrées alimentaires transformées et les différents compartiments de l'environnement après l'application des traitements. Cette notion, reconnue à l'échelle internationale, englobe les composés issus des processus de dégradation chimique ou biologique des pesticides, dès lors qu'ils présentent un intérêt du point de vue toxicologique ou environnemental **(FAO & WHO, 2019 ; Codex Alimentarius Commission, 2023).**

Face à ces enjeux, les résidus de pesticides occupent une place centrale à l'interface entre la protection des cultures, la sécurité sanitaire des aliments et la préservation de l'environnement. Afin de garantir la protection du consommateur. Et dans ce cadre, la limite maximale de résidus constitue un repère réglementaire central. Elle correspond à la concentration la plus élevée de résidus autorisée dans une denrée alimentaire ou un aliment pour animaux, exprimée en milligrammes par kilogramme de produit. Les LMR sont établies à partir d'essais réalisés selon les pratiques agricoles recommandées et servent principalement à vérifier que l'utilisation des pesticides respecte les conditions d'emploi prévues. Elles ne représentent pas des seuils de toxicité, mais des valeurs réglementaires permettant de contrôler la conformité des produits et de garantir que l'exposition alimentaire du consommateur reste acceptable **(FAO & WHO, 2019 ; Codex Alimentarius Commission, 2023).**

La présence et le niveau de ces résidus dans les produits agricoles résultent d'une combinaison de facteurs liés aux pratiques phytosanitaires et aux conditions de production. Ils dépendent notamment des caractéristiques intrinsèques des substances actives utilisées, telles que leur persistance, leur solubilité ou leur volatilité, mais également des modalités d'application, incluant la dose, la fréquence des traitements et le respect du délai avant récolte. À ces paramètres s'ajoutent les conditions agro-climatiques, comme la température, l'humidité, l'ensoleillement et la nature du sol, qui influencent fortement le devenir des pesticides et la vitesse de leur dissipation dans l'environnement agricole **(Arias-Estévez et *al.*, 2008 ; Fenner et *al.*, 2013).**

L'évaluation sanitaire associée aux résidus repose également sur la dose journalière admissible, qui correspond à la quantité maximale d'une substance pouvant être ingérée quotidiennement,

tout au long de la vie, sans effet nocif appréciable sur la santé humaine. Cette valeur est déterminée à partir de données toxicologiques expérimentales et intègre des marges de sécurité afin de tenir compte des variations de sensibilité entre les individus. Dans l'analyse du risque alimentaire, les apports estimés issus de la consommation de différentes denrées sont comparés à la DJA afin de s'assurer que l'exposition chronique demeure compatible avec la protection de la santé publique **(FAO & WHO, 2016 ; EFSA, 2015).**

Par ailleurs, la maîtrise des résidus au stade de la production repose en grande partie sur le respect du délai avant récolte. Ce délai correspond à la période minimale devant s'écouler entre la dernière application d'un produit phytosanitaire et la récolte de la culture. Il permet la dissipation progressive des résidus avant la mise sur le marché des produits agricoles. La durée du délai avant récolte varie selon la substance active, les conditions environnementales et le type de culture, et son non-respect peut conduire à des dépassements des limites maximales de résidus autorisées **(FAO, 2017 ; EFSA, 2020).**

Dans les systèmes de production maraîchère intensifs, et plus particulièrement sous abris plastiques, l'usage répété de produits phytosanitaires peut accroître le risque de persistance des résidus dans les fruits et légumes. Les conditions spécifiques des cultures sous serre, marquées par une protection contre les précipitations et une exposition limitée aux facteurs climatiques naturels, peuvent ralentir les processus de dégradation et de lessivage des pesticides. Cette situation est susceptible d'augmenter la probabilité de détection de résidus à des niveaux non négligeables au moment de la récolte, en comparaison avec les cultures conduites en plein champ **(Fantke et *al*., 2012 ; EFSA, 2020).**

4.2. Différents types de résidus de pesticides

Les résidus de pesticides présents dans les denrées agricoles peuvent être classés en fonction de leur origine et de leur nature chimique.

- ✓ **Les résidus primaires** correspondent à la substance active appliquée directement sur la culture. Leur niveau dans les produits récoltés dépend principalement de la dose utilisée, de la fréquence des traitements, des conditions environnementales et du respect du délai avant récolte.
- ✓ **Les métabolites et résidus secondaires** résultent des processus de transformation des substances actives après leur application, sous l'effet de mécanismes chimiques, enzymatiques ou microbiens. Certains de ces composés peuvent présenter une toxicité

équivalente, voire supérieure, à celle de la molécule d'origine, ce qui justifie leur prise en compte dans les évaluations de risques **(Aktar et *al*., 2009 ; Stehle & Schulz, 2015).**

- ✓ **Les situations de multi-résidus** correspondent à la présence simultanée de plusieurs substances actives dans une même denrée, résultant d'applications successives ou combinées de pesticides. Cette exposition multiple peut entraîner des effets additifs ou synergiques, constituant un enjeu important pour l'évaluation du risque sanitaire. Les progrès des méthodes analytiques permettent aujourd'hui la détection et la quantification simultanées de nombreux résidus **(EFSA, 2015).**
- ✓ **Les résidus environnementaux** désignent les pesticides persistants présents dans les sols, les eaux ou l'air, susceptibles de contaminer indirectement les cultures ultérieures et d'affecter les organismes non ciblés, contribuant ainsi à la dégradation des écosystèmes agricoles et naturels **(Geiger et *al*., 2010).**

4.3. Impacts sanitaires des résidus de pesticides

L'exposition humaine aux résidus de pesticides se fait principalement par la consommation de fruits, de légumes et d'autres produits agricoles. Même lorsque les résidus sont présents à de faibles concentrations, une exposition répétée sur le long terme peut représenter un risque pour la santé, en particulier chez les populations les plus sensibles, telles que les enfants, les femmes enceintes et les personnes âgées. Les effets potentiels dépendent de la toxicité des substances concernées, des quantités ingérées et de la durée de l'exposition **(FAO & WHO, 2016 ; EFSA, 2020).**

Dans certains cas, notamment lorsque les bonnes pratiques agricoles ou les délais avant récolte ne sont pas respectés, une exposition aiguë à des niveaux élevés de résidus peut provoquer des effets toxiques immédiats, tels que des troubles digestifs, neurologiques ou respiratoires. Toutefois, dans le contexte de l'alimentation courante, les préoccupations sanitaires concernent surtout les effets d'une exposition chronique à faibles doses, résultant de la consommation régulière de denrées contenant des résidus de pesticides **(Aktar et *al*., 2009).**

Les effets associés à une exposition prolongée incluent des perturbations du système nerveux, endocrinien et immunitaire. Certaines substances actives ou leurs métabolites sont reconnues ou suspectées d'agir comme perturbateurs endocriniens, susceptibles d'interférer avec les fonctions hormonales et le développement physiologique. D'autres pesticides ont été associés, selon plusieurs études, à un risque accru de maladies chroniques, telles que certains cancers,

des troubles de la reproduction et des effets neurodéveloppementaux chez l'enfant **(Mnif et *al.*, 2011 ; Mostafalou & Abdollahi, 2013).**

Un aspect préoccupant de l'exposition aux résidus de pesticides réside dans la présence simultanée de plusieurs substances dans une même denrée ou dans différents aliments consommés quotidiennement. Cette exposition combinée peut conduire à des effets additifs, voire synergiques, qui sont difficiles à évaluer avec des approches toxicologiques basées sur l'étude de substances prises isolément. Les autorités sanitaires soulignent ainsi la nécessité de prendre en compte le risque cumulatif dans l'évaluation des résidus de pesticides **(EFSA, 2015).**

4.4. Effets environnementaux des résidus de pesticides

L'utilisation des pesticides en agriculture contribue à la présence de résidus dans différents compartiments de l'environnement. Après leur application, les substances actives et leurs produits de transformation peuvent quitter la zone traitée et se retrouver dans les sols, les eaux et l'air. Leur comportement dans l'environnement dépend de leurs caractéristiques physico-chimiques, des conditions climatiques et des pratiques agricoles, ce qui influence leur persistance et leur capacité à se déplacer ou à s'accumuler **(Arias-Estévez et *al.*, 2008 ; Fenner et *al.*, 2013).**

Les sols agricoles constituent le principal milieu de stockage des résidus de pesticides. Une partie des substances appliquées peut s'y fixer, s'y accumuler ou être transformée par l'activité biologique. Toutefois, lorsque les apports sont répétés, ces résidus peuvent modifier l'équilibre des micro-organismes du sol et perturber certains processus biologiques essentiels, avec des conséquences possibles sur la fertilité à long terme. Ces effets peuvent être plus marqués dans les systèmes agricoles intensifs, notamment sous serre, où les phénomènes de dilution et de lessivage sont limités **(Ataikiru et *al.*, 2019)**

Les ressources en eau sont également exposées à la contamination par les pesticides. Les transferts vers les eaux de surface ou les nappes souterraines peuvent se produire à la suite du ruissellement, de l'infiltration ou de la dérive lors des traitements. Même à faibles concentrations, la présence de résidus peut avoir des effets négatifs sur les organismes aquatiques, en affectant leur développement, leur reproduction ou leur comportement, et en fragilisant l'équilibre des écosystèmes aquatiques **(Malaj et *al.*, 2014 ; Stehle & Schulz, 2015)**.

Les pesticides peuvent par ailleurs toucher des organismes non ciblés présents dans les agroécosystèmes terrestres. Les pollinisateurs, les auxiliaires de cultures, les oiseaux et les

organismes du sol peuvent être exposés directement ou indirectement aux résidus environnementaux. Cette exposition peut entraîner une diminution de la biodiversité et une altération de services écosystémiques importants, tels que la pollinisation et la régulation naturelle des ravageurs. Plusieurs travaux ont mis en évidence une association entre l'usage intensif de pesticides et le déclin de certaines populations animales en milieu agricole **(Geiger et *al*., 2010).**

Dans les régions arides et semi-arides, notamment dans les zones sahariennes, ces impacts environnementaux peuvent être accentués par la fragilité des écosystèmes et la forte dépendance aux ressources en eau souterraine. Le développement du maraîchage sous serre, associé à une utilisation régulière de produits phytosanitaires, soulève ainsi des enjeux spécifiques en matière de durabilité environnementale. Ces contraintes soulignent la nécessité de promouvoir des stratégies visant à mieux maîtriser l'usage des pesticides et à encourager des pratiques agricoles plus respectueuses de l'environnement **(FAO, 2021b ; Aidat et *al*., 2023).**

4.5. Méthodes d'analyse des résidus de pesticides

L'analyse des résidus de pesticides dans les denrées alimentaires repose sur des méthodes analytiques capables de détecter et de mesurer des substances actives et leurs produits de transformation à de très faibles concentrations. Ces analyses ont pour objectif principal de vérifier la conformité des produits agricoles aux limites maximales de résidus (LMR) en vigueur et de contribuer à l'évaluation de l'exposition du consommateur.

4.5.1. Principales méthodes d'extraction des résidus

Les premières méthodes utilisées pour l'extraction des résidus de pesticides à partir des matrices végétales reposaient principalement sur l'extraction liquide-liquide et l'extraction par Soxhlet. Bien que ces techniques aient permis d'obtenir des résultats fiables, elles présentent plusieurs limites, notamment une consommation importante de solvants, des temps d'analyse longs et un impact environnemental non négligeable, ce qui a conduit à leur usage de plus en plus restreint dans les analyses de routine **(Schenck & Hobbs, 2004).**

Afin de répondre aux exigences croissantes en matière de rapidité et de performance analytique, des méthodes plus récentes ont été développées, telles que l'extraction sur phase solide (SPE), l'extraction assistée par micro-ondes (MAE) et l'extraction accélérée par solvant (ASE). Ces approches permettent une meilleure maîtrise de la purification des extraits et une réduction des volumes de solvants utilisés. Toutefois, leur coût élevé et leur complexité technique limitent parfois leur application aux analyses multi-résidus à grande échelle **(Barker, 2007).**

4.5.2. La méthode QuEChERS

Parmi les méthodes actuellement disponibles, la méthode QuEChERS (Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged and Safe) s'est largement imposée comme une approche de référence pour l'analyse multi-résidus des pesticides dans les fruits et légumes. Introduite pour la première fois par **Anastassiades et *al*. (2003)**, elle est aujourd'hui adoptée par de nombreux laboratoires de contrôle et de recherche en raison de sa simplicité et de son efficacité.

Cette méthode repose sur une extraction à l'acétonitrile, suivie d'une séparation des phases par ajout de sels, puis d'une étape de purification utilisant l'extraction en phase solide dispersive. Elle se distingue par sa rapidité de mise en œuvre, sa faible consommation de solvants et sa capacité à analyser simultanément un large éventail de substances actives. De nombreuses études ont montré que la méthode QuEChERS offre de bonnes performances analytiques pour des matrices complexes telles que la tomate, avec des taux de récupération satisfaisants et une bonne reproductibilité **(Lehotay et *al*., 2010).**

La flexibilité de cette méthode permet également son adaptation en fonction de la nature des matrices et des composés ciblés. L'utilisation de différents sorbants, tels que le PSA, le C18 ou le GCB lors de l'étape de purification, contribue à réduire les interférences liées à la matrice et à améliorer la qualité des résultats analytiques.

4.5.3. Techniques de détection et validation des méthodes

Après l'extraction et la purification, la détermination des résidus de pesticides repose principalement sur des techniques chromatographiques couplées à la spectrométrie de masse. La chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse est généralement utilisée pour l'analyse des pesticides volatils et thermiquement stables, tandis que la chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse en tandem est privilégiée pour les composés polaires, non volatils ou thermolabiles, en raison de sa grande sensibilité et de sa sélectivité élevée **(Niessen, 2006).**

La fiabilité des résultats analytiques repose sur la validation rigoureuse des méthodes employées. Cette validation comprend l'évaluation de paramètres essentiels tels que la limite de détection, la limite de quantification, la linéarité, la répétabilité, la reproductibilité et les taux de récupération. Ces critères permettent de garantir la précision, l'exactitude et la robustesse des analyses réalisées **(European Commission, 2021).**

Les performances analytiques requises sont encadrées par des lignes directrices internationales, notamment celles de la Commission européenne et du Codex Alimentarius, qui définissent les exigences minimales à respecter pour l'analyse des résidus de pesticides dans les denrées alimentaires. Ces cadres réglementaires assurent l'harmonisation des méthodes analytiques et renforcent la fiabilité des données utilisées dans l'évaluation des risques liés à l'exposition des consommateurs **(FAO/WHO, 2017).**

Partie II. Étude expérimentale

Partie II. Étude expérimentale

La présente partie décrit le cadre expérimental, les approches méthodologiques adoptées pour la réalisation de cette étude et les principaux resultats obtenus. Elle est structurée en deux chapitres complémentaires. Le premier chapitre est consacré au matériel et aux méthodes, incluant la présentation des sites d'étude et de leurs caractéristiques agro-environnementales, ainsi que les méthodes d'échantillonnage mises en œuvre pour la collecte des données issues des enquêtes auprès des producteurs, le suivi des infestations sur le terrain et les protocoles d'analyses en laboratoire, garantissant la fiabilité et la reproductibilité des résultats.

Le second chapitre présente les résultats obtenus à partir des investigations de terrain et des analyses réalisées, relatifs aux pratiques agricoles, à la dynamique des ravageurs et à la présence de résidus de pesticides.

chapitre 1. Materiels et methodes

1.1. Présentation des sites d'étude

La région des Ziban présente un pôle très important des cultures maraîchères sous serres. Dans cette région du pays, la plasticulture démontre que les cultures sous serre représentent une alternative efficace pour contourner les aléas climatiques menaçant toujours les activités agricoles **(Cemali, 2022).** Ce qui la permet d'atteindre la première place et première région productrice de cultures protégées à l'échelle nationale, avec 8565 ha en 2023/2024 **(DSA Biskra, 2025),** dont la culture de tomate et de piment occupent les premiers rangs des légumes produites dans la région avec 2458,00 ha pour la tomate et 1531,00 ha pour le piment durant la campagne 2017/2018. Les cultures maraîchères ; en plein champ ou sous serre ; représentent près de 5 % de la Surface Agricole Utile mais génèrent jusqu'à 40 % de la production agricole totale, avec une contribution notable de la région des Ziban, qui fournit 54 % de la production nationale sous serre **(Amrouni, 2025)**. D'autre part, selon **Aidat et *al* (2023)**, la région des Ziban contribue pour environ 37 % à la production nationale de légumes, soulignant un rôle central dans le maraîchage algérien. Ce qui justifie notre choix de realiser notre etude dans cette region du payer. Les communes d'Ain Naga et M'Ziraa (Ziban Est) et de Doucen (Ziban Ouest) ont été sélectionnées pour la réalisation des suivis et de l'echantillonnage **(fig 14).** Chaque site d'étude a été choisi en fonction de sa représentativité agroécologique, de l'accessibilité, de la présence de serres de tomate et de piment, et de la disponibilité des agriculteurs à collaborer.

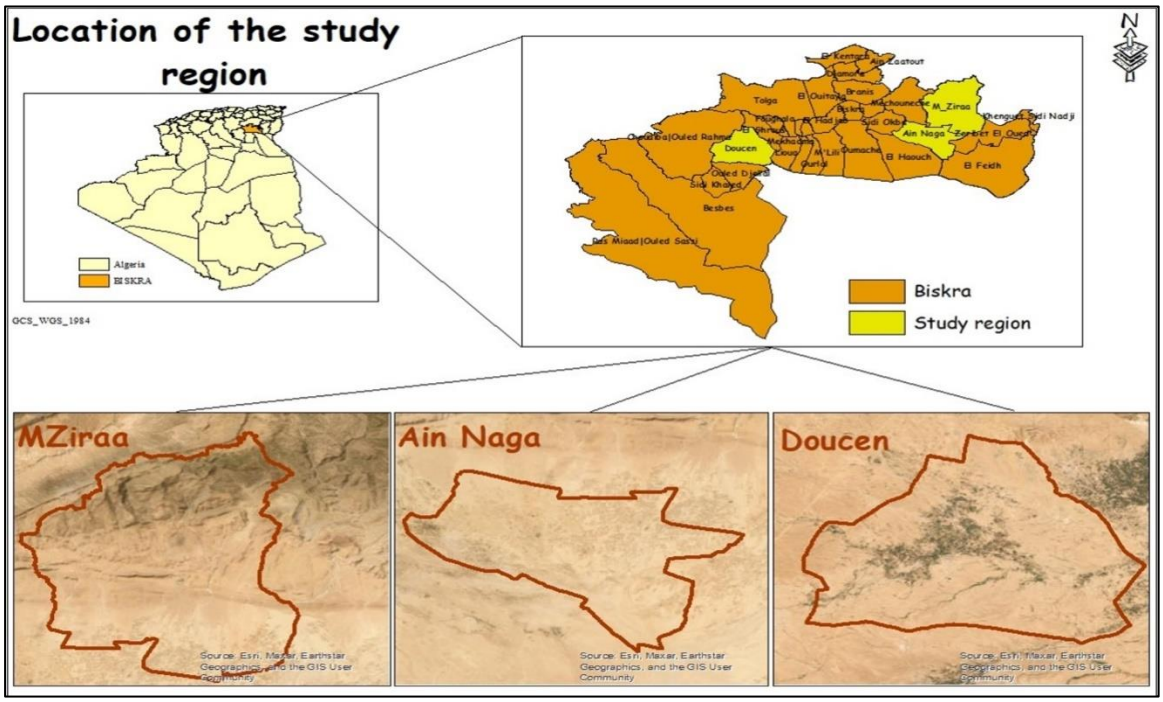


Figure 14. Localisation des sites d'études dans la region des Ziban (CDARS., 2024).

Ces communes se classent parmi les communes pôles en production et fourniture de produits maraîchers frais pour un grand nombre de marchés du territoire national**. (Tableau 02).**

Tableau 2. Principaux communes productrices de cultures maraichères sous serres dans la région des Ziban pour la campagne 2023/2024

Commune	Production (qx)
Ain naga	1 049 961
M'zirâa	3 483 608
Elghrous	642 300
Doucen	954 750
Zribet eloued	769 356
Tolga	432 260

(DSA Biskra, DSA Ouled djellel 2025)

Deux cultures stratégiques de la région des Ziban; la tomate et le piment, sont retenues comme modèles d'étude, en raison de leur importance économique et alimentaire ainsi que de leur forte représentativité dans les systèmes de production sous serre au Ziban.

1.1.1. Présentation générale des exploitations étudiées

1.1.1.1. Site d'Ain Naga

La commune d'Aïn Naga, rattachée à la daïra de Sidi Okba (wilaya de Biskra, Ziban Est), couvre une superficie d'environ 507,8 km² (≈ 50 780 ha). Elle est bordée au nord par Mchouneche et M'Ziraa, au sud par El Haouch et El Feidh, à l'est par El Feidh et Zeribet El Oued, et à l'ouest par Sidi Okba et El Haouch **(Benabadji & Bouazza, 2000).** Pour la réalisation de nos prélèvements, une exploitation est choisie **(Fig 15)**, dans un secteur à climat désertique marqué par des étés très chauds et des hivers froids. La superficie totale de l'exploitation est de 10 ha. Les surfaces dédiées à la culture sous serre représentent une part dominante de l'assolement. L'exploitation comprend 25 serres, généralement de type tunnel. Les principales cultures maraîchères conduites sous serre sont la tomate (variété.Tofane) et le piment (variété.Prince). La densité de plantation appliquée est de 900- 950 plants pour tomate et de 900 – 1000 plants pour piment. Pour la tomate, l'écartement moyen observé est de 40 -45 cm entre les plants sur la ligne et de 80 cm entre les lignes, Pour le piment, l'écartement est généralement de.30 – 35 cm inter plant, et 90 cm entre lignes. La fertilisation principalement réalisée par fertigation. L'irrigation est assurée par un système localisé de type goutte-à-goutte, permettant un apport contrôlé en eau et en éléments nutritifs.

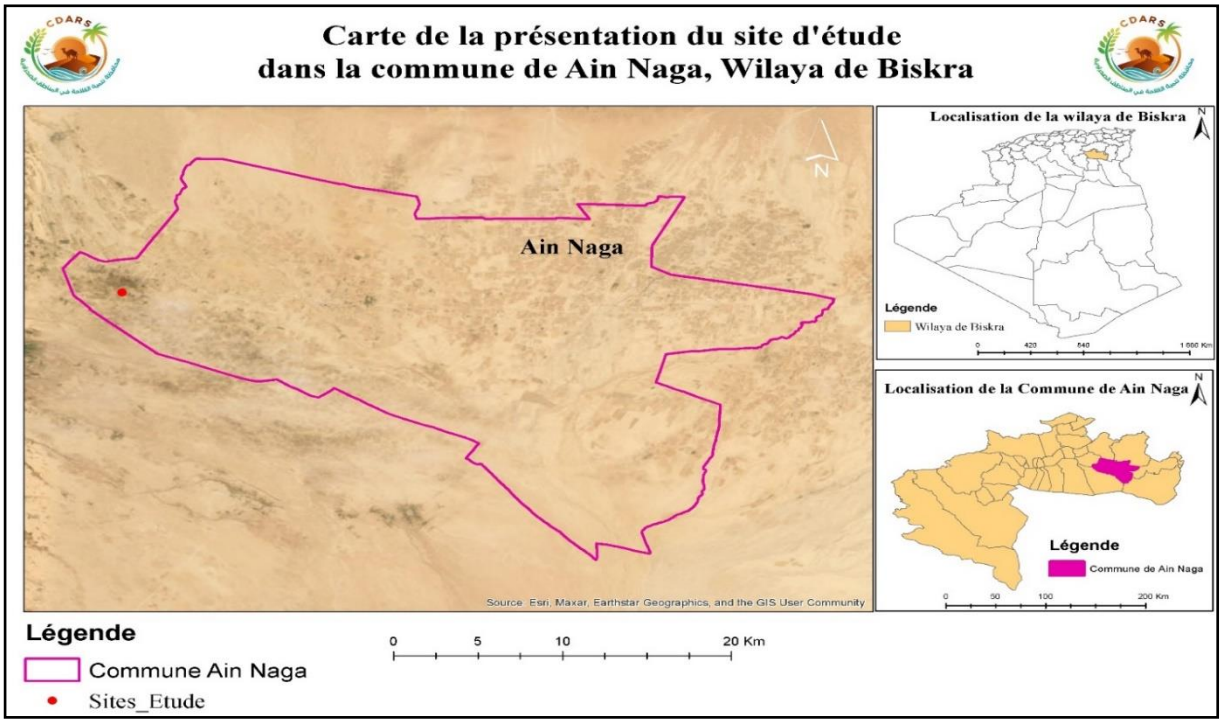


Figure 15. Localisation de l'exploitation d'étude dans le site d'Ain Naga (CDARS., 2024).

1.1.1.2. Site de M'Ziraa

La commune de M'Ziraa, située dans la partie orientale des Ziban et relevant de la daïra de Sidi Okba (wilaya de Biskra, Sud-Est algérien), couvre une superficie d'environ 220 km² et est bordée au nord par El Haouch, au sud par Ain Naga, à l'est par Sidi Okba et à l'ouest par Zeribet El Oued. Cette zone illustre l'essor du marché maraîcher sous abris plastiques, notamment la culture de la tomate, du poivron et du piment, qui constituent une activité agricole structurante **(Amrouni, 2025)**. Dans l'exploitation ciblée par cette étude, considérée représentative de la région **(Fig 16)**, la superficie totale est de 30 ha. Les surfaces dédiées à la culture sous serre représentent une part dominante de l'assolement. L'exploitation comprend 54 serres, dont 4 de type canarienne et le reste de type tunnel. Les principales cultures maraîchères conduites sous serre sont la tomate (variété.Hayat) et le piment (variété.Prince) ainsi que d'autres cultures (poivron, comcombre et tomate cerise). La densité de plantation appliquée est de 900- 950 plants/serre pour tomate et de 900 – 1000 plants/serre pour piment. Pour la tomate, l'écartement moyen observé est de 40 -45 cm entre les plants sur la ligne et de 80 cm entre les lignes, Pour le piment, l'écartement est généralement de.30 – 35 cm inter plant, et 90 cm entre lignes. La fertilisation principalement réalisée par fertigation. L'irrigation est assurée par un système localisé de type goutte-à-goutte, permettant un apport contrôlé en eau et en éléments nutritifs.

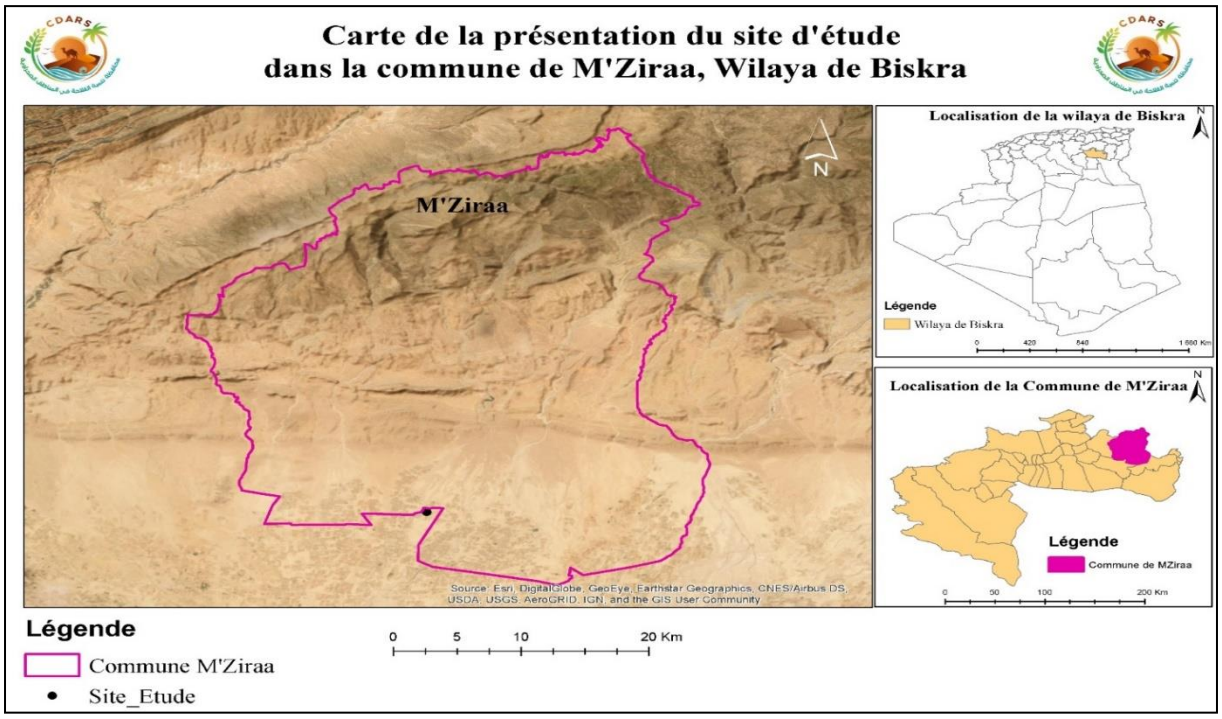


Figure 16. Localisation de l'exploitation d'étude dans le site de M'Ziraa (CDARS., 2024).

1.1.1.3. Site de Doucen

La commune de Doucen, située dans la partie occidentale de la région des Ziban, est aujourd'hui rattachée à la wilaya d'Ouled Djellal, bien qu'elle ait fait partie de la wilaya de Biskra avant le redécoupage administratif de 2019. Elle se trouve approximativement à 80 km au sud-ouest de Biskra, à 20 km au nord d'Ouled Djellal**,** à une altitude estimée entre 100 et 317 mètres, selon les sources. Elle s'étend sur une superficie de 629.43 km^2. Elle est limitée au Nord et à l'Ouest par la commune de Chaaiba, au Sud par les communes d'Ouled Djellal et de Still, à l'Est par la commune d'El-ghrous **(Hafnaoui, 2009).** ET couvre une superficie d'environ 629,43 km^2**.** Pour la réalisation de nos prélèvements, deux exploitations sont choisies l'une pour la tomate et l'autre pour le piment **(Fig 17)**. La superficie totale de la premiere exploitation est de 25 ha, comprend 14 serres de piment (varieté locale), généralement de type tunnel. La deuxieme exploitation d'une superficie totale de 9 ha, avec un nombre total de serres est de 10, dont 5 dediées pour la tomate (varieté Jamila). La densité de plantation appliquée est de 900- 950 plants /serre pour tomate et de 900 – 1000 plants /serre pour piment. Pour la tomate, l'écartement moyen observé est de 40 -45 cm entre les plants sur la ligne et de 80 cm entre les lignes, Pour le piment, l'écartement est généralement de.30 – 35 cm inter plant, et 90 cm entre lignes. La fertilisation principalement réalisée par fertigation. L'irrigation est assurée par un

système localisé de type goutte-à-goutte, permettant un apport contrôlé en eau et en éléments nutritifs.

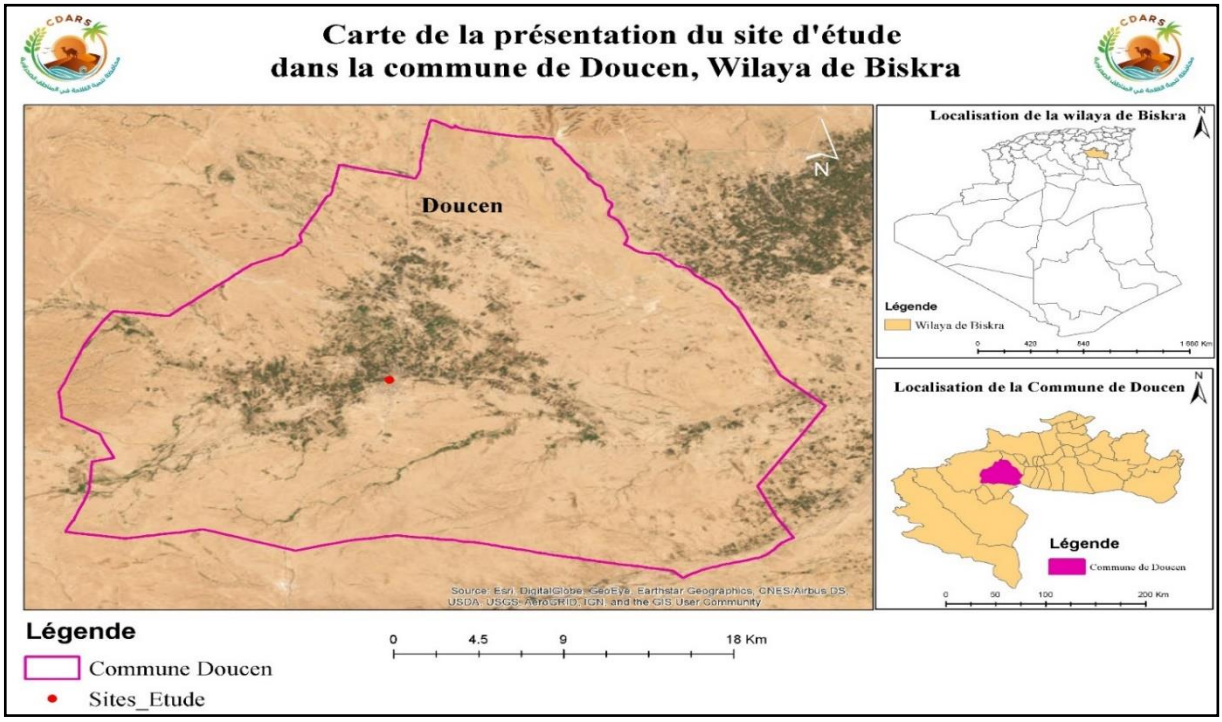


Figure 17. Localisation de l'exploitation d'étude dans le site de Doucen (CDARS., 2024).

1.1.2. Conditions édaphiques et hydriques des exploitations étudiées:

1.1.2.1. Propriétés physico-chimiques des sols

Le sol de l'exploitation étudiée dans le site Ain Naga présente une texture limono-sableuse, un pH alcalin de 8,10, une teneur élevée en calcaire total (33,3 %), une conductivité électrique modérée (CE = 1,89 dS/m), et une matière organique relativement riche (MO = 2,61 %), traduisant une fertilité naturelle appréciable malgré la contrainte calcaire. Dans le deuxième site (M'Ziraa) le sol de texture limoneuse affiche un pH alcalin de 8,01, une teneur élevée en calcaire (34,8 %) et une salinité modérée (CE de 1,89 dS/m), laquelle réduit la fertilité, d'autant plus que la matière organique reste très faible (0,52 %). Tandis que pour le dernier site (Doucen) L'exploitation ciblée dans cette zone porte sur la culture de la tomate et se caractérise par un sol à texture argilo-sableuse**,** de pH 8,02, avec un teneur en calcaire de 28,3 **%** et une conductivité électrique élevée (CE = 5,13 dS/m), soulignant une forte salinité. La matière organique reste très faible *(*MO = 0,52 %). Par ailleurs, une culture de piment dans la même région révèle un sol limono-sableux avec un pH de 8,00, un calcaire à 27,1 %, et une salinité plus basse (CE = 0,67 dS/m) Avec une teneur modérée en matière organique *(*MO = 1,30 %).

. (Tableau 03, 04).

Tableau 3. Caractéristiques granulométriques et classes texturales des sols des sites d'étude

Sites	% argile	% limon fin	% sable grossier	% sable fin	% limon grossier	Texture
Ain Naga	30.80	15.05	7.76	45.96	0.43	Limon-sableuse
M'Ziraa	14.24	61.61	0.78	12.65	10.72	Limoneuse
Doucen Tomate	17.57	39.39	1.57	22.50	18.97	Argilo-sableuse
Doucen Piment	20.00	29.79	5.42	34.74	10.05	Limon-sableuse

Tableau 4. Propriétés physico-chimiques des sols des sites d'étude

Sites	PH	Caco3 %	CE ds/m	C%	Mo%
Ain Naga	8.1	33.29	1.89	1.52	2.61
M'Ziraa	8.01	34.83	1.89	0.304	0.52
Doucen Tomate	8.02	28.25	5.13	0.304	0.52
Doucen Piment	8.00	27.09	0.67	0.76	1.30

1.1.2.2. Qualité des eaux d'irrigation

Dans le site d'Ain Naga l'eau d'irrigation affiche un pH de 7,20 et une CE de 2,20 dS/m, valeurs globalement compatibles avec les cultures maraîchères sous abri. L'eau d'irrigation de l'exploitation ciblée par cette étude dans le site de M'Ziraa a un pH de 6,63 et une conductivité de 1,40 dS/m. tandis que dans le site de Doucen, l'exploitation ciblée qui porte sur la culture de la tomate son eau d'irrigation affiche un pH de 6,78 et une CE de 1,90 dS/m. quant à l'exploitation qui porte sur le piment l'eau d'irrigation utilisée présente un pH de 6,75 et une CE de 2,50 dS/m. **Tableau (05).**

Tableau 5. Propriétés physico-chimiques des eaux d'irrigation des sites d'étude

Sites	PH	CE ds/m
Ain Naga	7.2	2.2
M'Ziraa	6.63	1.4
Doucen Tomate	6.78	1.9
Doucen Piment	6.75	2.5

1.2. Méthodes de suivi et de collecte des données.

1.2.1. Méthodologie de l'enquête auprès des agriculteurs

La collecte d'informations repose certainement sur un ensemble de questions bien structurées. À ce titre, l'enquête par questionnaire constitue un outil fondamental, permettant d'obtenir rapidement des données pertinentes. Toutefois, l'élaboration d'un questionnaire ne se limite pas à la simple formulation de questions : elle exige la définition d'objectifs clairs, une méthodologie adaptée, une organisation rigoureuse ainsi qu'un investissement conséquent en termes de temps et parfois de moyens financiers. Le succès de cette approche dépend essentiellement d'une formulation adéquate des objectifs, d'un choix judicieux de l'échantillon et d'une conception soignée des items.

Dans notre travail, afin d'appréhender de manière plus précise les pratiques agricoles et l'usage des produits phytosanitaires, une enquête a été menée auprès des agriculteurs des sites retenus. Cette démarche visait à recueillir des informations détaillées sur l'utilisation des pesticides et sur les itinéraires techniques appliqués, dans le but d'apporter des éléments de réponse à la problématique posée et d'identifier les pratiques susceptibles de limiter l'impact des bioagresseurs.

1.2.1.1. Questionnaire

L'échantillon enquêté était constitué de 150 serriculteurs au total pris au hasard dans les trois communes (Ain Naga, M'Ziraa et Doucen), dont 50 serristes maraîchers pour chacune, les entretiens se sont étalés du mois d'octobre 2021 au mois de juin 2022, Ce questionnaire est réalisé de manière à :

- Étudier les pratiques phytosanitaires des exploitants agricoles au niveau de leurs cultures sous serre, leurs rôles dans l'efficacité des traitements et leurs effets sur la santé humaine.
- Etudier les pratiques culturales et leurs importances dans la diminution des dégâts des principaux ravageurs.
- Avoir toutes les données nécessaires pour évaluer le savoir-faire des serristes concernant l'efficacité des traitements.

Les éléments abordés dans le questionnaire portent sur 4 parties :

1. Description de l'exploitant :
   - ✓ Le niveau d'instruction du chef de l'exploitation ou de l'ouvrier chargé de l'exploitation le cas échéant,
   - ✓ L'âge du chef de l'exploitation ou de l'ouvrier chargé de l'exploitation le cas échéant,

- ✓ La formation agricole du chef de l'exploitation ou de l'ouvrier chargé de l'exploitation le cas échéant,

2. Description de l'exploitation
   - ✓ superficie totale de l'exploitation ainsi que celle destiné à la production maraichère,
   - ✓ les principaux légumes pratiquées sous serre,

3. Pratiques culturales
   - ✓ Désherbage ; type et fréquence,
   - ✓ Gestion des mauvaises herbes arrachées,
   - ✓ Rotation des cultures,
   - ✓ Effeuillage (taille des plants),
   - ✓ Utilisation du filet insecte proof,
   - ✓ Type de semences utilisées et la production des plants,

4. Pratiques phytosanitaires
   - ✓ Principaux problèmes phytosanitaires et principaux produits utilisés,
   - ✓ Type et période de traitement,
   - ✓ Choix du produits et calcul des doses,
   - ✓ Changement du produit,
   - ✓ Mélange des produits dans une seule bouillie,
   - ✓ Fréquence de traitement et respect des doses recommandées,
   - ✓ Respect du DAR,

Les données ont été collectées à l'aide d'un questionnaire structuré **(voir Annexe I).**

1.2.1.2. Le dépouillement des informations de l'enquête et le traitement des données

Les informations collectées ont été saisies et codifiées puis traitées et analysées au moyen du logiciel XLSTAT version 2014 .5.3 et Microsoft Excel 2013.

1.2.2. Méthode d'échantillonnage et suivi des ravageurs

Notre échantillonnage était basé sur deux principes, accessibilité à l'exploitation et l'acceptabilité par les agriculteurs de réaliser nos observations.

1.2.2.1. Cas de la tomate

1.2.2.1.1. Évaluation des niveaux de risque selon les captures des mâles de *T. absoluta*

Des pièges à phéromone de type Delta étaient installés au milieu de chaque serre **(Fig 18)**, au-dessus des plants de la tomate, à raison d'un piège par serre (400 m^2) selon les normes établis

par **Montserrat-Delgado (2008)**, pour capturer les adultes mâles de la mineuse, le dénombrement des mâles capturés est effectué une fois par semaine. Les niveaux de risque selon les captures ont été calculés selon les normes proposées par **Montserrat Delgado (2008)** comme suit :

- Pas de risque d'attaque : 0 capture par semaine.
- Risque faible d'attaque : moins de 10 captures par le mois ou moins de 3 captures dans la semaine.
- Risque modéré d'attaque : 3 à 30 captures dans la semaine.
- Risque élevé d'attaque : plus de 30 captures dans la semaine

Figure 18. Piège à phéromone de type Delta installée dans les serres de tomate (photos originales réalisées par NACER.S (2023).

1.2.2.1.2. Taux d'infestation et distribution verticale des larves de *T. absoluta* dans la plante hôte

Une serre tunnel de culture de tomate, d'une superficie de 400 m² était retenue dans chacun des sites d'étude **(Fig 19A)**. Des prélèvements étaient effectués tous les quinze jours sur trois folioles prélevées à différents niveaux de la plante : à l'extrémité supérieure (étage apical), au milieu de la plante (étage médian) et à la base (étage basal). Au total, 72 plants ont été échantillonnés dans chaque serre, représentant 216 feuilles observées par site.

Les échantillons foliaires étaient acheminés au laboratoire où ils ont fait l'objet d'observations minutieuses sous loupe binoculaire. Le nombre de feuilles saines et celui des feuilles présentant des symptômes d'attaque ont été relevés.

Le taux d'infestation a été déterminé par examen visuel des dégâts causés par les larves des de la mineuse sur le limbe des feuilles de tomate. Ce taux a été calculé selon la formule d'**Abbott (1925)** :

$$\text{Ti (\%)} = \frac{\textbf{Nombre de feuilles infestées}}{\textbf{Σdes feuilles échantillonnées}} \times 100$$

L'évaluation de la préférence alimentaire des insectes et de leur répartition verticale sur la plante hôte était réalisée à partir du calcul du taux d'infestation dans les trois strates foliaires : apicale, médiane et basale **(Southwood & Henderson, 2000).**

1.2.2.1.3. Évaluation d'efficacité des insecticides utilisés lors du programme du traitement

Le contrôle de l'efficacité des traitements était réalisé sur la base des taux d'infestations calculés après l'application de chaque insecticide. La méthode se basait sur le calcul des taux d'infestations avant traitement et le taux d'infestation après traitement exactement après le délai avant récolte (DAR) de chaque produit mentionné par le fabricant, ensuite calculer le taux d'efficacité du traitement selon la formule adoptée d'Abbott comme suit :

$$\boldsymbol{E}(\%) = \frac{\textbf{\% d'infestation avant traitement} - \textbf{\% d'infestation après traitement}}{\textbf{\% d'infestation avant traitement}} \times 100$$

1.2.2.2. Cas du piment

1.2.2.2.1. Efficacité des traitements et distribution des infestations des aleurodes

Dans chaque site d'étude, trois serres de culture de piment étaient retenues **(Fig 19B)**, constituant ainsi trois répétitions indépendantes par site. Dans le cadre de l'expérimentation, les prélèvements étaient réalisés à deux moments distincts : avant traitement insecticide et après traitement, afin d'évaluer l'évolution du taux d'infestation et l'efficacité des produits utilisés. L'échantillonnage a pris en compte à la fois de la dispersion spatiale dans la serre (entrée, milieu et sortie) et de la distribution verticale sur la plante (étage basal, étage moyen et étage supérieur), conformément aux observations de la distribution spatiale des aleurodes rapportées par **Can-Vargas (2020).**

Dans la serre, chaque ligne était représentée par neuf plants choisis aléatoirement. Soit trois plants de chaque position (entrée, centre et sortie de la serre). Sur chaque plant, trois feuilles était prélevées par étage foliaire (basal, médian et apical), selon la méthodologie proposée pour l'étude de la distribution verticale des aleurodes par **Arnó et al. (2006),** donc soit au total 216 feuilles par serre**.** Ce plan d'échantillonnage permet une caractérisation fine de la distribution de l'insecte et de l'efficacité des traitements, en accord avec les recommandations de **Naranjo & Toscano (2001)** pour les plans d'échantillonnage de ravageurs.

Les feuilles prélevées étaient examinées au laboratoire à l'aide d'une loupe binoculaire, afin de dénombrer les feuilles saines et celles infestées, comme le préconisent **Binns & Nyrop (1992)**. Le taux d'infestation était déterminé à partir des feuilles présentant des stades immatures (larves et nymphes) d'aleurodes. Étant donné que la serre constitue un milieu fermé, l'expérimentation ne disposait pas de témoin non traité. L'efficacité des traitements était donc évaluée selon la formule d'**Abbott (1925)** comme s'était le cas de la tomate.

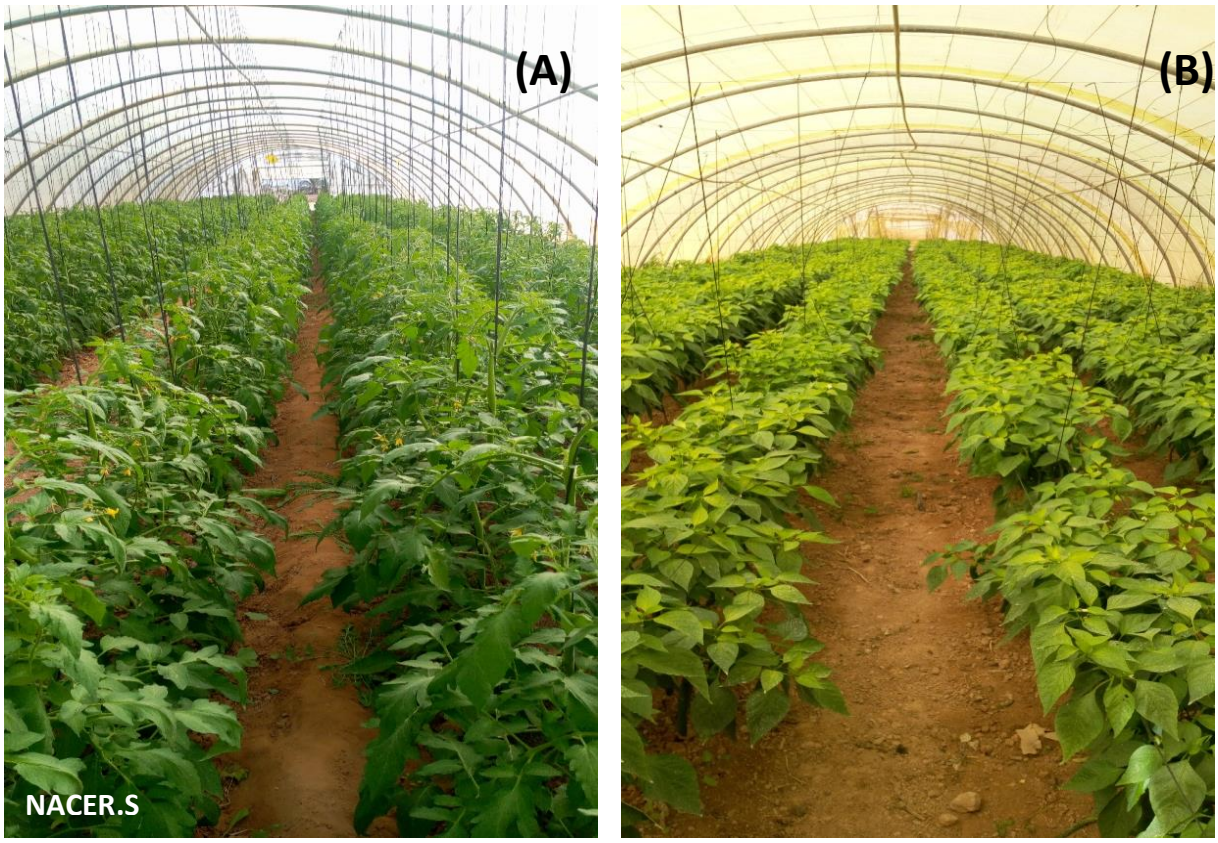


Figure 19. Serres tunnels retenues pour l'échantillonnage ; A: culture de tomate, B: culture de piment (photos originales réalisées par NACER.S (2023).

1.2.3. Analyse des résidus des pesticides dans le fruit

L'utilisation des pesticides dans la protection chimique des cultures maraîchères entraîne la présence de résidus dans les fruits et légumes, ce qui constitue une source de préoccupation majeure pour la santé publique. Néanmoins, les progrès récents en matière de techniques analytiques permettent aujourd'hui de détecter et de quantifier des traces infimes de substances potentiellement dangereuses dans les denrées alimentaires. Plusieurs travaux ont montré que, dans la majorité des cas, les teneurs en résidus restent en dessous des limites maximales fixées par les organismes de réglementation internationale, tels que l'EFSA ou le Codex Alimentarius. Toutefois, certaines pratiques inappropriées persistent, notamment le non-respect des doses homologuées ou des délais avant récolte, ce qui peut conduire à des dépassements des seuils autorisés. C'est dans cette perspective que le présent travail a intégré une analyse des résidus de pesticides sur les fruits de tomate récoltés dans les serres étudiées, afin de vérifier leur conformité réglementaire et d'apprécier les implications des traitements phytosanitaires en matière de sécurité alimentaire.

Les échantillons ont été prélevés au moment de la récolte dans chacun des sites, suivant un protocole standardisé garantissant la traçabilité et la conservation des fruits jusqu'au laboratoire. Les analyses ont été réalisées au Centre de Recherche Scientifique et Technique en Analyses Physico-Chimiques (CRAPC, Ouargla) en utilisant des méthodes chromatographiques de référence. Plus précisément, la méthode QuEChERS a été appliquée pour l'extraction multi-résidus, puis couplée à une détection par LC-MS/MS. L'interprétation des résultats a été effectuée en tenant compte des limites maximales de résidus (LMR) fixées par la réglementation européenne (Règlement (CE) n° 396/2005), considérée comme norme de référence. Cette approche a permis de dresser un inventaire des substances actives présentes, de déterminer leurs concentrations, et d'évaluer le taux de conformité des échantillons par rapport aux normes en vigueur.

1.2.3.1. Justification du choix de la matrice

L'étude s'est focalisée sur la tomate, considérée comme l'une des cultures maraîchères les plus stratégiques en Algérie. Ce légume occupe une place prépondérante dans l'alimentation quotidienne de la population, en raison de sa forte consommation et de sa disponibilité tout au long de l'année. Afin de répondre à une demande nationale en constante croissance, sa production est largement orientée vers les cultures sous serre, notamment dans les régions à vocation agricole intensive, telles que Biskra, El Oued et Tipaza, qui contribuent de manière significative à l'approvisionnement du marché. Outre son importance économique, la tomate

se distingue par sa richesse nutritionnelle, constituant une source essentielle de vitamines, d'antioxydants et de minéraux, ce qui accentue son rôle dans la sécurité alimentaire du pays.

Cependant, sa consommation fréquente à l'état cru, souvent sans épluchage, en fait également un produit sensible du point de vue sanitaire, car les résidus de pesticides présents sur la surface des fruits peuvent être directement ingérés par les consommateurs. Sur le plan agronomique, la tomate demeure particulièrement vulnérable à de nombreux bioagresseurs, parmi lesquels la mineuse (*Tuta absoluta*) est le plus redouté en conditions de culture protégée. La forte pression exercée par les ravageurs entraîne souvent un recours intensif aux traitements phytosanitaires, ce qui soulève à la fois des enjeux de durabilité agricole et de sécurité sanitaire des aliments. Ainsi, la tomate représente un modèle pertinent pour étudier la présence de résidus chimiques dans les fruits récoltés.

1.2.3.2. Échantillonnage des fruits (tomate)

Les échantillons de tomate destinés à l'analyse des résidus de pesticides ont été collectés dans trois zones de production maraîchère représentatives de la région de Ziban, à savoir Aïn Naga, M'Ziraa et Doucen. Ces sites ont été sélectionnés en raison de leur importance dans la production locale sous serre, mais également sur la base d'un premier échantillonnage ayant permis d'évaluer la sévérité des attaques du principal ravageur de la tomate ainsi que d'une enquête préalable sur les pratiques phytosanitaires des agriculteurs et les substances actives les plus fréquemment utilisées.

Au total, trente échantillons de fruits ont été collectés, soit dix échantillons par site, correspondant chacun à une répétition indépendante. Le prélèvement a été réalisé de manière aléatoire et représentative dans différentes serres afin de refléter la diversité des conditions culturales rencontrées. Les tomates choisies correspondaient à des fruits sains, exempts de blessures mécaniques ou de signes de pourriture, récoltés à pleine maturité commerciale, stade auquel ils sont le plus souvent destinés à la consommation.

Chaque échantillon, constitué de plusieurs fruits pour garantir l'homogénéité, a été placé dans des sachets stériles en polyéthylène et soigneusement étiqueté (site, date, code d'identification). Les échantillons ont ensuite été transportés dans des glacières réfrigérées afin de limiter toute dégradation ou perte éventuelle des résidus, puis acheminés rapidement au laboratoire pour analyse. Ce protocole visait à assurer la traçabilité et la fiabilité des données recueillies tout en

respectant les standards méthodologiques recommandés pour l'étude des résidus de pesticides dans les denrées alimentaires.

1.2.3.3. Choix des pesticides à analyser

Le choix des pesticides ciblés pour l'analyse devait, en principe, s'appuyer sur les résultats de l'enquête phytosanitaire menée dans la région d'étude, laquelle avait permis d'identifier les substances actives les plus couramment utilisées en cultures maraîchères. Toutefois, cette approche n'a pas pu être appliquée de manière complète en raison de l'indisponibilité de certains standards analytiques nécessaires à la validation et à la quantification des molécules. Par conséquent, la sélection des résidus analysés a été réalisée en tenant compte des standards disponibles au laboratoire **(Tableau 6)**, ce qui constitue une contrainte méthodologique mais n'empêche pas d'obtenir une image représentative de la contamination potentielle des fruits par les pesticides. La liste des standards utilisés est présentée dans le tableau ci-après. (Tous les standards ont été acquis auprès de LGC/ Dr. Ehrenstorfer (pureté analytique ≥ 95 %).

Tableau 6. Liste des standards analytiques utilisés pour l'identification et la quantification des résidus de pesticides dans les échantillons de tomate.

Molécule	Famille chimique	Formule brute
Tebuconazole	Triazole (fongicide systémique)	$C_{16}H_{22}ClN_3O$
Omethoate	Organophosphoré (insecticide)	$C_5H_{12}NO_4PS$
Trichlorfon	Organophosphoré (insecticide)	$C_4H_8Cl_3O_4P$
Monocrotophos	Organophosphoré (insecticide systémique)	$C_7H_{14}NO_5P$
Oxydemeton-methyl	Organophosphoré (insecticide systémique)	$C_6H_{15}O_4PS_2$
Dicrotophos	Organophosphoré (insecticide)	$C_8H_{16}NO_5P$
Thiamethoxam	Néonicotinoïde (insecticide systémique)	$C_8H_{10}ClN_5O_3S$
Vamidothion	Organophosphoré (acaricide/insecticide)	$C_8H_{18}N_2O_4PS_2$
Mevinphos	Organophosphoré (insecticide systémique)	$C_7H_{13}O_6P$
Imidacloprid	Néonicotinoïde (insecticide systémique)	$C_9H_{10}ClN_5O_2$
Simazine	Triazine (herbicide)	$C_7H_{12}ClN_5$
Cyanazine	Triazine (herbicide)	$C_9H_{13}ClN_6$
Metribuzin	Triazinone (herbicide)	$C_8H_{14}N_4OS$
Atrazine	Triazine (herbicide)	$C_8H_{14}ClN_5$
Carbaryl (NAC)	Carbamate (insecticide)	$C_{12}H_{11}NO_2$
Carboxin	Oxathiin-carboxamide (fongicide)	$C_{12}H_{13}NO_2S$
Propazine	Triazine (herbicide)	$C_9H_{16}ClN_5$
Terbuthylazine	Triazine (herbicide, isomère de la Propazine)	$C_9H_{16}ClN_5$
Methiocarb	Carbamate (insecticide/acaricide/molluscicide)	$C_{11}H_{15}NO_2S$
Fenamiphos	Organophosphoré (nématicide)	$C_{13}H_{22}NO_3PS$
Alachlor	Chloroacétanilide (herbicide)	$C_{14}H_{20}ClNO_2$
Metolachlor	Chloroacétanilide (herbicide)	$C_{15}H_{22}ClNO_2$
Fenoxycarb	Carbamate (insecticide/IGR)	$C_{17}H_{19}NO_4$
Diazinon	Organophosphoré (insecticide)	$C_{12}H_{21}N_2O_3PS$
Phosmet	Organophosphoré (acaricide/insecticide)	$C_{11}H_{12}NO_4PS_2$
Chlorfenvinphos (E,Z)	Organophosphoré (insecticide/acaricide)	$C_{12}H_{14}Cl_3O_4P$

Phorate	Organophosphoré (insecticide/nématicide)	$C_7H_{17}O_2PS_3$
Propiconazole (stéréoisomère)	Triazole (fongicide systémique)	$C_{15}H_{17}Cl_2N_3O_2$
Pirimiphos-methyl	Organophosphoré (insecticide)	$C_{11}H_{20}N_3O_3PS$
Disulfoton	Organophosphoré (insecticide systémique)	$C_8H_{19}O_2PS_3$
Terbufos	Organophosphoré (insecticide/nématicide)	$C_9H_{21}O_2PS_3$
Indoxacarb	Oxadiazine (insecticide)	$C_{22}H_{17}ClF_3N_3O_7$
Cypermethrin (isomère)	Pyréthrinoïde (insecticide)	$C_{22}H_{19}Cl_2NO_3$
Temephos	Organophosphoré (larvicide)	$C_{16}H_{20}O_6P_2S_3$
Pyridaben	Pyridazinone (acaricide)	$C_{19}H_{25}ClN_2OS$

1.2.3.4. Choix de la méthode

Pour l'analyse des résidus de pesticides, la méthode QuEChERS *(*Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged and Safe) a été adoptée, car elle est largement reconnue au niveau international pour son efficacité dans l'extraction multi-résidus à partir des produits végétaux. Sa rapidité, sa simplicité et sa fiabilité en font une approche particulièrement adaptée aux matrices complexes telles que les fruits et légumes, ce qui justifie son emploi dans la présente étude.

Les analyses ont été réalisées conformément à la norme NF EN 15662 (version de mai 2018). Les échantillons de tomate ont d'abord été extraits avec de l'acétonitrile, puis soumis à une étape de salage au moyen d'un mélange $MgSO_4$/NaCl afin de favoriser la séparation des phases. L'extrait obtenu a été purifié par cartouche SPE, avant d'être injecté dans le système LC-MS/MS pour l'identification et la quantification des substances actives recherchées.

La validation de la méthode au sein du laboratoire a confirmé sa robustesse et sa conformité aux critères internationaux, avec des performances analytiques satisfaisantes :

– Limite de détection (LOD) *:* 0,005 mg/kg ;
– Limite de quantification (LOQ) : 0,01 mg/kg ;
– Taux de récupération compris entre 80 et 110 % ;
– Répétabilité (RSD%) généralement inférieure à 15 %.

Enfin, l'interprétation des résultats a été effectuée en référence aux Limites Maximales de Résidus (LMR) fixées par la réglementation européenne en vigueur (Règlement (CE) n° 396/2005)

1.2.3.5. Réactifs utilisés pour l'extraction et la purification

- Solutions étalons internes et solutions de contrôle qualité préparées dans l'acétonitrile.
- Acétonitrile de qualité CLHP.

- Mélange de sels tampons pour la seconde extraction/partition, composé de :
  - 4,0 ± 0,2 g de sulfate de magnésium anhydre,
  - 1,0 ± 0,05 g de chlorure de sodium,
  - 1,0 ± 0,05 g de citrate trisodique dihydraté,
  - 0,5 ± 0,03 g de citrate d'hydrogène disodique sesquihydraté.
- Adsorbant à amines primaires et secondaires (PSA).
- Noir de carbone graphitisé (GCB).
- Solution d'acide formique dans l'acétonitrile (5 mL/100 mL).

Tableau 7. Tableau récapitulatif des réactifs utilisés

Réactif / Produit	Spécification / Quantité (par tube d'extraction)	Rôle / Remarques
Solutions étalons internes et QC	Préparées dans acétonitrile HPLC	Contrôle qualité et quantification
Acétonitrile	Qualité HPLC	Solvant d'extraction et de dilution
$MgSO_4$ (anhydre)	4,00 g ± 0,20 g	Séchage et salage
NaCl	1,00 g ± 0,05 g	Partage de phase aqueuse/organique
Citrate trisodique dihydraté	1,00 g ± 0,05 g	Tamponnage de l'extraction
Citrate disodique sesquihydraté	0,50 g ± 0,03 g	Stabilisation du pH (tampon QuEChERS)
PSA (adsorbant)	Quantité selon protocole	Élimination acides gras et sucres
GCB (noir de carbone graphité)	Quantité selon protocole	Élimination pigments et chlorophylle
Acide formique (5 % v/v)	5 mL / 100 mL acétonitrile	Ajustement conditions analytiques

1.2.3.6. Appareillage utilisé

- Tubes à centrifuger de 50 mL avec bouchons à vis.
- Pipettes automatiques couvrant des gammes de 10 µL à 10 mL, ou pipettes en verre graduées de 10 mL.
- Tubes en polypropylène de 15 mL à usage unique.
- Agitateurs horizontaux, verticaux ou orbitaux (≥ 200 min^{-1}).
- Centrifugeuses adaptées aux tubes utilisés, capables d'atteindre ≥ 3 000 g.
- Broyeur pour homogénéisation des échantillons.
- Congélateur réglé entre –18 °C et –25 °C.
- Agitateur de type vortex.

1.2.3.7. Préparation et conservation des échantillons

- Les échantillons doivent être intacts et exempts de dégradation visible.
- Ils sont broyés finement afin d'augmenter la surface de contact.
- Le broyage est effectué à basse température (échantillons congelés, carboglace ou azote liquide) pour limiter la dégradation des molécules thermolabiles.
- Les échantillons homogénéisés sont conservés congelés jusqu'aux analyses.

1.2.3.8. Mode opératoire

1.2.3.8.1. *Extraction*

- Une première extraction est réalisée sur 10 g d'échantillon homogène (tomate broyée), à l'aide de 10 mL d'acétonitrile.
- Une seconde extraction est effectuée pour séparer les phases aqueuse et organique, en ajoutant le mélange de sels ($MgSO_4$, NaCl, citrate). Le tout est agité vigoureusement pendant 1 min puis centrifugé à > 3 000 g pendant 5 min. **(Fig 20)**

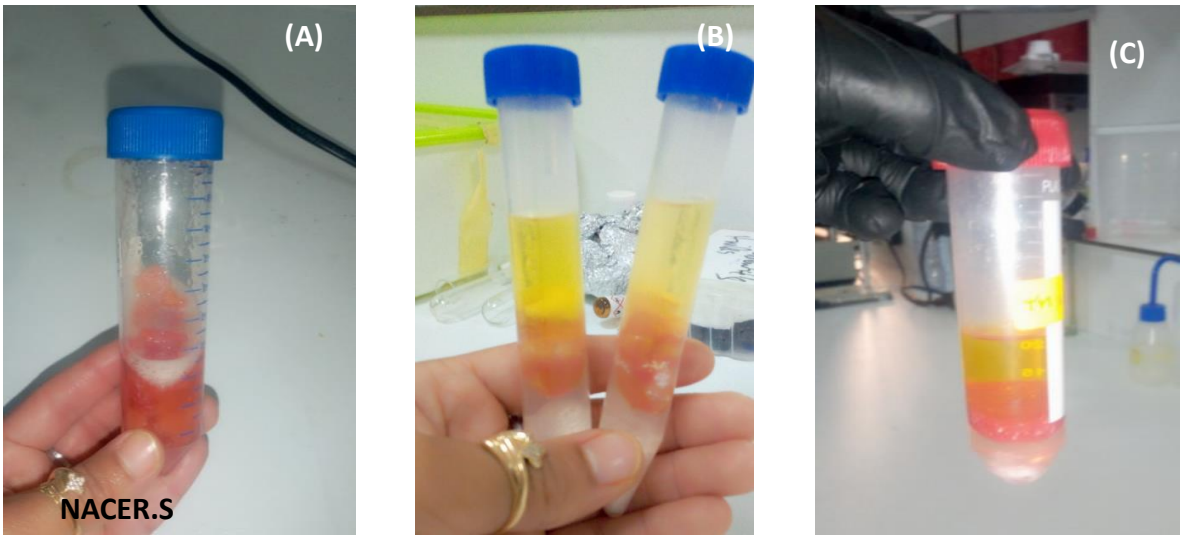


Figure 20. Phase d'extractions : A : échantillon homogénéisé, B : première extraction à l'acétonitrile, C: seconde extraction (photos originales réalisées par NACER.S (2024)).

1.2.3.8.2. *Purification*

- Un volume de 6 mL de la phase organique est purifié à l'aide d'adsorbants en vrac et de sulfate de magnésium pour éliminer l'eau résiduelle.
- Des adsorbants spécifiques (PSA) sont utilisés pour retirer les impuretés polaires, complétés par du noir de carbone graphitisé (GCB) pour éliminer les pigments.
- Le mélange est agité pendant 2 min puis centrifugé à > 3 000 g pendant 5 min.
- Le surnageant est récupéré et filtré sur membrane de 0,22 µm avant analyse. **(Fig 21)**

Figure 21. Phase de purification: surnageant après filtration prêt à etre analysé via LCMS. (Photos originales réalisées par NACER.S (2024))

Les différentes étapes d'extraction et purification sont résumées au-dessous **(Fig 22)**.

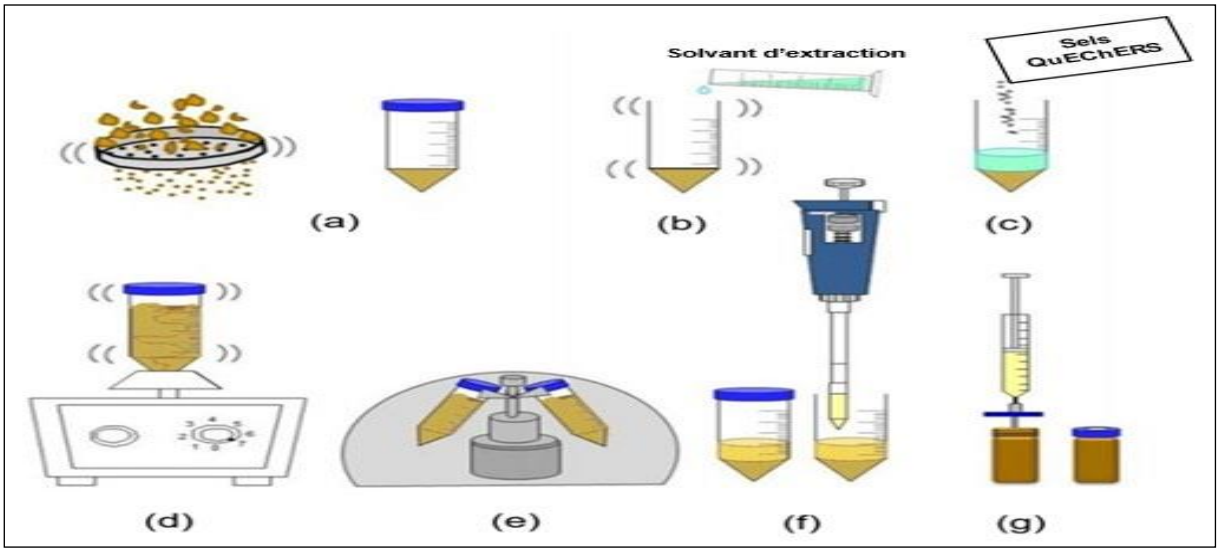


Figure 22. Procédés représentatifs de l'analyse de sédiments par la méthode QuEChERS, (a) prétraitement et pesée des échantillons; (b) ajout d'un solvant d'extraction et agitation; (c) ajout de sels QuEChERS; (d) mélange au vortex; (e) centrifugation; (f) prélèvement.

1.2.3.9. Analyse chromatographique (LC-MS/MS)

Les extraits ont été soumis à une analyse par chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse en tandem (UPLC-ESI-MS/MS), en utilisant un système Shimadzu 8040 à haute sensibilité, doté de la technologie UFMS et associé à une pompe binaire Nexera XR LC-20AD. **(Fig 23)**

Figure 23. Liquide chromatographe liquide spectrometre (LCMS 8040 Shimadzu) (Photo originale réalisée par NACER.S (2024)).

Paramètres d'ionisation par électrospray (ESI) :

- Gaz de collision (CID gas) : 230 kPa
- Conversion dynode : −6,00 kV
- Température du désolvatateur (DL) : 250 °C
- Température du bloc chauffant : 400 °C
- Débit du gaz de nébulisation : 3,0 L/min
- Débit du gaz de séchage : 10,0 L/min

Conditions chromatographiques *:*

- Phase mobile A : eau contenant 2 mmol d'ammonium formiate et 0,002 % d'acide formique

- Phase mobile B : méthanol contenant 2 mmol d'ammonium formiate et 0,002 % d'acide formique
- Débit : 0,3 mL/min
- Volume d'injection : 10 µL
- Colonne : Shim-pack XR-ODS (2,2 µm, 75 × 2,0 mm)

Chromatogramme représentatif

L'identification et la quantification des résidus de pesticides ont été effectuées par chromatographie liquide à haute performance couplée à la spectrométrie de masse en tandem (LC-MS/MS), selon une méthode multi-résidus validée.

La séparation chromatographique a permis de distinguer plusieurs composés appartenant à différentes familles chimiques, notamment les organophosphorés, les triazoles, les carbamates et les néonicotinoïdes.

La **Figure 24** présente un chromatogramme représentatif obtenu lors de l'analyse d'un échantillon de tomate. Chaque pic correspond à un pesticide détecté à un temps de rétention spécifique, identifié à partir de ses transitions MRM caractéristiques. Ce chromatogramme illustre la complexité du profil multi-résidus et la sensibilité élevée de la méthode analytique utilisée.

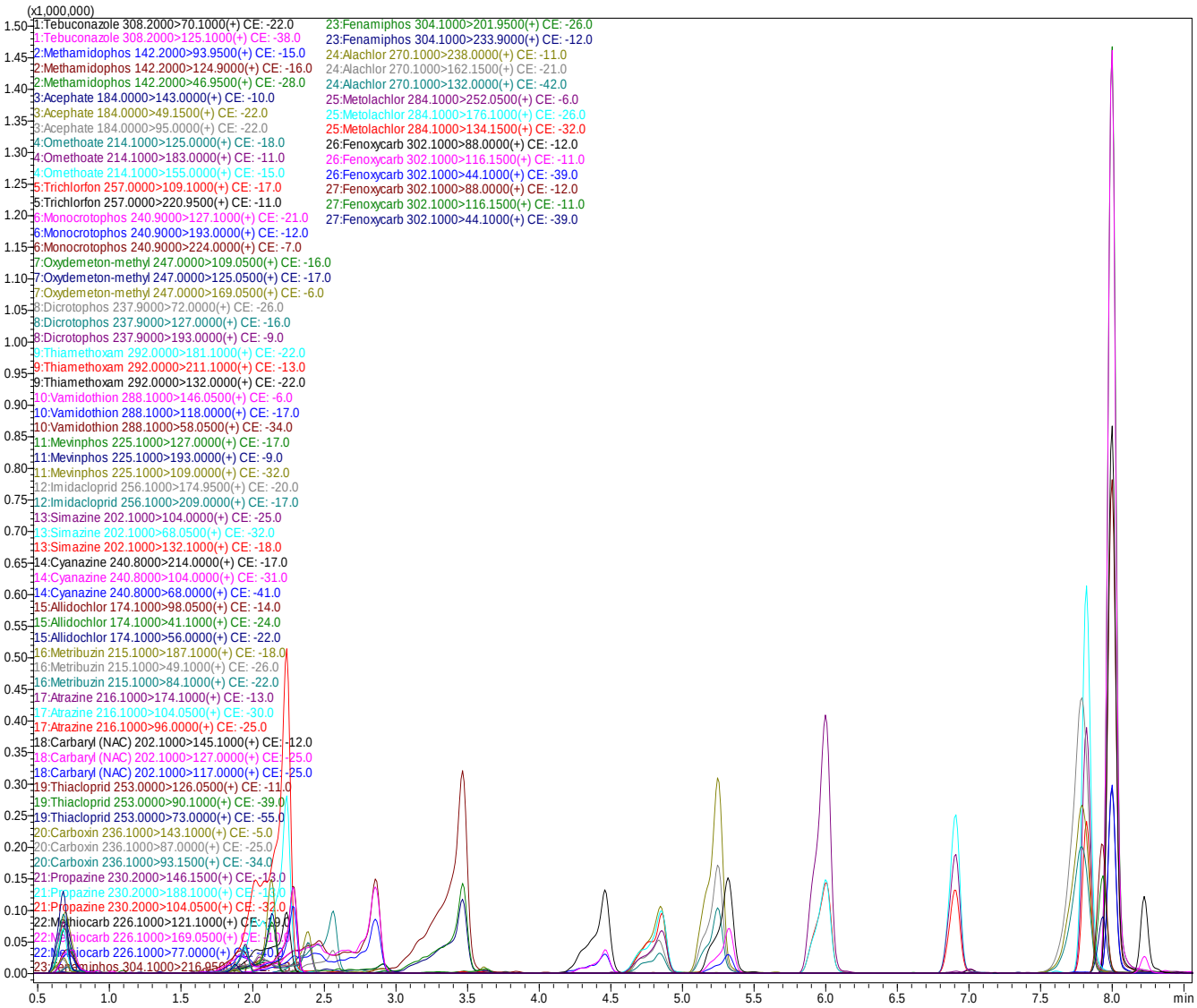


Figure 24. Chromatogramme LC-MS/MS représentatif, illustrant la détection simultanée de plusieurs pesticides appartenant à différentes familles chimiques.

1.2.3.10. Assurance qualité et validation analytique

Le contrôle qualité des analyses a été conduit conformément aux recommandations de la directive *SANTE/12682/2019*, qui définit les critères de performance pour la détection et la quantification des résidus de pesticides dans les produits alimentaires.

Chaque molécule a été quantifiée à l'aide d'une courbe d'étalonnage présentant un coefficient de corrélation ($R^2 > 0,94$), garantissant une bonne linéarité. Les limites de détection (LOD) et de quantification (LOQ) ont été établies pour chaque pesticide selon le rapport signal/bruit :

- *LOD (Limit of Detection)* : plus faible concentration détectable, correspondant à un rapport signal/bruit ≥ 3.
- *LOQ (Limit of Quantification)* : plus faible concentration quantifiable de manière fiable, avec un rapport signal/bruit ≥ 10.

Le schéma ci-dessous illustre les différentes étapes du protocole standard appliqué aux échantillons de tomate, depuis l'homogénéisation de la matière végétale jusqu'à l'analyse instrumentale par LC-MS/MS. **(Fig 25)**

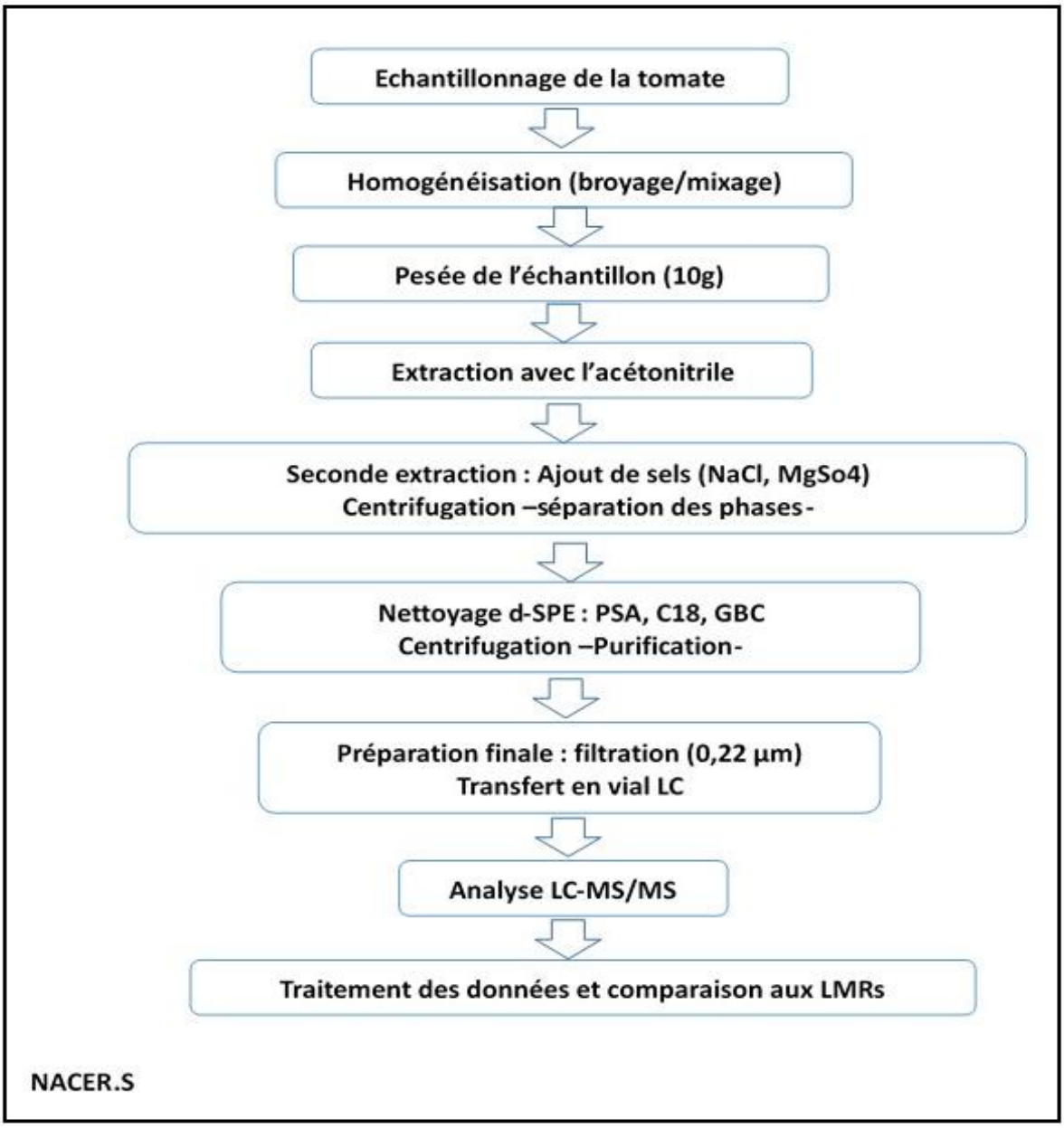


Figure 25. Schéma des principales étapes de la méthode QuEChERS appliquée à l'analyse des résidus de pesticides dans la tomate. (Schéma original réalisé par NACER.S (2025))

L'ensemble des pesticides ciblés a été analysé avec des paramètres validés selon les standards européens. Un extrait est présenté dans le **Tableau 08**, tandis que la totalité des données analytiques figure en annexe **(Annexe II).**

Ces analyses ont permis de dresser un profil précis des résidus présents dans les fruits récoltés, et servent de base pour l'interprétation des résultats exposés dans la partie suivante.

Tableau 8. Données analytiques d'un extrait des pesticides analysés

ID	Name	m/z	Ret. Time	Area	Con	R^2	LOQ (ppb)	LOD (ppb)
1	Tebuconazole	284.1000>176.1000	7.818	1 003 162	10.288	0.995	0.05	0.15
2	Omethoate	184.0000>143.0000	0.682	304 833	10.499	0.996	0.2	0.61
3	Trichlorfon	214.1000>125.0000	0.679	245 002	12.726	0.992	0.76	2.29
4	Monocrotophos	215.1000>49.1000	4.848	258 962	11.871	0.9999	0.39	1.19
5	Oxydemeton-methyl	237.9000>72.0000	2.382	233 199	10.407	0.9996	0.59	1.79
6	Dicrotophos	247.0000>169.0500	2.129	274 730	8.621	0.9992	0.88	2.68
7	Thiamethoxam	292.0000>211.1000	2.236	1 858 179	10.273	0.9995	0.03	0.1
8	Vamidothion	240.9000>224.0000	2.279	461 143	10.158	0.9978	0.62	1.89
9	Mevinphos	270.1000>132.0000	7.801	658 708	10.059	0.9988	0.1	0.29
10	Imidacloprid	256.1000>147.9500	2.558	299 637	5.647	0.9988	0.15	0.45

1.3. Analyses statistiques

Les données collectées ont été organisées.les differents tests statistiques (analyse de variance unidimensionnelle (ANOVA), ACM, test Khi²) ont été réalisée à l'aide d' XLSTAT 2019, suivie du test de Tukey (HSD) pour évaluer les effets des facteurs étudiés sur les niveaux d'infestation par les deux ravageurs. Les cartes thermiques ont été générées à l'aide du logiciel R (version 4.4.2 ; R Core Team, 2024) avec les paquets ggplot2, stats et pheatmap afin de visualiser les schémas de distribution spatiale et verticale des populations d'insectes.

chapitre 2. Résultats et discussion

L'analyse des résultats obtenus au cours de cette étude offre une opportunité de mieux comprendre les interactions complexes entre les pratiques agricoles, les pressions biotiques liées aux ravageurs, et les risques sanitaires associés aux résidus de pesticides dans les cultures maraîchères sous serre dans le sud est algérien. Cette discussion s'articule autour de trois axes fondamentaux et interdépendants. Le premier concerne les pratiques agricoles (culturales et phytosanitaires) adoptées par les producteurs, à travers lesquelles se révèlent des profils de gestion différenciés influencés notamment par le niveau d'instruction et la formation agricole. Le deuxième volet s'intéresse à la dynamique des ravageurs majeurs, en particulier *T. absoluta* et les aleurodes, dont les niveaux d'infestation varient en fonction de plusieurs facteurs agroécologiques ainsi l'efficacité des traitements appliqués. Enfin, le troisième axe explore la problématique des résidus de pesticides détectés dans les fruits de tomate, révélant les effets potentiels de certaines pratiques sur la contamination chimique des productions. Cette approche intégrée permet d'évaluer la cohérence entre les pratiques agricoles, la gestion des bioagresseurs, et la sécurité sanitaire des produits récoltés, en vue de proposer des pistes d'amélioration pour une production plus durable.

2.1. Cultures maraichères et pratiques agricoles

Les pratiques culturales et phytosanitaires constituent la base de toute stratégie de gestion intégrée des cultures. Ce chapitre représente les principaux résultats issus de l'enquête réalisée auprès des serristes maraichers des trois sites étudiés. Il est structuré en deux grandes sections : une première consacrée aux statistiques descriptives, illustrant les pratiques et profils des exploitants, et une seconde portant sur les analyses statistiques approfondies, qui visent à explorer les relations entre certaines variables.

2.1.1. Statistiques descriptives

2.1.1.1. Profil des agriculteurs enquêtés

L'enquête a concerné un total de 150 exploitants agricoles répartis sur les trois sites (50 agriculteurs pour chacun). Le niveau d'étude varie d'un site à un autre, **la figure 26** ci-dessous illustre la répartition des enquêtés selon leur niveau d'étude. De même, **la figure 27** montre la proportion d'agriculteurs ayant bénéficié d'une formation technique en agriculture, où la majorité des personnes interrogées n'ont pas suivi de formation agricole spécifique.

L'analyse des données de la figure 24 montre que, globalement, le niveau d'étude des agriculteurs enquêtés se situe majoritairement entre le niveau moyen et secondaire, ces deux

catégories étant les plus représentées dans l'ensemble des sites. Les niveaux universitaire, primaire et analphabète restent faiblement représentés.

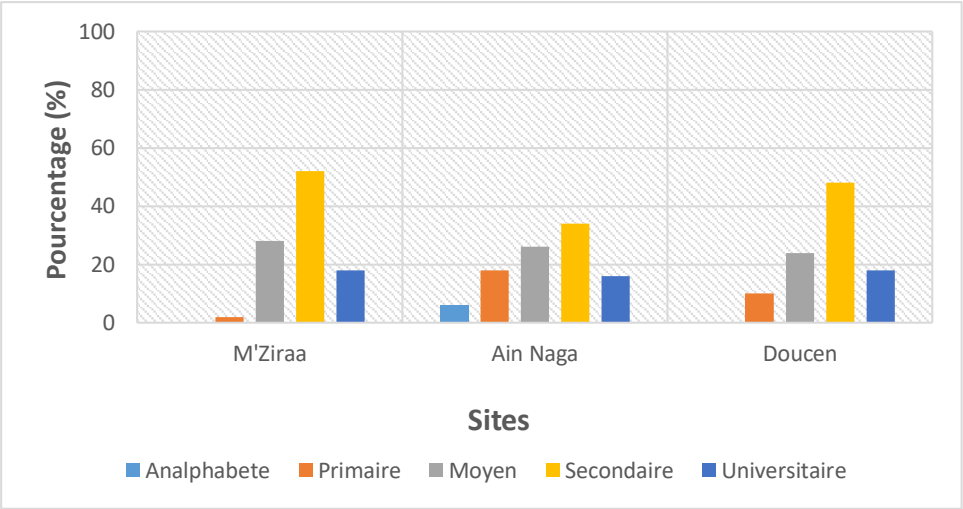


Figure 26. Niveau d'éducation des enquêtés dans les trois sites (M'Ziraa, Ain Naga et Doucen)

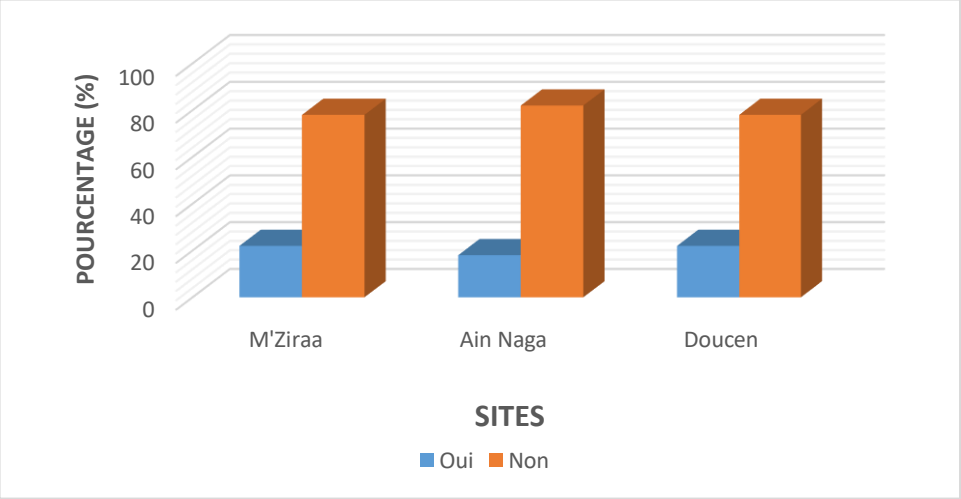


Figure 27. Formation agricole dans les sites enquêtés (M'ziraa, Ain Naga et Doucen)

Bien que le nombre des enquêtés qui ont suivi une formation agricole étaient faible (22%, 18%, 22%) pour les communes (M'Ziraa, Ain Naga et Doucen) respectivement, mais il a été augmenté par rapport à celui cité par **Belhadi et al** en **2016b** dans la région de M'Ziraa qui signalent qu'aucun serriste n'a suivi une formation agricole. D'après les enquêtés nous constatons que ces formations ne sont pas basées sur la manipulation des produits, alors que l'utilisation des pesticides nécessite un minimum de connaissances théoriques et pratiques pour écarter tout risque sur la santé humaine et sur l'environnement (**Kanda et *al*., 2013; Wognin et *al*., 2013**). Ce qui a été déclarer auparavant dans l'étude faite par **Soudani et al (2020)** qui

trouvent que plus de la moitié des enquêtés dans deux régions du Ziban n'ont été pas informés concernant le risque de pesticides et que les agriculteurs ont un faible niveau d'éducation concernant l'application des pesticides et sont inattentifs aux dangers d'utilisation de ces produits chimiques.

2.1.1.2. Pratiques culturales

Dans cette étude, l'analyse des pratiques culturales s'est focalisée sur celles ayant un impact direct sur l'efficacité des traitements phytosanitaires**.** Ainsi, quatre pratiques ont été particulièrement étudiées : la rotation des cultures, l'utilisation du filet insect-proof, la pratique de l'effeuillage et la gestion des mauvaises herbes arrachées. Ces éléments jouent un rôle clé dans la réduction de la pression parasitaire et dans la réussite des stratégies de lutte appliquées au niveau des serres.

Les données relatives à ces quatre pratiques ont été traitées et représentées graphiquement **(Fig 28, 29, 30, 31)** ; afin d'évaluer leur fréquence d'adoption par les agriculteurs dans toutes les exploitations étudiées.

Les ensembles de données qui en résultent illustrent la proportion d'agriculteurs qui ont déclaré mettre en œuvre la rotation des cultures, les filets anti-insectes, l'effeuillage et la méthode de gestion des mauvaises herbes arrachées.

2.1.1.2.1. La rotation des cultures

La rotation des cultures est pratiquée par 82,00 %, 56 ,25 % et 28,00 % des agriculteurs dans les sites Doucen, Ain Naga et M'Ziraa respectivement. **(Fig 28)**

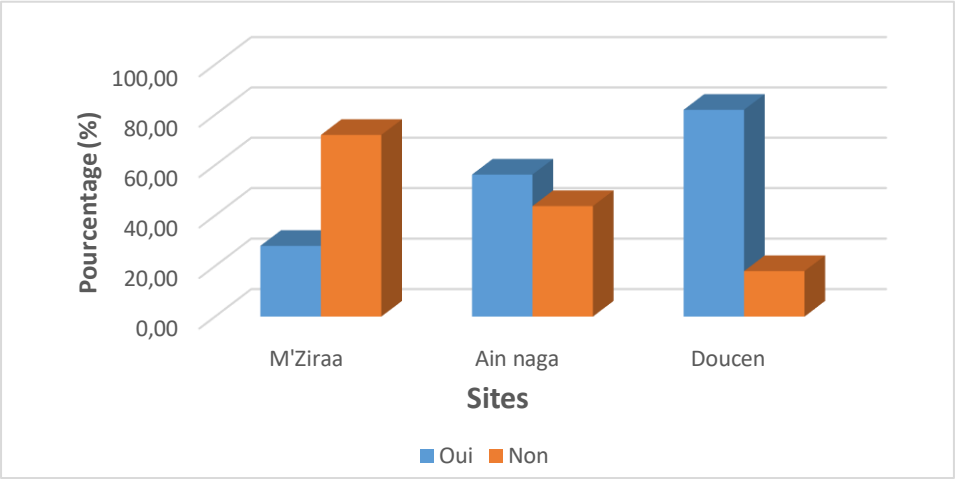


Figure 28. Rotation des cultures dans les sites enquêtés (M'Ziraa, AinNaga et Doucen)

La rotation culturale impliquant des espèces appartenant à différentes familles botaniques constitue une stratégie efficace, notamment dans les systèmes de production légumiers, pour limiter la persistance des ravageurs en perturbant leur cycle biologique **(Barzman et *al*., 2015)**. Par ailleurs, l'introduction d'une plus grande diversité végétale au sein des agrosystèmes peut entraver la capacité de certains insectes à localiser leurs hôtes, et en attirant davantage d'ennemis naturels, contribuant ainsi à une régulation biologique accrue **(Buntin et *al*., 1995).**

Plusieurs études ont mis en évidence les bénéfices de cette pratique : par exemple, la rotation du maïs avec d'autres cultures a significativement réduit l'incidence de la chrysomèle occidentale des racines, même chez des populations devenues résistantes aux variétés de maïs Bt génétiquement modifiées **(Carrière et *al*., 2020)**. De même, un suivi hebdomadaire de champs en rotation et non en rotation, implantés au sein d'une même exploitation, a révélé que les champs non rotés présentaient une accumulation plus importante de masses d'œufs du doryphore, des niveaux de défoliation plus élevés, ainsi qu'un recours accru aux insecticides, malgré des densités similaires d'adultes en début de saison **(Wright, 1984).**

2.1.1.2.2. Utilisation du filet insect- proof

L'utilisation du filet insecte-proof a été rapportée par 74,00 % des exploitants du Doucen, 20,83 % dans le site Ain Naga et 74,00 % dans le site M'Ziraa. **(Fig 29).**

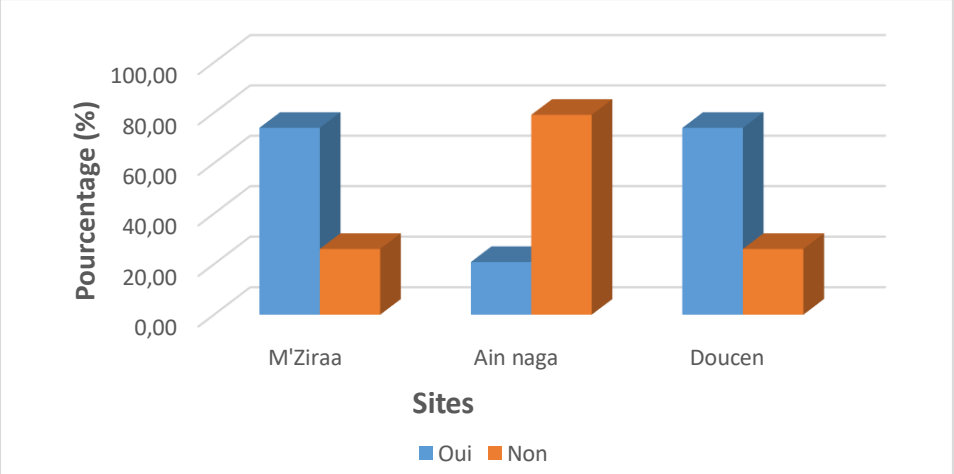


Figure 29. Utilisation du filet insecte-proof dans les sites enquêtés (M'Ziraa, AinNaga et Doucen)

Le taux relativement faible dans le site Ain Naga indique une faible adoption de cette barrière physique pourtant reconnue pour son efficacité.

La lutte mécanique, à l'origine, se concentrait sur l'éradication des mauvaises herbes et des parties infestées des plantes (par exemple, l'élimination des mines contenant des larves de mineuses). Au cours des dernières années, l'utilisation de filets insecte-proof a été étendue à toutes les ouvertures d'aération de la serre. **(Harbi et *al*., 2015).** Selon **Klose & Tantau (2004)** et **Tielet (2001)** ; dans les serres ventilées, les ouvertures indispensables au maintien d'un microclimat favorable représentent également des points d'entrée pour les ravageurs. Cette situation est particulièrement préoccupante dans les régions méditerranéennes et le sud-est du continent européen. Afin de limiter l'infestation d'insectes de très petite taille, tels que les aleurodes et les thrips, l'utilisation de filets à mailles très fines constitue une mesure de protection essentielle et durable.

2.1.1.2.3. L'effeuillage :

La pratique de l'effeuillage, souvent utilisée pour réduire les foyers d'infestation, est déclarée par 46,00 %, 91,67 % et 76,00 % des agriculteurs dans les sites Doucen, Ain Naga et M'Ziraa respectivement. **(Fig 30)**

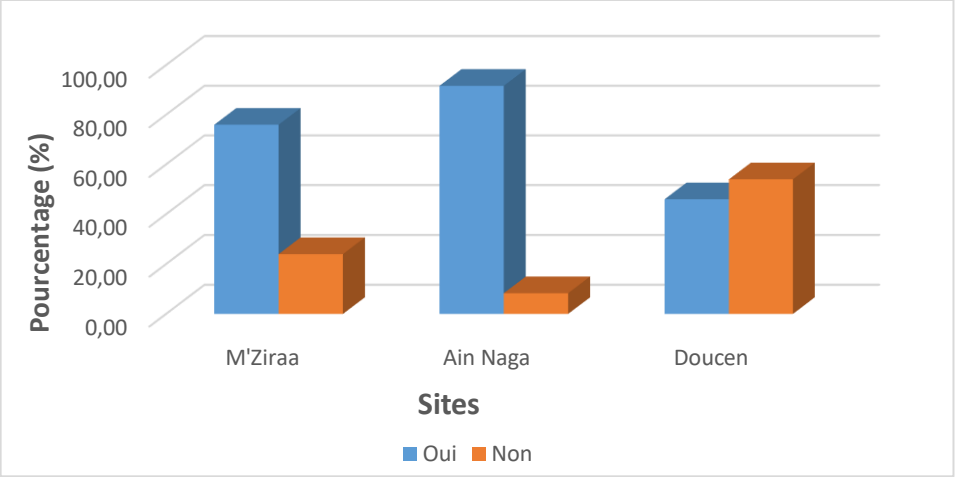


Figure 30. La pratique d'effeuillage dans les sites enquêtés (M'Ziraa, AinNaga et Doucen)

En culture sous serre, et plus particulièrement de la tomate, l'effeuillage constitue une pratique culturale essentielle. L'élimination des feuilles inférieures permet de réduire les habitats convenables au développement de ravageurs tels que les aleurodes et les thrips, tout en limitant la propagation de maladies fongiques telles que le botrytis. Cette technique améliore également la circulation de l'air et la pénétration de la lumière, renforçant ainsi la santé des plantes. Des études ont démontré que l'effeuillage contribue significativement à la réduction des populations de ravageurs et à la prévention des maladies en serre. Selon **(Raya et *al*., 2024)** ; la défoliation, qui peut se manifester par un effeuillage ou une taille, est une pratique courante dans la

production de tomates. Elle permet de faciliter la gestion des cultures, d'éviter les conditions propices aux attaques fongiques et d'augmenter l'exposition des fruits à la lumière, notamment durant la saison hivernale.

2.1.1.2.4. Gestion des mauvaises herbes arrachées

Concernant la gestion des mauvaises herbes arrachées, 64,00 %, 85,42%, 66,00% des agriculteurs déclarent les évacuer hors de la serre après arrachage pour les sites Doucen, Ain Naga et M'Ziraa respectivement, tandis que 36,00%, 14,58%, 34,00% les laissent à l'intérieur pour les sites Doucen, Ain Naga et M'Ziraa respectivement, souvent en tas ou au sol. **(Fig 31)** Dans le cadre de la gestion environnementale, la gestion des mauvaises herbes constitue une pratique essentielle de modification de l'habitat. Elle permet de réduire les foyers potentiels de ravageurs et s'intègre dans une stratégie plus large incluant l'assainissement de la région et la mise en œuvre d'une période sans hôte. L'élimination régulière des adventices contribue ainsi à limiter la propagation des ravageurs et à préserver la santé phytosanitaire des cultures **(Dara, 2019).**

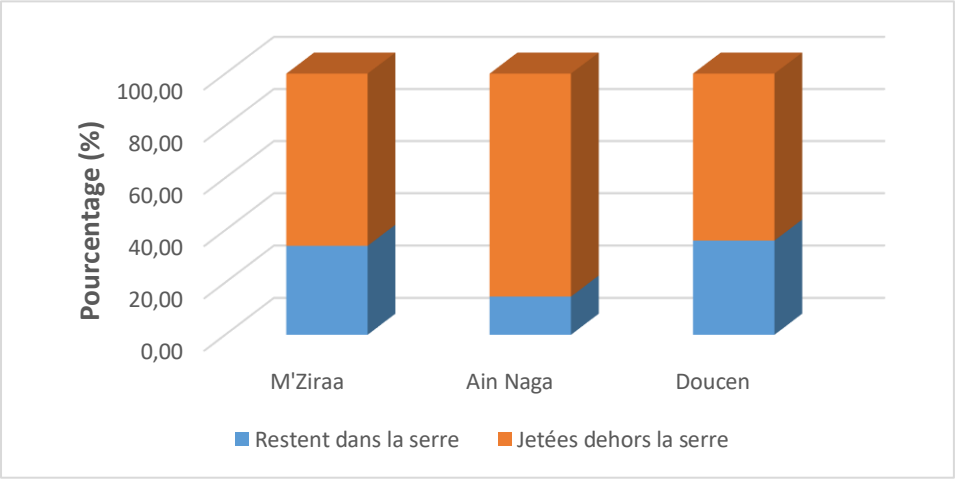


Figure 31. Gestion des mauvaises herbes arrachées dans les sites etudiés (M'Ziraa, Ain Naga et Doucen)

2.1.1.3. Pratiques phytosanitaires

Après avoir examiné les pratiques culturales, cette section se concentre sur les pratiques phytosanitaires adoptées par les agriculteurs, en mettant l'accent sur celles ayant un impact direct sur l'efficacité des traitements contre les ravageurs majeurs tels que les aleurodes et les mineuses. Les aspects analysés incluent le type de produit utilisé (sélectif ou à large spectre), la fréquence des traitements, la rotation des produits, le mélange de produits lors des applications, ainsi que le respect des doses recommandées.

2.1.1.3.1. Type de produit

Les résultats de l'enquête révèlent que dans le site de M'Ziraa, la majorité des agriculteurs utilisent des produits sélectifs (82,00%), alors que seulement 18,00% utilisent des produits à large spectre (polyvalents). Le site de Doucen présente une répartition plus équilibrée, avec 38,00 % d'utilisation de produits sélectifs, contre 36,00 % qui privilégient des insecticides polyvalents. Contrairement au site de Ain Naga, l'utilisation des produits polyvalents étaient majoritaires avec 76,00 %, tandis que les sélectifs ne sont utilisés que par 24,00 % des exploitants. **(Fig 32)**

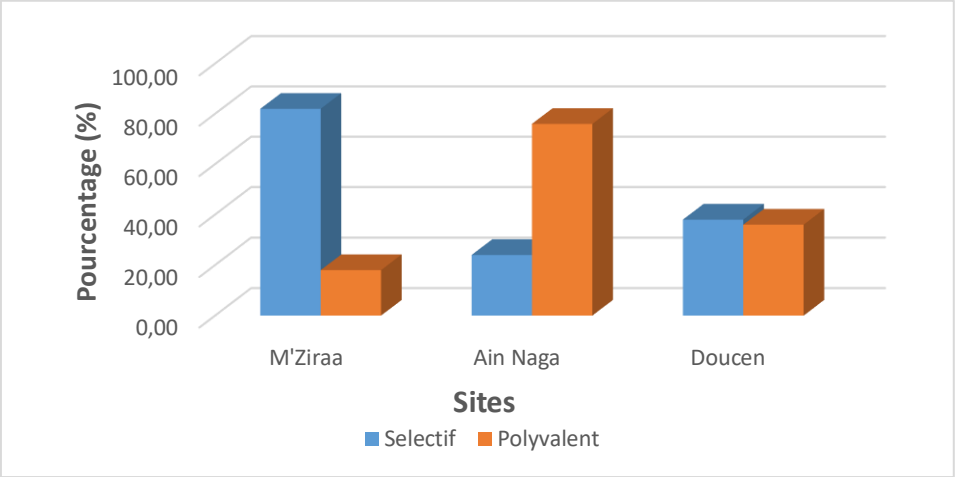


Figure 32. Type de produit utilisé dans les sites enquêtés (M'Ziraa, Ain Naga et Doucen)

L'usage dominant des insecticides polyvalents dans le site Ain Naga peut s'expliquer par leur effet rapide et visible sur un large éventail de ravageurs. Cependant, cette stratégie présente plusieurs inconvénients majeurs. En effet, les produits à large spectre éliminent aussi les organismes auxiliaires (prédateurs et parasitoïdes), perturbant l'équilibre écologique au sein de la serre. Des études ont montré que des substances comme la lambda-cyhalothrine, bien qu'efficaces contre une large gamme de ravageurs, impactent également les auxiliaires tels que les coccinelles et les syrphes, contrairement à des produits plus sélectifs comme le spinosad **(Li et *al*, 2025 ; D'Ávila et *al*, 2018)**. La disparition des auxiliaires affaiblit la lutte biologique naturelle et peut conduire à une dépendance accrue aux traitements chimiques, augmentant ainsi le risque de résistance et d'instabilité écologique **(Janssen & van Rijn, 2022).**

2.1.1.3.2. Fréquence de traitement

En ce qui concerne la fréquence des traitements, chaque site présente une tendance dominante. Dans le site Ain Naga, la moitié des agriculteurs (50,00%) réalisent un traitement tous les 7 jours, traduisant une intensité élevée de lutte. Dans les sites M'Ziraa et Doucen, la majorité des

exploitants déclarent traiter tous les 10 jours, avec 62,00% et 78,00% pour les deux sites respectivement. **(Fig.33).**

Ces valeurs traduisent des niveaux variables de pression phytosanitaire ou de perception du risque, mais soulèvent également des interrogations sur la rationalité des interventions.

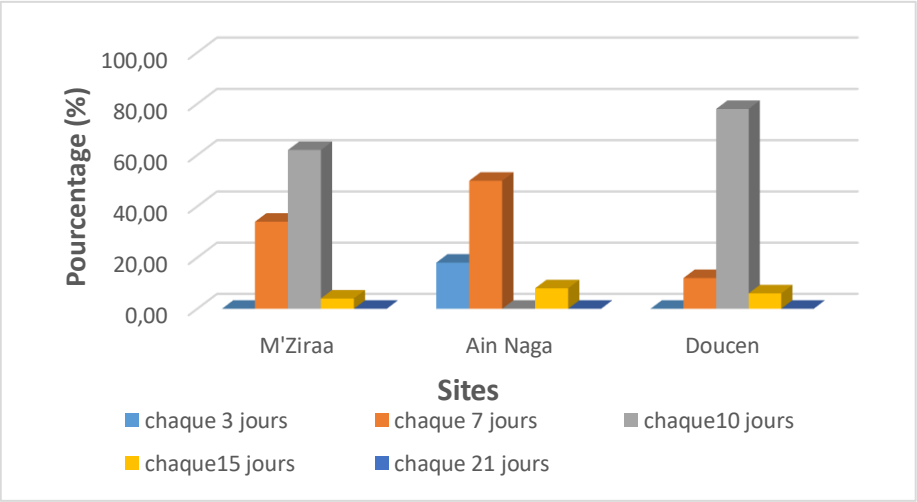


Figure 33. Fréquence des traitements dans les sites enquêtés (M'Ziraa, Ain Naga et Doucen)

La fréquence des applications phytosanitaires est un facteur déterminant dans la gestion des ravageurs et la prévention du développement de résistances. Il convient de noter que des traitements répétés peuvent exercer une pression de sélection accrue sur les populations de ravageurs, favorisant l'émergence d'individus résistants. En revanche, une application trop espacée peut permettre aux populations de ravageurs de se rétablir et de causer des dommages significatifs. Une intensification excessive de la fréquence des traitements peut non seulement accélérer l'apparition de résistances, mais aussi entraîner une baisse progressive de l'efficacité des produits. À titre d'exemple, Lors de l'introduction de la mineuse de la tomate *Tuta absoluta* au Brésil, la fréquence des traitements insecticides est passée d'environ 10–12 applications par cycle de culture à plus de 30, correspondant à 4–6 pulvérisations par semaine, traduisant une forte intensification de la pression chimique sur les cultures **(Guedes & Siqueira, 2012, cité dans Zhang et *al.*, 2024).** Cette surutilisation a fini par réduire considérablement l'efficacité des produits, poussant les producteurs à encore intensifier les traitements dans une spirale coûteuse et écologiquement risquée **(Biondi et *al.*, 2018).** Il s'avère donc essentiel d'adopter

une fréquence de traitement basée sur le seuil économique d'intervention et le cycle biologique des ravageurs ciblés.

2.1.1.3.3. Changement du produit

Le changement de produit phytosanitaire au cours de la campagne a été signalé par une proportion variable d'agriculteurs selon les sites étudiés. Ainsi, 22,00% des producteurs du site de M'Ziraa 68,00 % du site d'Ain Naga et 54,00 % du site de Doucen ont déclaré alterner entre plusieurs produits. **(Fig 34).** Cette pratique est souvent motivée par une recherche d'efficacité ou par l'apparition de résultats jugés insuffisants après les premiers traitements. Toutefois, cette alternance reste le plus souvent habituelle, et ne repose pas nécessairement sur la rotation des modes d'action, ce qui peut limiter son efficacité en termes de gestion durable des ravageurs.

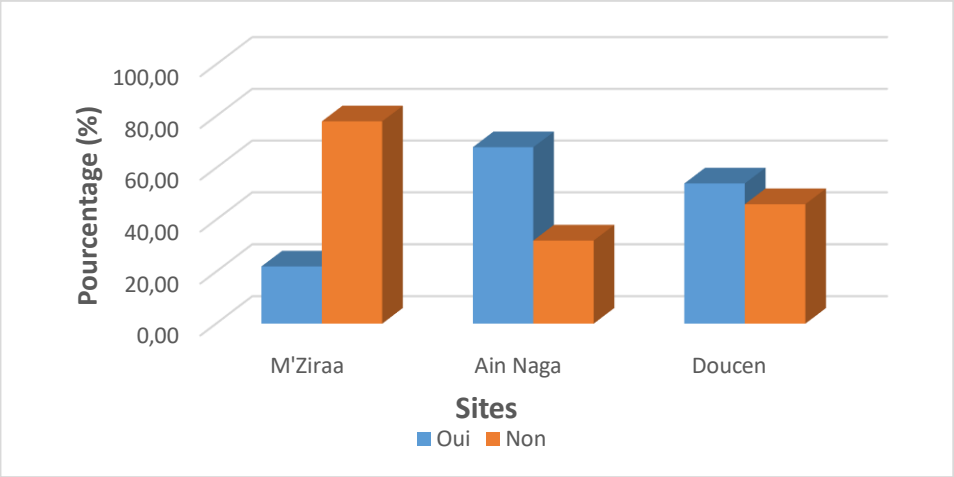


Figure 34. Changement de produit phytosanitaire dans les sites enquêtés (M'Ziraa, Ain Naga et Doucen)

L'analyse des réponses montre que certains agriculteurs déclarent changer de produit phytosanitaire au cours du cycle de culture. Toutefois, dans plusieurs cas, ce changement ne correspond pas à une véritable alternance de matières actives, mais plutôt à un simple remplacement commercial, les produits utilisés appartenant souvent au même groupe de mode d'action. Or, selon les recommandations de l'*IRAC*, une gestion efficace de la résistance repose sur l'alternance des modes d'action, c'est-à-dire l'utilisation successive de substances actives appartenant à des groupes différents. Cela permet de réduire la pression de sélection exercée sur les ravageurs et de préserver l'efficacité des traitements **(Sparks & Nauen, 2015)**.

2.1.1.3.4. Mélange des produits phytosanitaires

L'analyse de **la figure 35,** a révélé que 10,00%, 84,00% et 98,00% des agriculteurs déclarent mélanger deux produits phytosanitaires ou plus dans une même bouillie, dans les sites M'Ziraa,

Ain Naga et Doucen respectivement, généralement pour des raisons d'économie de temps ou dans le but d'augmenter l'efficacité perçue du traitement..

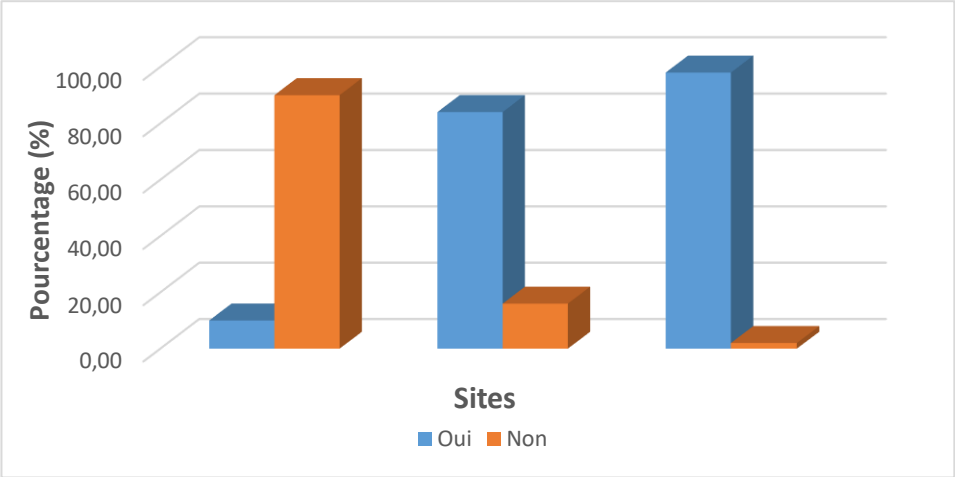


Figure 35. Mélange des produits phytosanitaire dans les sites enquêtés (M'Ziraa, Ain Naga et Doucen)

Toutefois, le mélange de produits sans prescription technique appropriée peut engendrer plusieurs conséquences négatives. Certains mélanges peuvent produire des réactions chimiques antagonistes, réduisant l'efficacité de l'un ou des deux produits, ou provoquer une phytotoxicité sur la culture. De plus, l'association de plusieurs matières actives peut accentuer la pression de sélection sur les ravageurs, favorisant ainsi l'apparition de résistances croisées **(Sparks & Nauen, 2015) .** Des études antérieures ont rapporté des interactions antagonistes entre les pyréthrinoïdes et les organophosphorés chez diverses espèces d'insectes nuisibles, notamment *Bemisia tabaci* au Pakistan **(Ahmed, 2007)** et *Helicoverpa armigera* en Afrique **(Martin et *al*, 2003)**. Ce type d'association, lorsqu'il est mal maîtrisé, peut réduire l'efficacité des traitements en raison de mécanismes chimiques ou physiologiques contradictoires. Toutefois, d'autres recherches ont montré que la toxicité de certains pyréthrinoïdes peut être renforcée lorsqu'ils sont combinés à de nouvelles matières actives, telles que l'émamectine benzoate ou le fipronil. Par exemple, **Attique et al (2006)** ont observé une augmentation de la toxicité de la bifenthrine et du chlorpyrifos lorsqu'ils étaient associés à ces nouveaux insecticides contre *Plutella xylostella*.

Ces résultats illustrent la complexité des interactions chimiques entre pesticides et soulignent la nécessité d'un encadrement technique rigoureux lors de l'utilisation de mélanges, afin d'éviter des effets contre-productifs ou des pertes d'efficacité.

2.1.1.3.5. Produit inefficace

Au même titre que la fréquence d'application et le mélange des produits, la dose utilisée constitue un facteur clé influençant non seulement l'efficacité des traitements phytosanitaires, mais aussi la réponse physiologique des plantes**.** Une proportion non négligeable d'agriculteurs 64,00% et 76,00% dans les sites Doucen et M'Ziraa respectivement **(Fig 36)**, a recours à des doses supérieures à celles recommandées, en appliquant parfois une double dose du produit en cas d'échec d'une première application

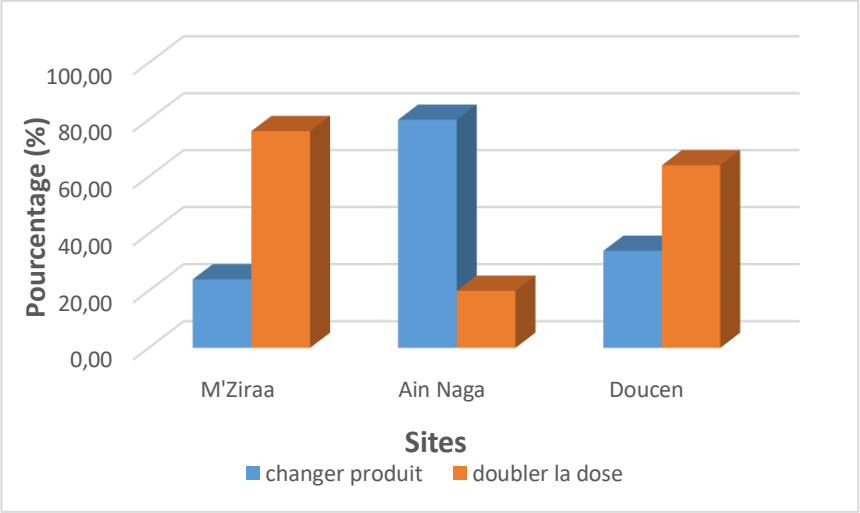


Figure 36. Produits inefficaces et comportement des agriculteurs dans les sites étudiés (M'Ziraa, Ain Naga et Doucen)

Cette pratique est souvent perçue comme un moyen d'augmenter l'efficacité des traitements. En effet, plusieurs études ont démontré que les effets des pesticides varient fortement selon leur concentration **Sharma (2016)** a montré que l'application de cyperméthrine à faible concentration pouvait stimuler la croissance et la hauteur des plantes, tandis que des concentrations plus élevées entraînaient une inhibition significative de tous les paramètres de croissance. De même, **Gafar et al. (2018)** ont observé que les pesticides Folimat 800 (Formothion, Organophosphorés) et Icaros (Abamectine) augmentaient la croissance végétative des carottes, aussi bien à la dose recommandée qu'à une dose excessive, mais sans différence marquée entre les deux. En revanche, **Glover-Amengor et Tetteh (2008)** ont noté que l'utilisation de Unden (Propoxur, Carbamates) et de Diathane (Mancozèbe (80 %), Dithiocarbamates) à faible concentration améliorait le rendement des cultures, alors que des doses élevées entraînaient une réduction significative de ce rendement.

2.1.1.3.6. Respect du délai avant récolte (DAR)

Bien que le respect du délai avant récolte (DAR) n'ait pas de lien direct avec l'efficacité du traitement, son étude reste essentielle pour évaluer le niveau de conscience des agriculteurs et la conformité des produits mis sur le marché. L'analyse de **la figure 37** montre que les agriculteurs du site de Doucen présentent le taux le plus élevé de non-respect du DAR, atteignant 92 %, suivis de ceux de M'Ziraa avec 74 %. Les serristes d'Ain Naga semblent quant à eux plus sensibilisés à cette pratique, avec un taux de non-respect de 60 %. Les résultats obtenus mettent en évidence un non-respect alarmant du délai avant récolte dans les trois sites étudiés, en particulier à Doucen et M'Ziraa **(Fig 37)**.

les résidus de pesticides laissés sur les fruits et légumes peuvent constituer un risque potentiel pour la santé des travailleurs qui pénètrent dans une zone qui a été précédemment traitée afin de réaliser la tâche de récolte **(Toumi et *al*., 2019).** Des résultats similaires ont été rapportés par **(Soudani et *al*, 2020)**, dans une étude menée dans la région région des Ziban (Ain naga et Douen), où le non-respect du DAR atteignait 18 %, un nombre faible en comparaison avec nos résultats. Ces résultats sont également cohérents avec une autre étude menée auprès d'agriculteurs tunisiens où la majorité d'entre eux récoltent leurs produits sans respecter le DAR, parfois le lendemain du traitement **(Toumi et *al*., 2018)**. En revanche, Une étude menée auprès de maraîchers vietnamiens a révélé que 98 % des agriculteurs déclaraient être conscients du délai d'attente (pre-harvest interval) recommandé avant récolte, mais qu'ils ne l'observaient pas systématiquement en pratique, ce qui peut être attribué à des lacunes dans la sensibilisation aux bonnes pratiques agricoles et à des compréhensions erronées des risques **(Nguyen et *al*., 2018)**. En accord avec les recherches de **Belhadi et *al*. (2016)** et de **Boukhalfa et *al*. (2018),** la plupart des agriculteurs estiment que les pesticides ne représentent pas un danger. Seule une minorité d'agriculteurs, estiment que ces produits pourraient nuire à l'environnement. Cependant, cette prise de conscience n'a pas été accompagnée d'une modification des pratiques comportementales.

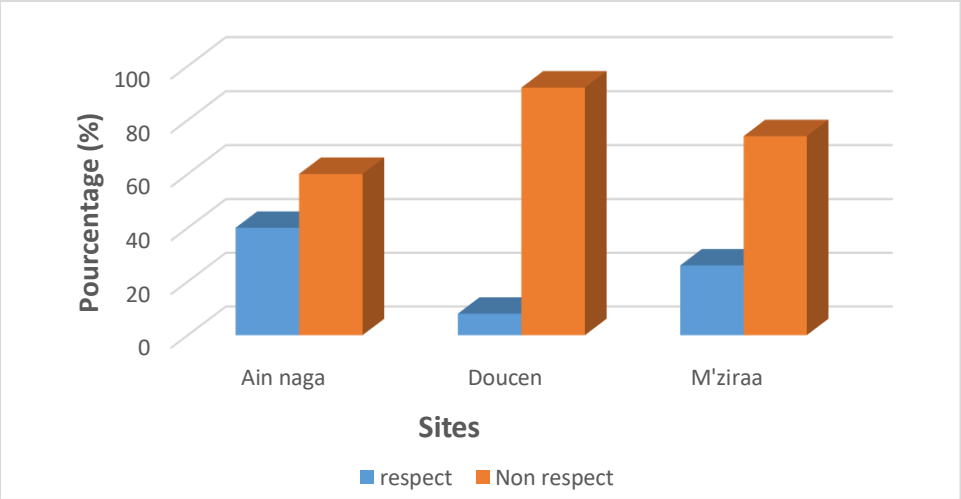


Figure 37. Respect du délai avant récolte (DAR) des serristes des trois sites étudiés (M'Ziraa, Ain Naga et Doucen)

2.1.2. Analyses statistiques approfondies

Afin de compléter l'analyse descriptive des pratiques agricoles, une approche statistique approfondie a été menée pour mettre en évidence les relations potentielles entre certaines variables clés issues de l'enquête. Deux outils statistiques complémentaires ont été utilisés : le test du Khi² d'indépendance et l'Analyse des Correspondances Multiples (ACM).

Le test du Khi² permet de vérifier s'il existe une relation statistiquement significative entre deux variables qualitatives (par exemple: type de formation reçue et adoption d'une pratique phytosanitaire). Ce test aide à déterminer si une variable peut influencer ou être associée à une autre.

Quant à l'ACM, il s'agit d'une méthode d'analyse multivariée utilisée pour explorer et représenter graphiquement les relations entre plusieurs variables qualitatives simultanément. Elle permet notamment de visualiser des regroupements de modalités (profils d'agriculteurs, pratiques similaires) et d'identifier les principales tendances dans un jeu de données complexe.

Ces analyses offrent une lecture croisée des données et permettent de renforcer l'interprétation des résultats en identifiant des liens statistiques non visibles à travers l'analyse descriptive seule.

2.1.2.1. Analyse des relations entre les variables d'enquête (Test du Khi²)

Les tests du Khi² ont été appliqués sur l'ensemble des données issues des trois sites étudiés, dans le but d'identifier des tendances générales et transversales.

L'objectif est de mettre en évidence les associations statistiques significatives entre les caractéristiques des producteurs (ex : formation agricole, niveau d'éducation) et leurs pratiques agricoles (culturales phytosanitaires.)

Seules les relations répondant aux conditions de validité du test (effectifs théoriques suffisants, tableaux exploitables) ont été retenues pour analyse. De plus, lorsque les conditions d'application du Khi² étaient fragiles, le test exact de Fisher a été utilisé pour valider ou non l'existence d'une association. Ainsi, seuls les couples de variables ayant donné une p-value inférieure au seuil $\alpha = 0,05$, et confirmés statistiquement, sont présentés et discutés dans la suite de ce chapitre. Les autres résultats, jugés non significatifs ou peu fiables, ont été volontairement exclus afin de garantir la rigueur de l'interprétation.

2.1.2.1.1. Formation agricole et pratique de mélange des produits – Site d'Aïn Naga

Dans le site d'Aïn Naga, les analyses statistiques basées sur le test du Khi² ($\alpha = 0,05$) ont révélé une relation significative entre le niveau de formation agricole et la pratique de mélange de produits phytosanitaires ($\chi^2 = 12,77$; $p = 0,0004$). **(Tableau 09)**

Le test exact de Fisher ($p = 0,0026$) confirme cette association, indiquant que les producteurs non formés ont davantage recours à cette pratique. Cela suggère une influence directe de la formation sur les décisions techniques liées à la protection phytosanitaire.

Tableau 9 Répartition croisée entre formation agricole et mélange de produits (Site Ain Naga)

Formation Agricole	Mélange pratiqué	Mélange non pratiqué	Total
Oui	4	5	9
Non	38	3	41
Total	42	8	50

Ces résultats indiquent une corrélation directe entre la formation reçue et les décisions techniques adoptées en matière de protection des plantes. Cette corrélation est particulièrement évidente dans le contexte du mélange de produits, qui est souvent considéré comme un moyen d'améliorer l'efficacité des traitements.

Selon ces résultats; la pratique du mélange de produits phytosanitaires est nettement plus répandue chez les producteurs qui n'ont pas reçu de formation agricole.

Ce phénomène pourrait être le signe d'une perception erronée selon laquelle la combinaison de plusieurs produits améliorerait l'efficacité du traitement, en raison d'un manque de connaissances approfondies sur les interactions chimiques.

En l'absence de connaissances techniques suffisantes, ces producteurs peuvent adopter des pratiques empiriques potentiellement dangereuses pour les cultures, la santé humaine et l'environnement.

De nombreuses études **(Sharma, 2016 ; Biondi et *al*., 2018)** ont démontré que le mélange incontrôlé de pesticides peut entraîner une perte d'efficacité, des effets antagonistes ou une accélération de la résistance chez les ravageurs. Les études de **Junghans & Langer (2019)** ont mis en évidence les risques environnementaux chroniques liés au mélange de pesticides, notamment sur les plantes aquatiques, les invertébrés et les vertébrés.

2.1.2.1.2. Formation agricole et choix de produit – Site d'Aïn Naga

De même, une deuxième relation significative a été observée, entre le niveau de formation agricole et la pratique de choix de produits phytosanitaires (χ^2 = 10,57; p = 0,001). **(Tableau 10).** Le test exact de Fisher (p = 0,0027) confirme cette association.

Tableau 10 Formation agricole et choix de produits (Site Ain Naga)

Formation agricole	Choix basé sur la specialité commerciale	Choix basé sur la matière active	Total
Oui	2	7	9
Non	32	9	41
Total	42	8	50

Cette association, indiquant que les producteurs non formés ont davantage recours à choisir les produits phytosanitaires en se basant sur leurs noms ou spécialités commerciales, soulève une problématique importante en matière de raisonnement technique.

Il convient de noter que l'identification d'un produit par son nom, plutôt que par sa matière active, peut conduire à une évaluation erronée de son mode d'action, de sa famille chimique ou de sa toxicité croisée. Ces choix, fréquemment influencés par la réputation du produit, les recommandations informelles ou les pratiques locales, ne garantissent pas une efficacité optimale du traitement, notamment dans un contexte où les parasites peuvent développer des résistances.

En outre, l'utilisation répétée de produits contenant des substances actives identiques, mais des dénominations commerciales différentes, peut engendrer une illusion de diversification ; en favorisant l'apparition de résistances chez les ravageurs, via une sélection qui élimine les individus sensibles et laisse survivre les formes tolérantes. Ce phénomène conduit à une perte progressive d'efficacité des traitements, même en respectant les doses recommandées **(Sparks & Nauen, 2015 ; IRAC, 2023)**. Il s'agit d'un mécanisme bien documenté notamment chez *Bemisia tabaci* et *Tuta absoluta*, souvent traités par les mêmes familles chimiques

2.1.2.1.3. Formation agricole et gestion des mauvaises herbes arrachées – Site de Doucen

Le test du Khi² appliqué à la relation entre le niveau de formation agricole des producteurs et leur mode de gestion des mauvaises herbes arrachées a révélé *une* association statistiquement significative ($\chi^2 = 7{,}93$; $p = 0{,}004$). Le test exact de Fisher ($p = 0{,}004$) confirme cette relation, indiquant que les deux variables ne sont pas indépendantes.

D'après les données recueillies, **(tableau 11)**, un nombre important des producteurs n'ayant pas reçu une formation sont ceux qui laissent les mauvaises herbes sur place ce qui peut favoriser la recontamination et le développement de foyers de ravageurs et maladies, tandis que ceux formés ont tendance à les jeter hors de la serre après arrachage.

Tableau 11 formation agricole et gestion des mauvaises herbes arrachées (Site Doucen)

Formation agricole	M.h jetées	M.h laissées dans la serre	Total
Oui	11	0	11
Non	21	18	39
Total	39	11	50

Lorsque les adventices arrachées sont laissées à l'intérieur de la serre, elles peuvent héberger des stades immatures de ravageurs ou des agents pathogènes, agissant comme réservoirs de recontamination. Cette situation a pour conséquence directe une efficacité réduite des produits appliqués, qui sont incapables d'éradiquer complètement les foyers d'infestation. Cette pression constante est susceptible d'induire une augmentation de la fréquence des traitements, voire l'apparition de résistances, en particulier lorsque les mêmes matières actives sont employées de manière répétée. **(Dara, 2019 ; El-Wakeil et *al.*, 2013)**

2.1.2.2. Caractérisation des pratiques agricoles sous serre à travers l'Analyse des Correspondances Multiples (ACM)

Afin de faciliter une compréhension plus approfondie de la logique qui fonde l'adoption de pratiques agricoles en serre et de leur influence potentielle sur l'efficacité des traitements contre les ravageurs et les maladies, une série d'analyses factorielles a été réalisée à l'aide de l'analyse des correspondances multiples (ACM). Cette méthode exploratoire facilite la visualisation des relations entre différentes variables qualitatives et l'identification de groupements de pratiques au sein des exploitations. Les analyses ont été effectuées de manière séparée par site et par type de pratique.

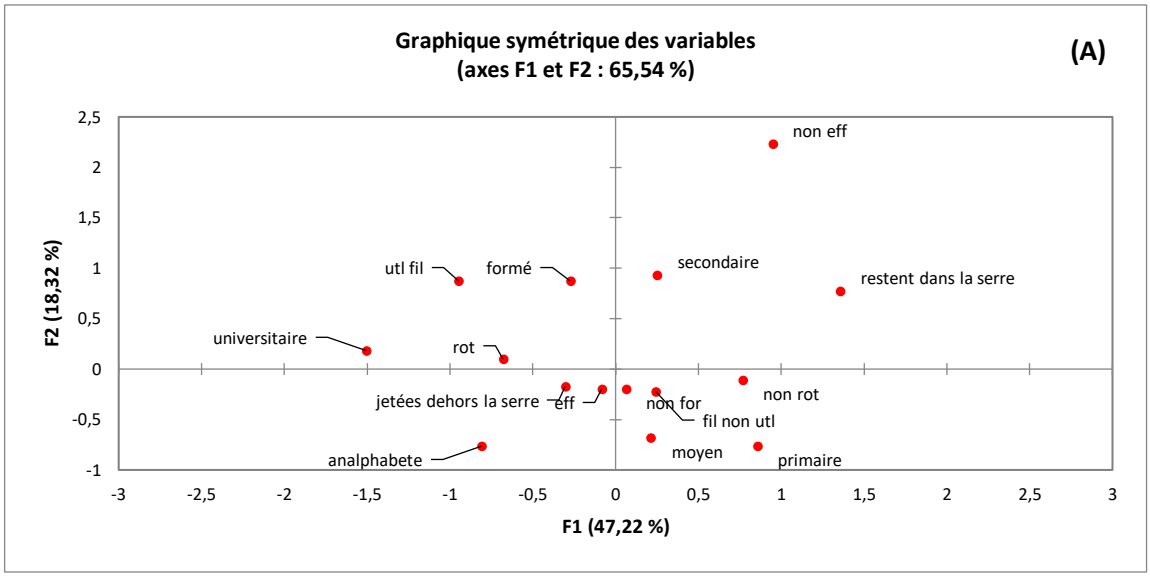
Les pratiques culturales englobaient des variables telles que la mise en œuvre de la rotation des cultures, l'effeuillage et l'utilisation de filets anti-insectes et la gestion des résidus des mauvaises herbes.

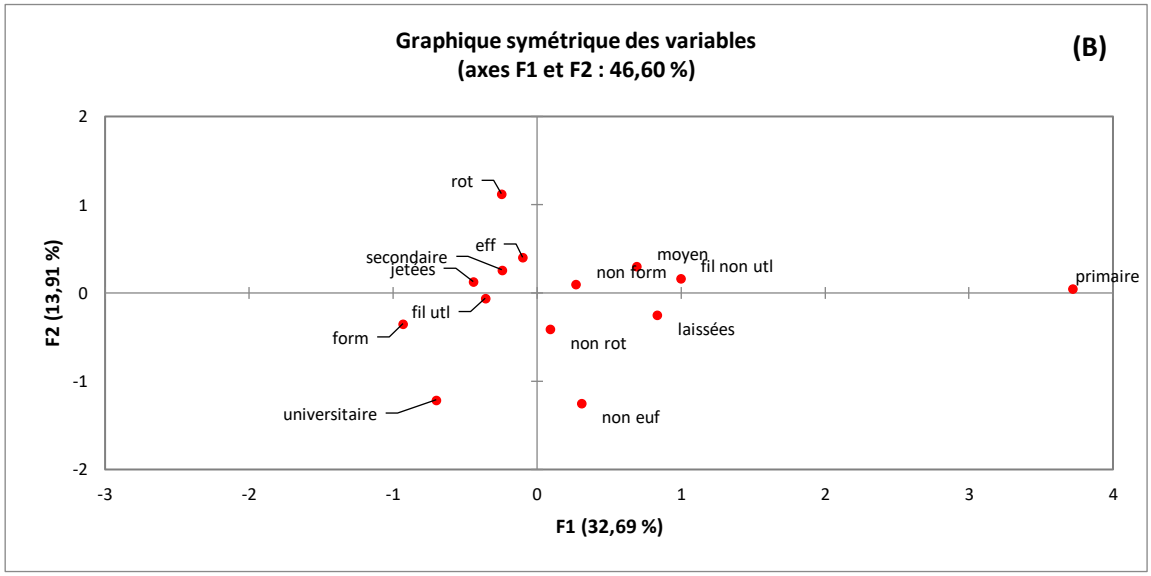
Les pratiques phytosanitaires englobent, les types de produits utilisés, les délais avant la récolte, le mélange des produits et.la base de choix du produit.

Cette approche méthodologique permet de dresser un profil complet des pratiques courantes dans chaque site, d'identifier les combinaisons de modalités les plus fréquentes et de détecter les contrastes propres à chaque localité. L'interprétation des axes factoriels et des contributions des modalités facilite l'établissement de liens entre des pratiques spécifiques et des comportements particuliers.

Les résultats sont présentés au-dessous **(Fig 38),** selon le type de pratique (culturale ou phytosanitaire). Pour chaque pratique, trois ACM ont été réalisées : une pour chaque site.

2.1.2.2.1. Analyse des pratiques culturales des sites étudiés





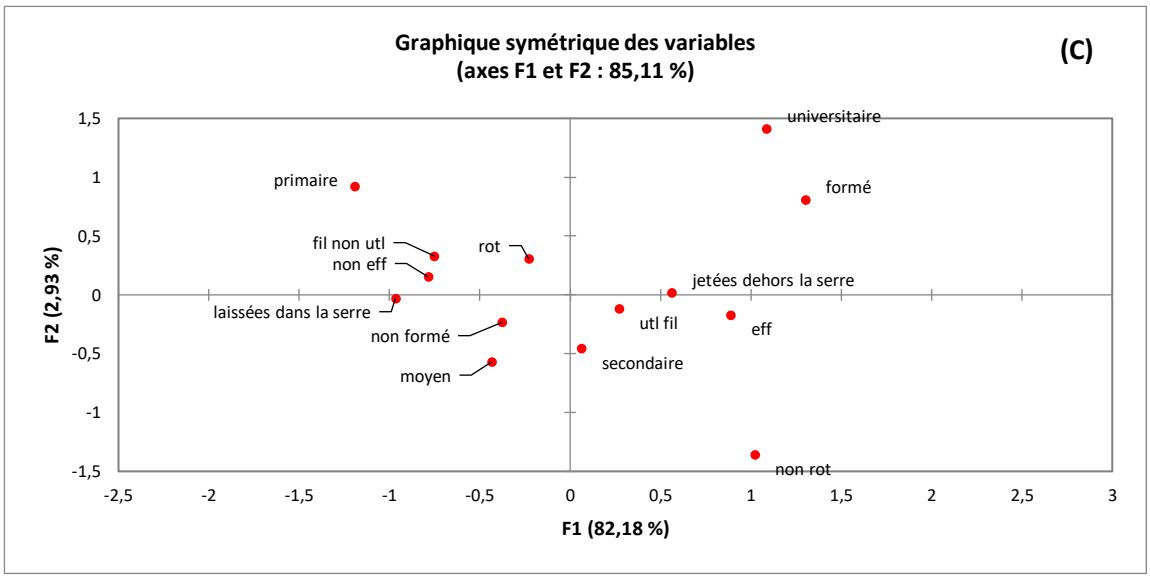


Figure 38. Lien entre formation agricole, niveau d'étude et adoption des pratiques culturales (ACM – site, A : Ain Naga, B : M'Ziraa, C : Doucen)

L'analyse des correspondances multiples (ACM) appliquée aux pratiques culturales dans les trois sites etudiée a permis de faire ressortir une structuration claire des profils d'exploitants, principalement différenciés par leur niveau d'étude et leur formation agricole.

La figure 38A (celle du site Ain Naga) a revelé que les deux premiers axes expliquent 65,54 % de l'inertie totale (axe F1 = 47,22 %, axe F2 = 18,32 %), ce qui montre une bonne représentation des données.

L'axe F1 oppose nettement deux groupes d'agriculteurs. Un premier groupe regroupe ; les agriculteurs formés et ayant un niveau d'étude universitaire, associés à : la mise en place de la rotation des cultures (rot), l'utilisation de filets insect-proof (utl fil), la pratique de l'effeuillage (eff), le fait de retirer les mauvaises herbes et de les jeter en dehors de la serre (jetées dehors la serre). Et un deuxième groupe ; les agriculteurs non formés, avec un niveau d'étude faible (primaire, moyen, secondaire), caractérisés par: l'absence de rotation (non rot), la non-utilisation de filets insect-proof (fil non utl), le non effeuillage (non eff), la tendance à laisser les mauvaises herbes à l'intérieur de la serre (restent dans la serre).

L'analyse de **la figure 38B** (celle du site M'ziraa) montre que Les deux premiers axes de l'ACM expliquent ensemble 46,60 % de l'inertie totale (axe F1 = 32,69 %, axe F2 = 13,91 %).

L'axe F1 permet de distinguer clairement deux profils opposés d'agriculteurs : d'un côté, ceux ayant une formation agricole et un niveau d'étude secondaire à universitaire, associés à des bonnes pratiques culturales (pratiquent la rotation et l'effeuillage, utilisent du filet insect-proof, jettent des mauvaises herbes hors serre). De l'autre, les agriculteurs non formés et ayant un

niveau d'étude faible à moyen**,** qui adoptent des pratiques peu favorables (absence de rotation, non effeuillage, absence de filet insect proof et présence de mauvaises herbes dans la serre).

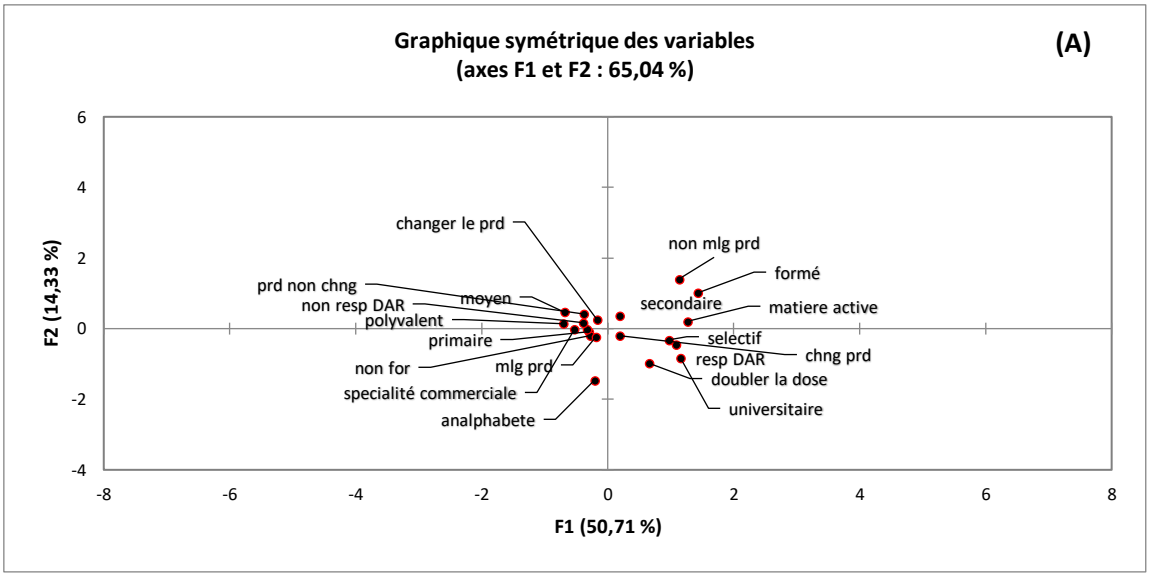
L'analyse des correspondances multiples (ACM) appliquée aux pratiques culturales dans le site Doucen, **(Fig 38C)** révèle une structure relativement bien représentée, avec 85,11 % de l'inertie totale expliquée par les deux premiers axes (axe F1: 82,18 % ; axe F2: 2,93 %). Cette forte contribution de l'axe F1 indique une opposition dominante entre deux groupes d'agriculteurs, mais contrairement aux autres sites, les modalités des pratiques ne sont pas strictement distribuées selon leur caractère favorable ou défavorable. En effet, les deux profils identifiés se distinguent principalement par leur niveau d'étude et leur formation, mais chacun adopte un mélange de pratiques considérées comme bonnes (telles que la pratique de la rotation ou l'utilisation du filet insect-proof) et d'autres moins recommandées (comme le non effeuillage ou la mauvaise gestion des mauvaises herbes arrachées)**.** Cela montre que la formation ou le niveau d'éducation ne suffisent pas toujours à expliquer les comportements agricoles. Ce constat rejoint l'étude de **Topp et *al.* (2024),** menée au Maroc, en Espagne et en Tunisie, qui ont montré que des pratiques durables comme la rotation ou la gestion du sol peuvent être adoptées indépendamment du niveau d'instruction. D'après cette étude, d'autres facteurs comme les échanges entre agriculteurs et l'expérience de terrain jouent un rôle plus important dans le choix des pratiques. Parallèlement, le guide technique de la **FAO (2013)** sur les bonnes pratiques agricoles en cultures maraîchères sous serre dans les zones méditerranéennes met en évidence l'importance d'un accompagnement ciblé et d'un renforcement des capacités techniques adaptés au contexte local pour garantir la mise en œuvre effective des pratiques recommandées.

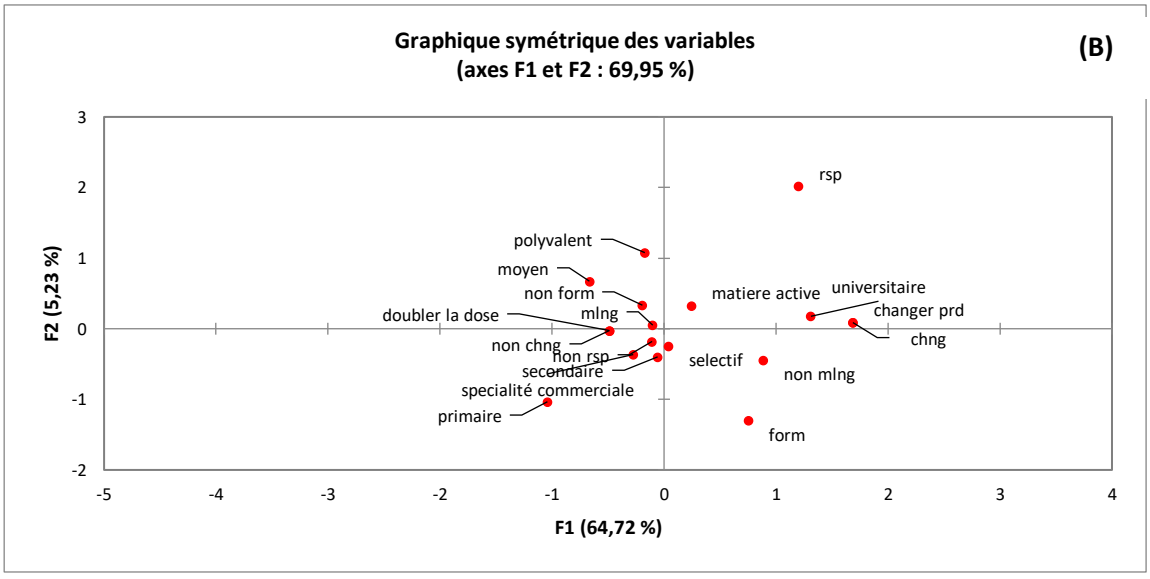
Nos résultats indiquent que, dans les deux premiers sites étudiés (Ain Naga et M'Ziraa) (Ziban Est), les agriculteurs ayant un bon niveau d'instruction et ayant suivi des formations agricoles adoptent plus facilement les bonnes pratiques culturales. Cette observation est appuyée par l'étude de **Takam Fongang et *al.* (2024)** au Québec, où ils ont révélé que les agriculteurs qui possèdent un niveau d'instruction supérieur et qui ont accès à des services de vulgarisation, sont significativement plus susceptibles d'adopter des pratiques relevant de l'agriculture de conservation, telles que la rotation des cultures ou la gestion rationnelle des intrants. De même, une étude réalisée au Congo par **Mulimbi et *al.* (2019)** ont trouvé que la participation à des groupes agricoles, l'accès à des formations spécialisées en renforcent l'adoption de bonnes pratiques. **Rizzo et *al*. (2024)**, soulignent que les facteurs socio-économiques comme le niveau

d'éducation figurent fréquemment parmi les déterminants de l'adoption des pratiques agricoles durables dans différents contextes européens.

2.1.2.2.2. Analyse des pratiques phytosanitaire des sites étudiés

La figure 39 représente une analyse des correspondances multiple (ACM) appliquée aux pratiques phytosanitaires dans les trois sites étudiés, les résultats de cette analyse ont révélé que, comme pour les pratiques culturales, les pratiques phytosanitaires étaient aussi différenciées par le niveau d'étude et la formation agricole en deux profils distincts.





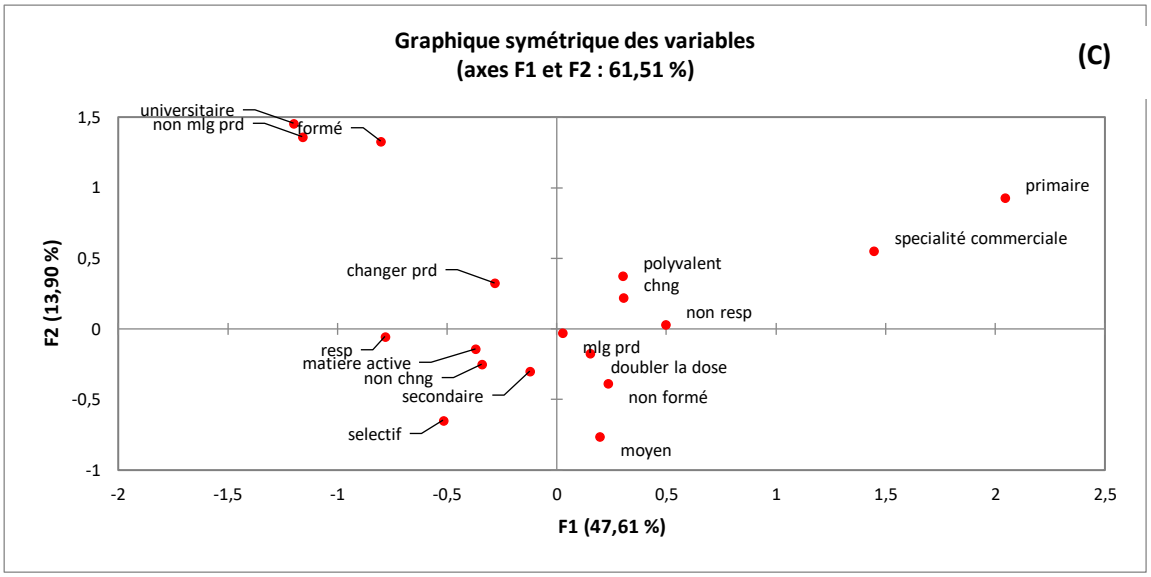


Figure 39. Lien entre formation agricole, niveau d'étude et adoption des pratiques phytosanitaires (ACM – site, A : Ain Naga, B : M'Ziraa, C : Doucen)

L'analyse factorielle des correspondances multiples (ACM) réalisée sur les pratiques phytosanitaires au site Ain Naga **(Fig 39A),** a permis de dégager deux profils contrastés d'agriculteurs, expliquant ensemble 65,04 % de l'inertie par les deux premiers axes. L'axe F1 (50,71 %)**,** qui est le plus explicatif, oppose clairement deux groupes selon leur niveau d'instruction et de formation. Le profil situé à droite du plan factoriel (F1+) regroupe des agriculteurs formés et ayant un niveau secondaire à universitaire**,** qui adoptent des pratiques phytosanitaires plus responsables : utilisation de produits sélectifs, non-mélange des produits, choix basé sur la matière active, et respect du Délai Avant Récolte (DAR). À l'opposé, le profil situé à gauche du plan (F1−) correspond aux agriculteurs non formés et faiblement instruits (niveau analphabètes à moyen)**.** Ce groupe est davantage associé à des pratiques à risque**,** comme le mélange de produits, le choix basé sur le nom commercial, et le non-respect du DAR.

L'analyse de **la figure (39B)** montre que les agriculteurs du site de M'Ziraa sont groupés en deux profils distincts, selon l'analyse des correspondances multiples appliquées à leurs pratiques phytosanitaires, les deux premiers axes expliquent 69,95 % de l'inertie totale (axe F1 = 64,72 %, axe F2 = 5,23 %). L'axe F1 permet de distinguer clairement deux profils opposés d'agriculteurs : d'un côté, ceux ayant une formation agricole et un niveau d'étude secondaire à universitaire, associés à des bonnes pratiques (ils utilisent des produits sélectifs, choisis en se basant sur la matiere active, changent du produit en cas d'échec du traitement, ils ne s'appuient pas sur un mélange aléatoire de pesticides, respectent le DAR). De l'autre, les agriculteurs non

formés et ayant un niveau d'étude moyen à secondaire**,** qui adoptent des pratiques non responsables qui causent un vrai danger ; (choix des produits polyvalents basé sur la spécialité commerciale, mélange aléatoire des produits, doubler la dose et le non-respect de DAR).

Dans le troisième graphique ACM, **(Fig 39C)**, les deux premiers axes expliquent 69,95 % de l'inertie totale (axe F1 = 64,72 %, axe F2 = 5,23 %). Dans ce dernier site deux profils distincts d'agriculteurs se dégagent clairement. Le premier, situé du côté négatif de l'axe F1, regroupe les agriculteurs formés et ayant un niveau d'instruction universitaire, qui adoptent globalement des pratiques phytosanitaires plus responsables (produits sélectifs, choix basé sur la matière active, non-mélange aléatoire des produits, respect du DAR). À l'opposé, le second profil (côté positif de F1) est caractérisé par des agriculteurs non formés, à faible niveau d'instruction (primaire ou analphabètes), qui tendent à adopter des pratiques à risque.

L'analyse des correspondances multiples (ACM) réalisée dans les trois sites étudiés révèle une homogénéité des résultats. Dans l'ensemble, deux profils d'agriculteurs se distinguent de manière constante : d'un côté, les agriculteurs formés et ayant un niveau d'étude universitaire, associés à l'adoption de pratiques phytosanitaires plus responsables ; de l'autre, ceux non formés et faiblement instruits, adoptant des pratiques à risque ou non conformes aux recommandations techniques. Ces résultats confirment le rôle déterminant du niveau d'instruction et de la formation agricole dans l'amélioration des comportements en matière de gestion des cultures et de l'utilisation des pesticides. Plusieurs études montrent que le niveau d'éducation et la formation jouent un rôle central dans l'adoption de bonnes pratiques phytosanitaires.

Une étude menée en Malaisie **(Sabran & Abas., 2021)**, a révélé une corrélation significative entre le niveau d'éducation et la perception des risques associés à l'utilisation des pesticides. Cependant, il a été observé que la présence d'un soutien technique est indispensable. Cette observation renforce donc l'idée que la combinaison d'un bon niveau scolaire et d'une formation spécifique constitue un facteur déterminant pour l'amélioration des pratiques en agriculture. Ces résultats rejoignent également ceux d'une étude expérimentale récente réalisée à Iran, qui a évalué l'impact d'un programme éducatif sur le comportement des agriculteurs vis-à-vis de l'usage des pesticides. Les auteurs ont observé qu'après intervention, les agriculteurs utilisaient plus fréquemment les équipements de protection individuelle et adoptaient davantage de comportements sécuritaires, tandis que les comportements à risque diminuaient. L'étude souligne par ailleurs que les agriculteurs les plus instruits avaient de meilleurs scores de

sécurité, confirmant que l'éducation et la formation jouent un rôle déterminant dans l'optimisation des pratiques liées aux produits phytosanitaires. **(Ahmadipour & Nakhei., 2024)**. Bien que le niveau d'éducation ait contribué à de meilleures pratiques phytosanitaires sur certains sites, cette relation n'est pas toujours linéaire. En effet, comme le rapporte une étude en Tanzanie (**Lekei et *al*., 2014**), la connaissance des risques ne garantit pas nécessairement l'adoption de comportements sûrs. D'autres facteurs, tels que l'accès aux ressources, les formations pratiques et les contraintes économiques, interviennent également.

2.2. Tomates, piment et principaux insectes ravageurs

La présence et l'abondance des ravageurs tels que *Tuta absoluta* et les aleurodes représentent une contrainte majeure pour les producteurs sous serre. Ce deuxième chapitre s'attache à analyser les dynamiques d'infestation de ces bioagresseurs à travers les différents sites et saisons, en lien avec les pratiques phytosanitaires mises en œuvre. Les taux d'infestation relevés ainsi que les traitements appliqués permettent d'évaluer l'efficacité des insecticides couramment utilisés, tout en soulevant la problématique de leur usage répété, qui peut favoriser le développement de résistances

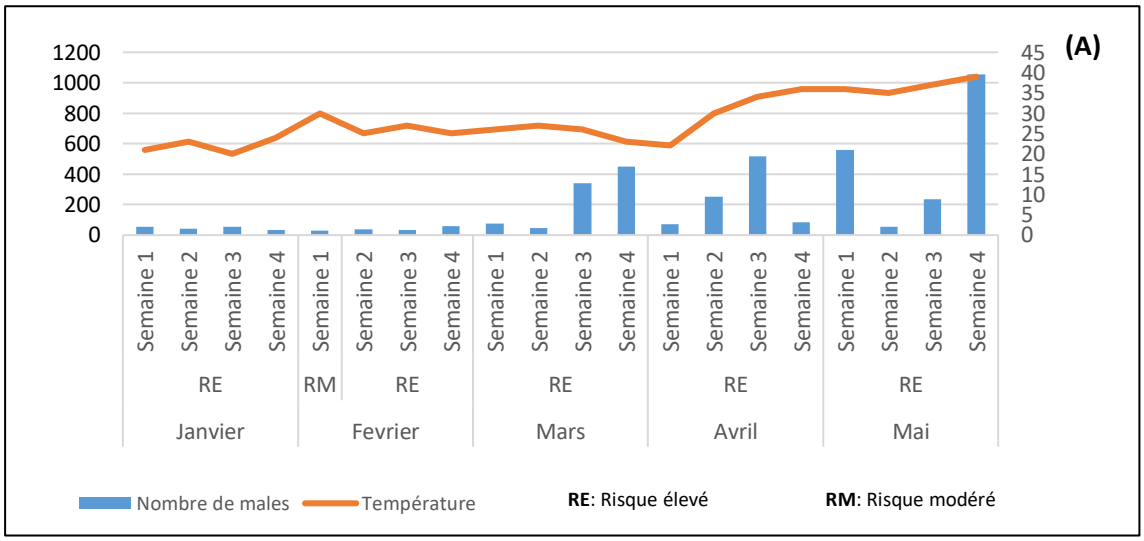
2.2.1. *Tuta absolutta* principal insecte ravageur de la culture de tomate sous serre

2.2.1.1. Evaluation des niveaux de risque d'infestation selon les captures en fonction de la température :

Le dénombrement des captures s'est fait au niveau des deux sites (Ain Naga et Doucen), afin d'évaluer les niveaux des risques d'infestation, selon les résultats obtenus, il ressort que la tomate cultivée dans ces deux sites, montre un niveau de risque qui varie entre modéré et élevé. Pour le site de Ain naga, les résultats de **la figure 40.**montrent que les risques élevés d'attaque, se situent durant toute la saison à l'exception de la première semaine du mois de Février, qui présente un risque modéré d'attaque, alors pour le site de Doucen, toute la période de culture présente un risque élevé d'attaque à l'exception de la deuxième semaine de Février et la première semaine du mois de Mars.

Les résultats de l'influence des variations thermiques sur les effectifs des mâles capturés aux pièges, montrent que le nombre de captures des adultes, est d'autant plus important que la température augmente ; **Guenaoui & Guelamallah (2008)** ont signalé que les populations de *T.absoluta* sont réglées par les facteurs climatiques, en particulier la température et l'humidité. L'étude de **Mahdi (2014)** a montré que la température est un facteur important dans la bioecologie de cet insecte. Et ce qui était auparavant signalé par de **Haji et al. (1988)** et de **Coelho et Franca (1987)** où leurs études ont montré que la durée des différents stades

biologiques de cet insecte diminue avec l'augmentation de la température, et par conséquent le cycle qui devient plus court. Selon **Barrientos et al. (1998)** ; **Krechemer & Foerster (2015),** le cycle biologique de la mineuse dépend de la température et peut durer plus longtemps à faible température. Nos résultats sont confirmés par ceux trouvés par **Allache et al (2012)** dans la même région, qui signalent une faible présence des adultes de *T. absoluta* durant la période hivernale, contrairement la période printanière s'est caractérisée par une augmentation du nombre des adultes capturés corrélée avec l'élévation de la température dans la serre. **Shahini et al (2021)**. affirment également que le nombre de captures de *T. absoluta* augmente au cours de la saison.



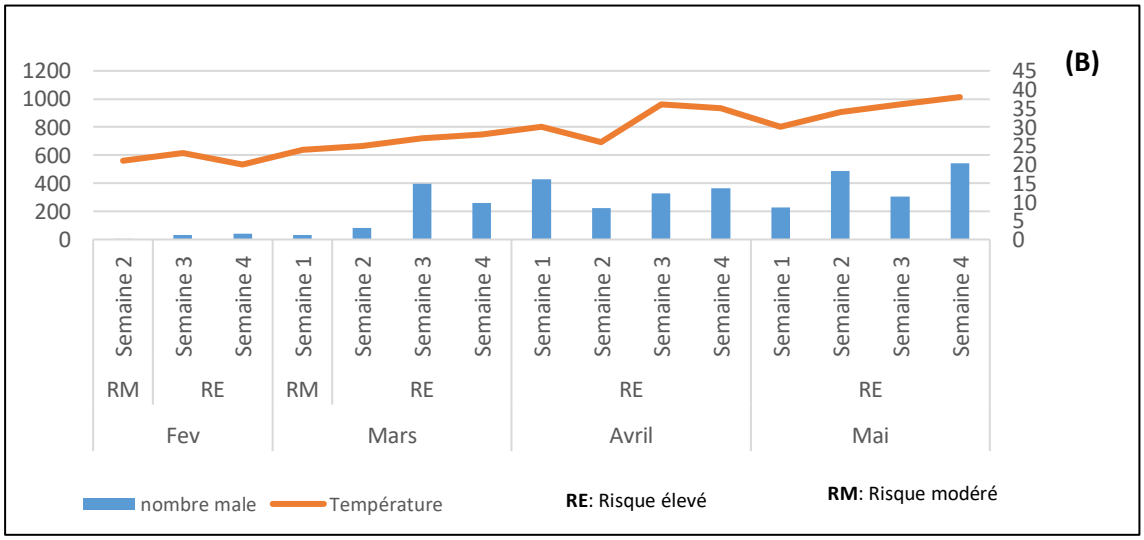
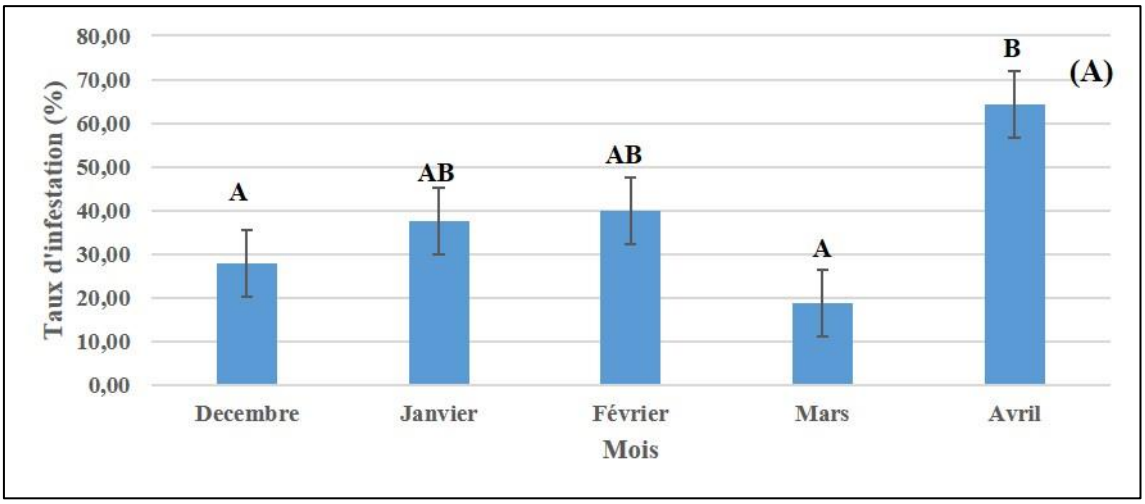
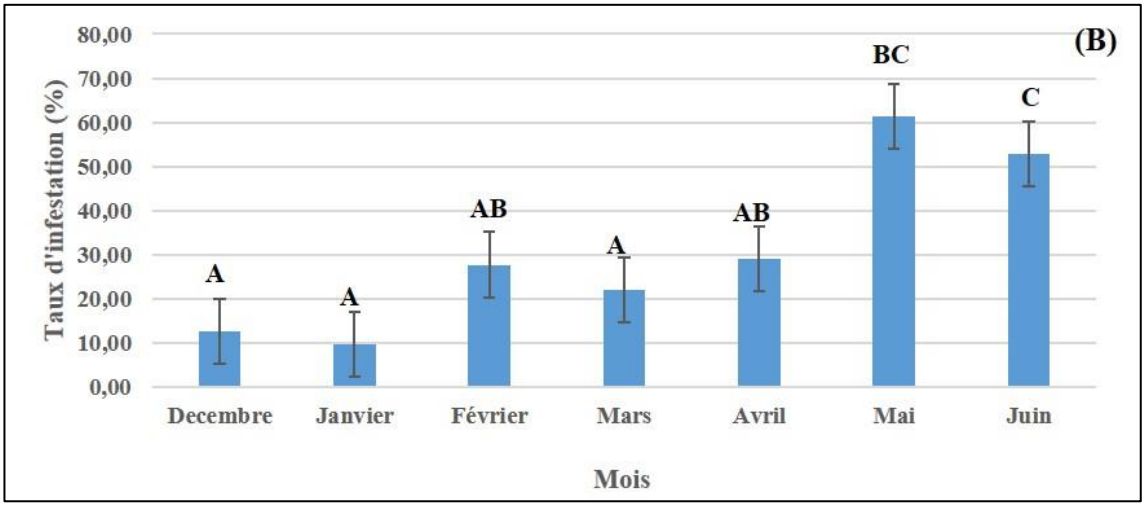


Figure 40. Niveaux de risque d'infestation selon les captures des males de la mineuse en fonction de la température :(A : Site Ain Naga, B : Site Doucen

2.2.1.2. Infestation de la culture de tomate par *Tuta absoluta*

Les infestations des populations de *T. absoluta* enregistrées sur les feuilles de tomate dans les trois sites augmentent progressivement d'un mois à un autre pour atteindre un maximum de 64,35%± 6,81, 61,34%± 4,66, 55,55%± 9,60, au mois Avril, Mai et Juin, dans les communes Ain Naga, M'Ziraa et Doucen respectivement, ce qui était confirmé par l'analyse de la variance qui montre une différence hautement significative entre les mois avec une probabilité inférieur à 0.01 **(Fig 41)**.





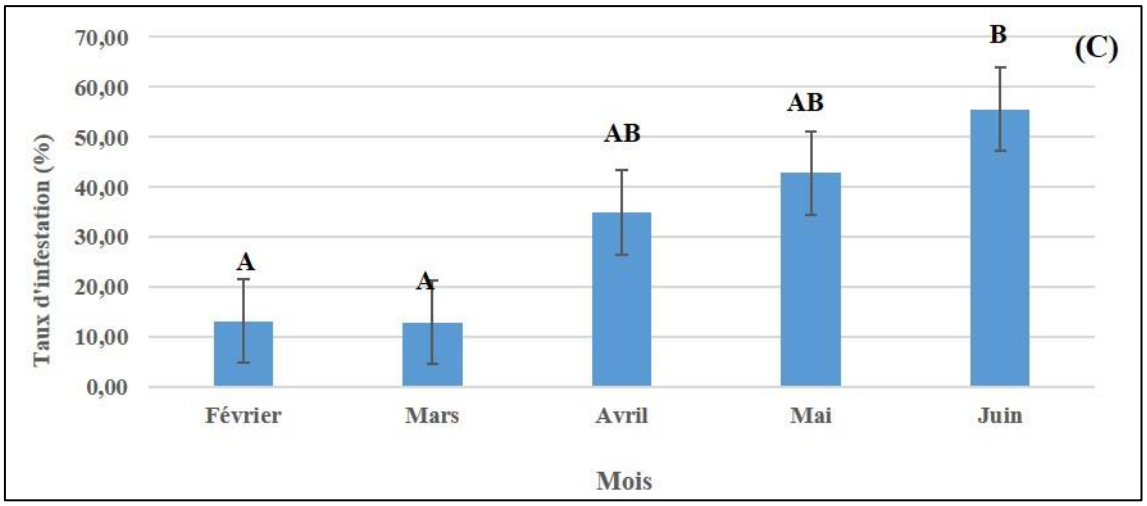


Figure 41. Fluctuation temporelle du taux d'infestation de *Tuta absoluta* dans les trois sites (A : site Ain naga, B : site M'Ziraa, C : site Doucen)

L'étude faite par **Attrassi (2015)** montre que durant le cycle de développement de *T. absoluta,* elle détruit 28,7 % de la surface verte d'une foliole en plein champ, ces résultats sont conformes avec le nombre des adultes males capturés dans les pièges à phéromone (543-1055 males / piège / semaine) à la fin de la saison. Contrairement, les taux les moins faibles étaient enregistrés durant les mois Décembre et Mars, Janvier et Mars, Février et Mars dans les communes Ain Naga, M'Ziraa et Doucen respectivement, ces faibles attaques peuvent s'expliqués par les baisse températures durant ces périodes qui s'étalent de 19°C à 22 °C.

Selon **Mahdi et *al* (2010)**, le développement de la mineuse est lié aux conditions climatiques et plus principalement les baisses des températures, son développement est plus important lorsque les températures sont élevées, notamment pendant la mi- printemps et en été dans les pays méditerranéens **(Desneux et *al.*, 2010)**. Ce qui était confirmé par l'étude faite par **Bellatreche et *al* (2021),** où leurs résultats montrent que la région de Biskra (sud Algérien) était plus infestée par rapport aux autres zones étudiées (Est, Ouest et Centre d'Algérie), ce qui explique l'influence des conditions climatiques sur le degré d'infestation et plus précisément la température. On note aussi que dans cette période le nombre des adultes males capturés dans les pièges à phéromone étaient faible (6-40 males / piège / semaine) et par conséquent le nombre des larves diminue d'où la diminution du taux d'attaque.

2.2.1.3. Préférence alimentaire des larves de *Tuta absoluta* selon les strates foliaires

Concernant la préférence alimentaire des larves de cette mineuse sur les différents strates foliaires de la tomate, les feuilles de l'étage basal étaient plus minées avec les larves de *T.absoluta*, presque durant tout le cycle de la culture dans les trois sites d'étude, avec une

moyenne de 47,29 ± 5,00, 34,62 ± 3,26 et 37,36 ± 6,22 dans les communes Ain Naga, M'Ziraa et Doucen respectivement **(Fig 42).**

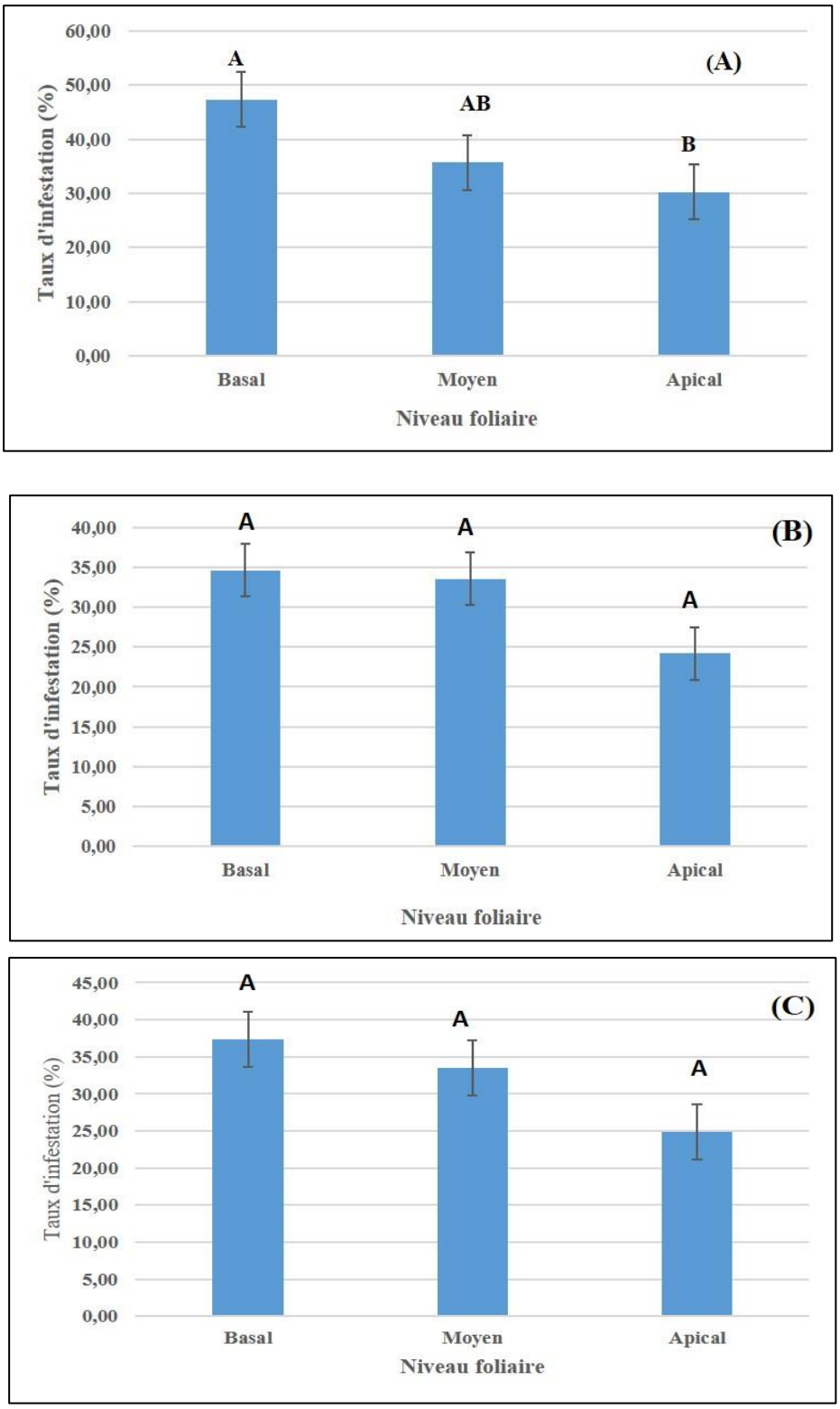


Figure 42. Variation de l'infestation de *Tuta absoluta* selon les strates foliaires dans les trois sites (A : site Ain naga, B : site M'Ziraa, C : site Doucen)

Nos résultats sont les mêmes trouvés par **(Aroun et *al,* 2010)** dans le littoral algérois, qui trouvent que l'étage basal était plus infestés par les larves et que l'infestation augmente avec le temps. Alors qu'ils sont différents aux ceux trouvés par **Torres et al., 2001; Leite et al., 2004**, qui signalent que après la sélection de la plante hôte par la femelle, elle préfère la face inferieure des feuilles apicales de tomate pour pondre ses œufs ; qui sont caractérisées par une faible teneur en calcium et qui sont plus tendres par rapport aux feuilles moyennes ou basales de la plante hôte. Après éclosion des œufs ils donnent le premier stade larvaire qui commence à percer les feuilles pour entrer à l'intérieur du mésophylle des feuilles ou des autres parties de la plante hôte, le développement larvaire dépends de la qualité nutritionnelle et/ou la production des métabolites de la plante **(Bawin et *al*., 2016)**.

Cette différence dans nos résultats, peut être justifiée par que les feuilles qui étaient dans l'étage apical et qui contiennent les œufs pondus par les femelles, avec le développement des stades phynologiques de la plante deviennent dans l'étage basal et leurs œuf donnent naissance à des larves qui attaquent ces feuilles-là, donc l'infestation doit suivre les différents stades de croissance de la plante. Ainsi les folioles de l'étage basal ont été plus précocement infestées que celles de l'étage moyen et apical, comme s'il peut que l'infestation élevée de l'étage basal est due à cause de la migration des larves. **(Cherif et *al*.,2013)** signalent que durant leurs développement, les larves des premiers stades larvaires migrent des feuilles apicales vers les feuilles moyennes et basales, pour achever leurs derniers stades avant la nymphose, grâce au grand nombre des feuilles de ces étages (disponibilité de la nourriture). Ce phénomène est fréquent chez les larves de *T. absoluta* qui quittent leur galeries pour en creuser une nouvelle sur une autre feuille **(Urbaneja et *al.*, 2007; Lacordaire et Feuvrier, 2010)**

Vers la fin de la saison la fréquence des attaques de la culture augmente, les dégâts deviennent visibles sur les étages supérieurs ce qui explique l'augmentation des taux d'infestation de l'étage apical. **Nayana et al (2017)** ont observé que la densité des dégâts causés par *T. absoluta* augmente avec le développement de la plante soit sous serre ou en plein champ, et ce qui était confirmé par **(Lietti et *al*., 2005**), qui signale que le taux d'infestation augmente avec le développement des plants de la tomate. En effet il y'a une synchronisation entre la plante et son ravageur, donc la propagation du ravageur se fait lorsque la plante est en stade favorable à son développement.

2.2.1.4. Efficacité des insecticides utilisés par les serristes contre *T absoluta*.

La lutte chimique est l'une des stratégies les plus largement adoptées pour la gestion de *T.absoluta* **(Lebdi-Grissa et *al.*, 2010 ; Silverio et *al*., 2009)**. Néanmoins, cette approche est

confrontée à des obstacles majeurs, notamment en raison du comportement endophagique des larves qui se développent à l'intérieur des feuilles, des tiges et des fruits **(Konus, 2014).** L'efficacité de certains insecticides sur les larves de ravageurs peut être attribuée à l'action du produit chimique lui-même, à la formulation de celui-ci ou au régime alimentaire spécifique du ravageur **(Siegwart, 2017)**.

Les résultats de cette étude **(Fig 43)**, indiquent que l'Abamectine est la substance active la plus fréquemment utilisée par les serristes des trois sites étudiés, que ce soit en tant que traitement autonome ou en combinaison avec d'autres ingrédients actifs. Il a été démontré que l'Abamectine exerce son effet sur le ravageur par ingestion et par contact. Il est à noter que certains produits chimiques, y compris l'Abamectine, présentent une persistance relativement courte. En effet, l'abamectine subit fréquemment une photodégradation rapide dans l'environnement **(Novelli et *al*., 2012 ; Tisler & Erzen, 2006)**. Cette hypothèse est étayée par l'efficacité modérée observée sur le site de M'Ziraa (59,97 %), ainsi que par la résistance potentielle développée par les populations locales de *T. absoluta* à cet insecticide **(Lietti et *al*., 2005).** De fait, une multitude d'études ont documenté la résistance de *T. absoluta* à des substances actives telles que l'Abamectine et la Deltaméthrine dans diverses régions, notamment au Brésil, en Europe et en Afrique du Nord **(Silva et *al*., 2015 ; Roditakis et *al*., 2015 ; Guedes et *al*., 2019 ; Langa et *al*., 2022).**

Il est concevable que les populations méditerranéennes de *T. absoluta* aient déjà développé une résistance génétique **(Braham & Hajji, 2012)**. L'efficacité de l'Emamectine Benzoate, une substance appartenant à la famille des Avermectines, s'est avérée non significative dans le cadre de cette étude **(voir fig 43)**. Ce résultat est cohérent avec les observations de **Shiberu et Getu (2017),** qui ont rapporté que l'Emamectin Benzoate a démontré une efficacité accrue lorsqu'il est utilisé en combinaison avec d'autres ingrédients actifs, par opposition à une application unique.

En revanche, l'acétamipride a démontré une efficacité notable (60,62 %) dans la gestion de *T. absoluta,* comme l'illustre **la figure 43A**. Comme l'ont démontré **Zekeya et al. (2017)**, cet insecticide de nature systémique agit par contact et par ingestion. Il possède un large spectre d'activité qui couvre plusieurs ordres d'insectes, dont les lépidoptères. L'insecticide en question agit sur le système digestif et présente une forte activité osmotique et systémique **(Takahashi et *al*., 1998).**

Des études menées sur des mineuses originaires du Brésil, d'Italie et de Tu rquie ont révélé des niveaux élevés de résistance aux diamides, y compris le chlorantraniliprole **(Silva et *al*., 2016 ; Roditakis et *al*., 2015 ; Yalcin et *al*., 2015).**

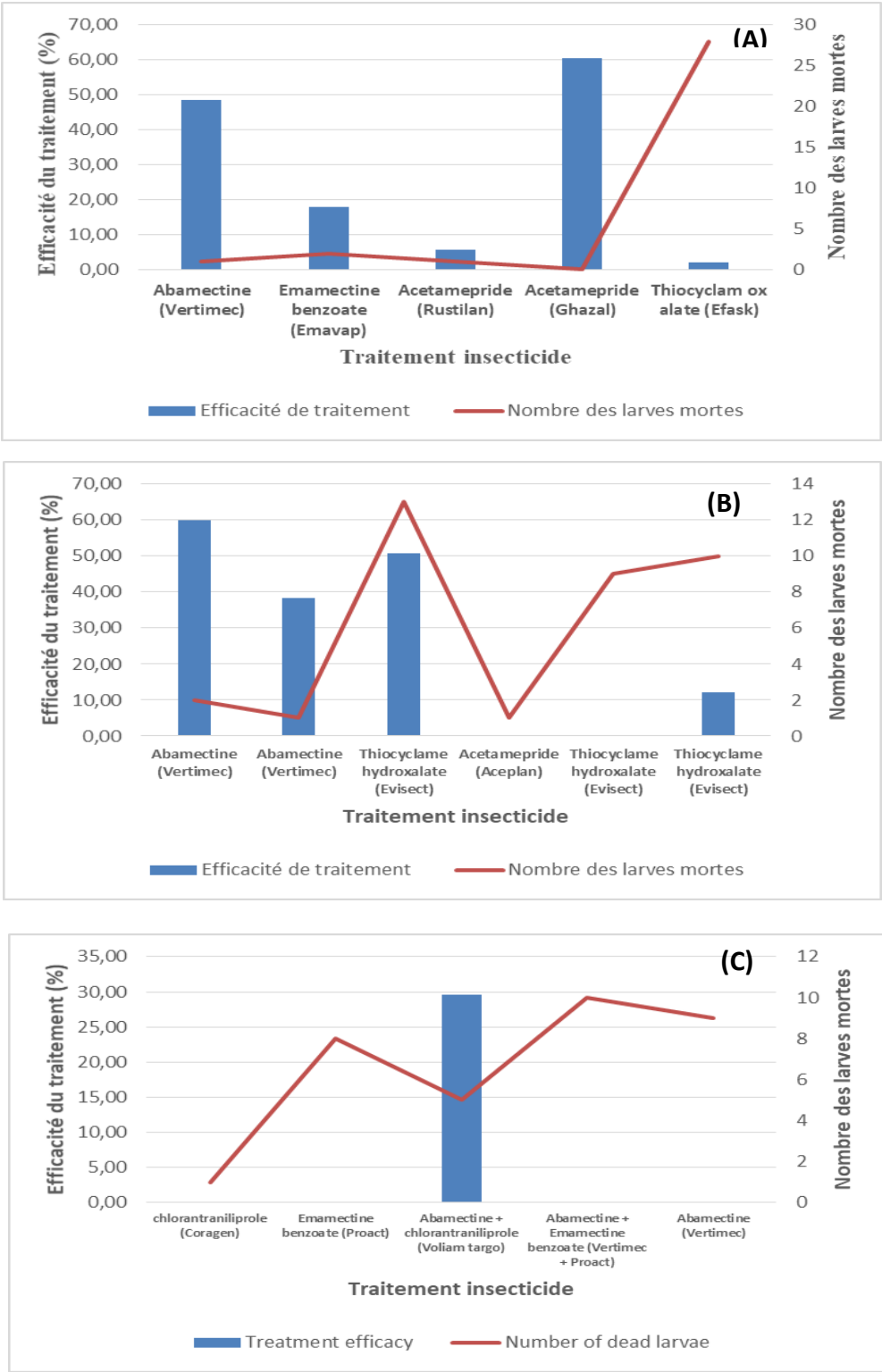


Figure 43. Efficacité des insecticides utilisés par les serristes contre *T absoluta* dans les trois sites (A : Ain naga, B : M'Ziraa, C : Doucen)

2.2.2. Les mouches blanches un redoutable ravageur de la culture du piment sous serre

2.2.2.1. Dispersion spatiale de l'infestation dans la serre

L'analyse de la variance a permis d'évaluer l'effet de la position dans la serre sur l'abondance des aleurodes. L'objectif est de mettre en évidence la dispersion horizontale de l'infestation. Les résultats sont présentés sous forme de tableaux d'ANOVA **(Tableau 12)**, complétés par des représentations graphiques permettant de mieux visualiser la distribution de l'infestation. (**Fig 44A).**

Tableau 12. Effet de la position dans la serre sur le taux d'infestation moyen des aleurodes dans les trois sites.

Facteur	Position	Ain naga	M'Ziraa	Doucen
Modalités	**Entrée**	42,36 ± 3,45 b	25,92 ± 3,45 b	34,44 ± 3,71 b
	Centre	46,89 ± 1,70 a	30,58 ± 1,84 a	31,51 ± 1,75 a
	Sortiet	9,70 ± 3,77 b	12,60 ± 1,97 b	6,38 ± 3,14 b
Tests statistiques	**Test F**	44,5952	19,5490	26,7766
	p-value	0,0001	0,0001	0,0001

Les moyennes estimées indiquent que l'infestation était plus élevée à la sortie et à l'entrée qu'au centre. Ces résultats indiquent que les bordures constituent des zones privilégiées de colonisation, probablement en raison de la proximité des ouvertures et de l'exposition accrue aux flux d'air et aux intrusions d'insectes de l'extérieur

Cette hétérogénéité a également été confirmée par les heatmaps **(Fig 44 B)**, qui montrent une concentration accrue des populations d'aleurodes aux extrémités de la serre.

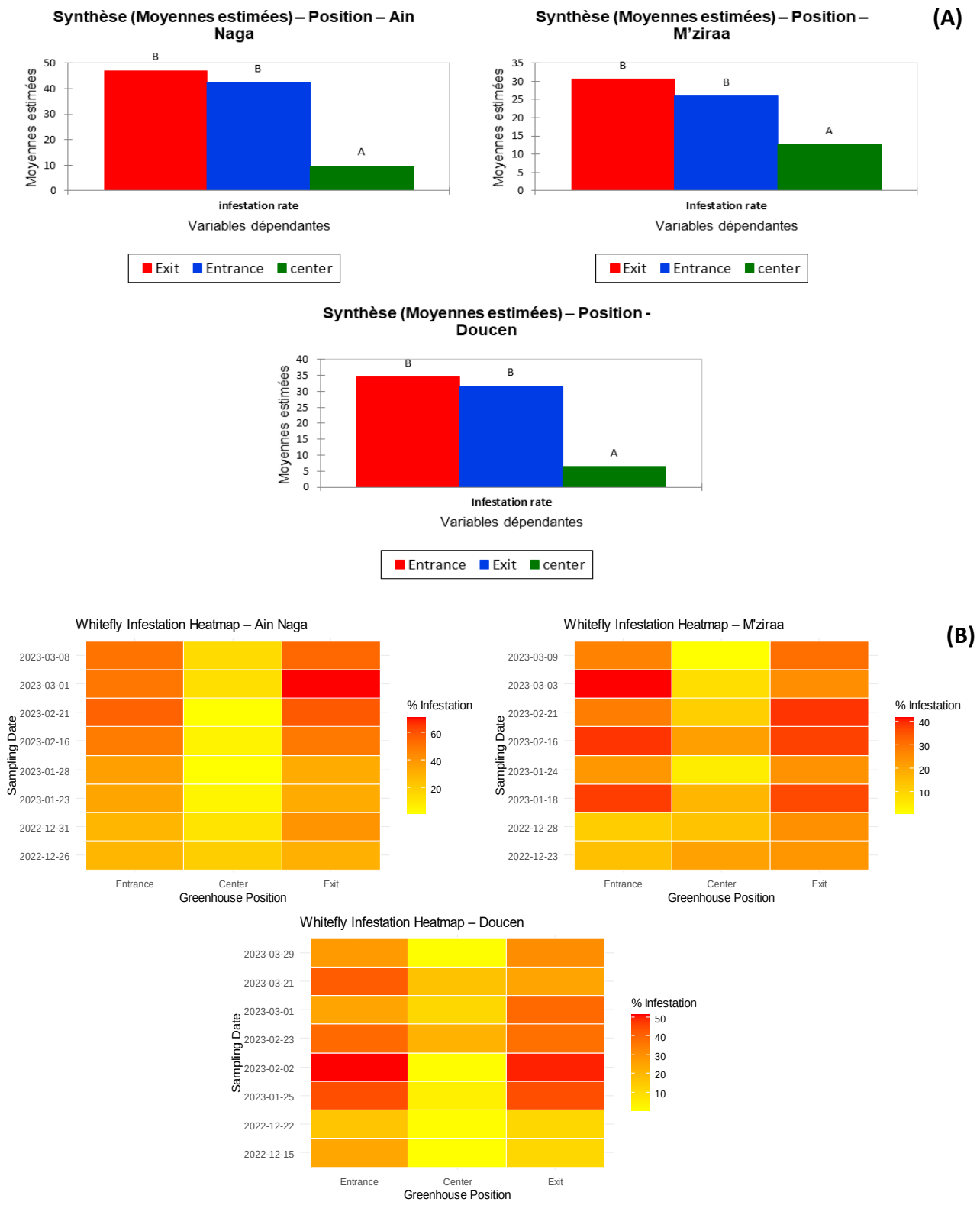


Figure 44. A .Variation horizontale de l'infestation des aleurodes selon la position dans la serre, B. Carte de densité (heatmap) illustrant la distribution spatiale des aleurodes dans la serre

Cette distribution spatiale suggère une colonisation progressive à partir des ouvertures, mécanisme déjà documenté dans d'autres contextes. Une étude conduite en plein champ sur tomate a mis en évidence que la distribution de *B. tabaci* est fortement agrégée, avec un schéma de colonisation débutant aux bordures avant de s'étendre progressivement vers l'intérieur des parcelles **(Ribeiro et *al.*, 2021)**. Cette observation est cohérente avec les travaux d'**Ullah & Lim (2016)** en serre de fraises qui ont montré une agrégation des populations d'aleurodes principalement aux bordures et aux zones proches des ouvertures.

Cette hétérogénéité spatiale n'est pas spécifique aux aleurodes mais elle s'inscrit dans une tendance largement décrite chez divers ravageurs de cultures protégées **Fatnassi et *al.* (2015),** qui ont rapporté des concentrations plus fortes de thrips sur les marges des serres, corrélées à des gradients internes de température et d'humidité. L'étude de **Martins et al. (2018)** sur *T.absoluta* en tomate en plein champ démontre qu'une distribution agrégée des œufs se concentre aux bordures des parcelles dans 19 des 22 sites étudiés. Enfin, **Nguyen et al. (2018)** ont souligné que cette distribution constitue une caractéristique commune à plusieurs insectes hémiptères, notamment les aleurodes et les pucerons, en raison de conditions microclimatiques plus favorables et d'une accessibilité accrue aux jeunes tissus végétaux en périphérie.

2.2.2.2. Préférence alimentaire des aleurodes selon les strates foliaires

L'analyse de la variance a montré un effet hautement significatif du niveau foliaire sur le taux d'infestation dans les trois sites étudiés (Aïn Naga : F = 67,40 ; p= 0,0001 ; M'Ziraa : F = 40,38; p= 0,0001 ; Doucen : F = 25,22; p= 0,0001) **(Tableau 13)**. Dans l'ensemble, les feuilles basales (N1) ont présenté les taux d'infestation les plus élevés, suivies des feuilles de l'étage moyen (N2), tandis que l'étage apical (N3) est resté le moins colonisé. Des représentations graphiques **(Fig 45)** permettent de mieux visualiser la distribution de l'infestation.

Tableau 13. Répartition des infestations des aleurodes selon les strates foliaires dans les trois sites.

Facteur	Niveau	Ain naga	M'Ziraa	Doucen
Modalités	**Basal**	49,76 ± 2,28 c	35,69 ± 2,62 c	35,51 ± 3,25 c
	Moyen	32,29 ± 3,03 b	21,37 ± 1,82 b	21,54 ± 2,56 b
	Apical	10,80 ± 3,02 a	10,89 ± 1,13 a	10,56 ± 2,18 a
Tests statistiques	**Test F**	67,4092	40,3850	25,2204
	p-value	0,0001	0,0001	0,0001

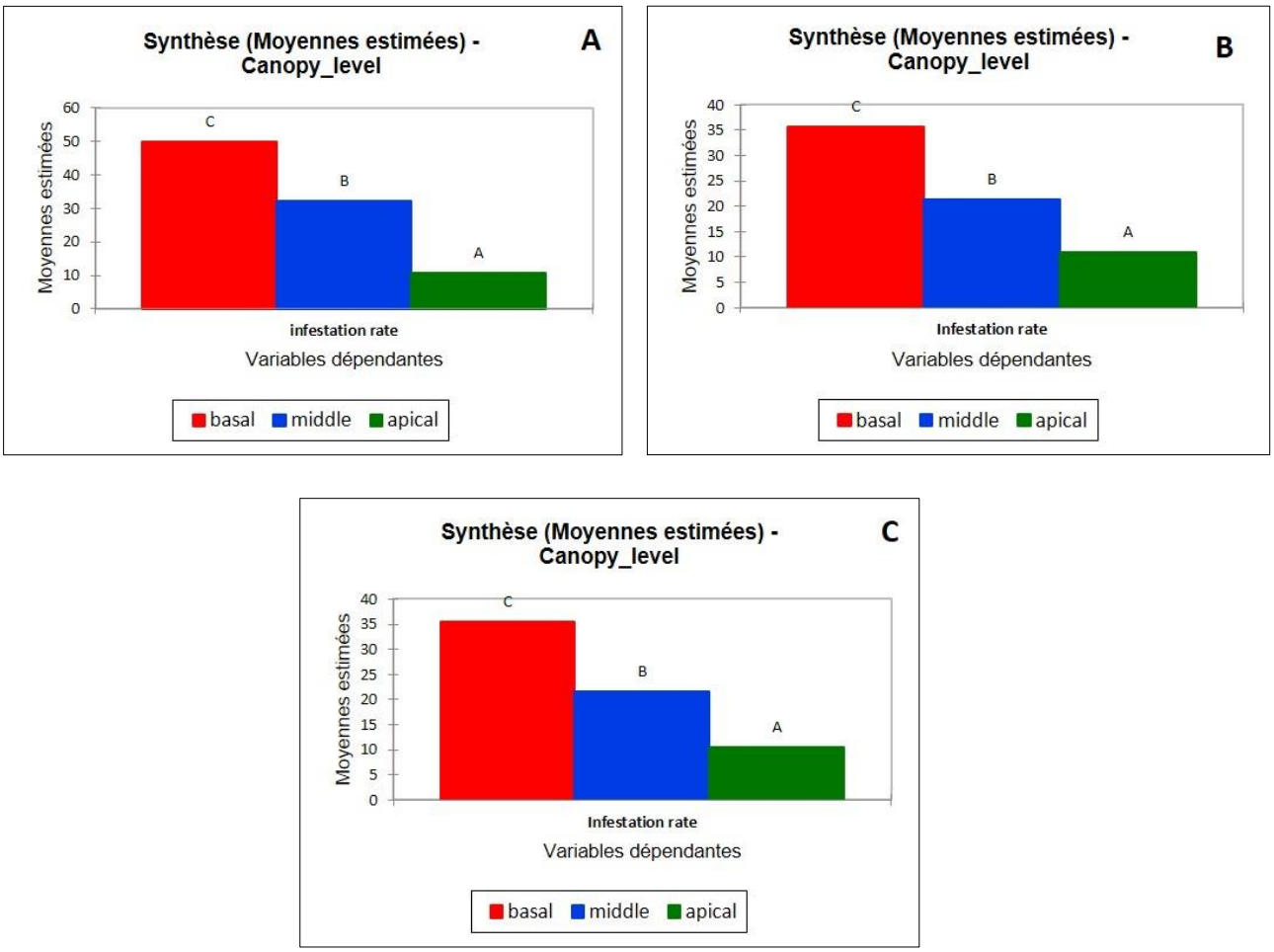


Figure 45. Variation de l'infestation des aleurodes selon les strates foliaires dans les trois sites (A : site Ain naga, B : site M'Ziraa, C : site Doucen)

L'examen conjoint du niveau foliaire met en évidence une répartition verticale marquée de l'infestation. Durant toute la période d'étude les aleurodes se sont davantage concentrés sur les feuilles basales (N1), suivies par les feuilles intermédiaires (N2), alors que les feuilles apicales (N3) restaient les moins touchées.

Néanmoins, il convient de préciser que cette distribution pourrait ne pas indiquer une préférence directe pour les feuilles inférieures lors de la ponte. En effet, étant donné que les stades nymphaux sont sédentaires, il est possible que leur localisation actuelle soit le résultat du développement phénologique de la plante. Il s'ensuit que les feuilles qui ont accueilli la ponte, et qui étaient initialement situées au sommet, deviennent progressivement médianes puis basales au fur et à mesure de la croissance de la plante. Cette hypothèse, qui postule que les feuilles déjà colonisées se déplacent verticalement, permet d'expliquer la présence de stades immatures en bas de la structure sans qu'il y ait eu de migration active des individus.

Cette observation est cohérente avec les travaux d'**Arnó et *al*. (2006)** menés sur la tomate en serre en Espagne, qui ont montré une répartition différentielle des stades de développement des aleurodes selon l'espèce et la position foliaire. Les auteurs ont observé que les œufs de *Trialeurodes vaporariorum* étaient majoritairement localisés sur les feuilles supérieures, tandis que ceux de *Bemisia tabaci* se concentraient sur les feuilles médianes. En revanche, les nymphes des deux espèces étaient essentiellement regroupées sur les feuilles inférieures, confirmant ainsi l'importance de la stratification foliaire dans la dynamique d'infestation. L'étude de **Hou et *al.* (2007)** ont mis en évidence une répartition stratifiée de *Bemisia tabaci* au sein de la plante, où les adultes colonisent préférentiellement les feuilles jeunes, tandis que les œufs, nymphes et pupes se retrouvent majoritairement sur les feuilles matures et âgées, confirmant ainsi la tendance observée dans nos résultats à une infestation plus marquée des feuilles basales. Cette distribution verticale pourrait s'expliquer par le comportement de ponte ciblant les tissus jeunes riches en nutriments et moins exposés aux défenses foliaires. La préférence de *Bemisia tabaci* pour certaines strates foliaires pourrait également être liée à des caractéristiques morphologiques spécifiques des feuilles**,** telles que la densité des trichomes ou l'épaisseur du limbe.

En effet, **Hasanuzzaman et al. (2016)** ont montré que ces caractères influencent significativement le comportement d'installation et de ponte de *B. tabaci* chez différentes variétés d'aubergine. Les feuilles jeunes, souvent plus tendres et nutritives, sont privilégiées par les adultes pour la ponte. Au fil du développement de la plante, ces feuilles deviennent matures ou basales, ce qui expliquerait la concentration observée des stades immatures dans les parties inférieures, comme c'est le cas dans nos résultats sur le piment sous serre. Nos observations sont en accord avec celles de **Shah et al. (2020)**, qui ont montré que les œufs et nymphes de *Bemisia tabaci* se retrouvent majoritairement sur les feuilles intermédiaires à basales de la pomme de terre. Cette répartition confirme la tendance des stades immatures à s'accumuler dans les zones inférieures de la plante à une moindre exposition directe aux conditions environnementales extrêmes.

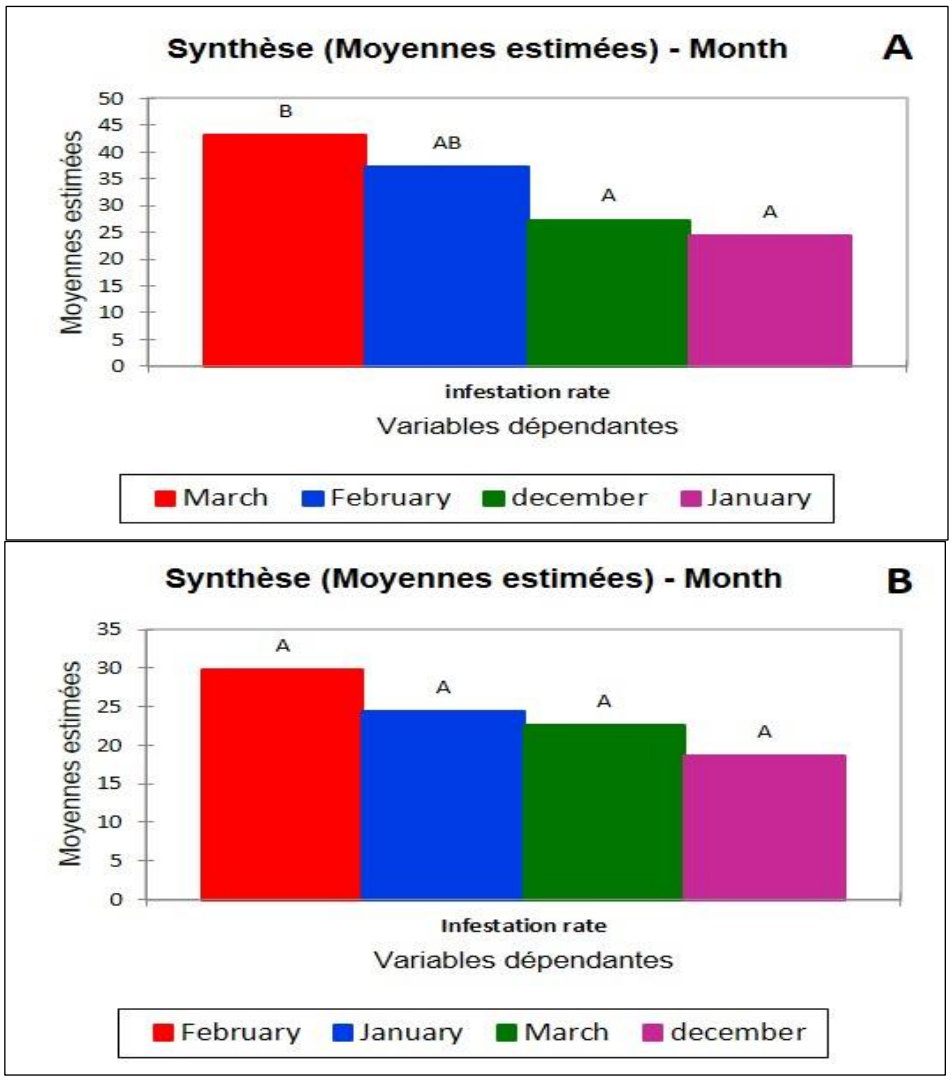
2.2.2.3. Variation du taux d'infestation des aleurodes en fonction du temps

L'analyse de la variance, **(Tableau 14)** a montré que l'effet du mois sur le taux d'infestation des aleurodes varie selon le site d'étude. Dans les sites de Ain naga ($p = 0,005$) et Doucen ($p= 0,001$), le facteur mois présente une influence hautement significative, traduisant une variation notable de l'abondance des aleurodes au cours du cycle de culture. En revanche, aucune différence significative n'a été observée à M'Ziraa ($p = 0,2$), suggérant une évolution plus stable

des populations au cours du temps. Des représentations graphiques **(Fig 46)** permettent de mieux visualiser la différence de distribution de l'infestation dans le temps et entre sites.

Tableau 14. Effet du mois sur le taux d'infestation moyen des aleurodes dans les trois sites

Facteur	Date	Ain naga	M'Ziraa	Doucen
Modalités	**Décembre**	27,31 ± 2,71 a	18,65 ± 1,61 a	11,22 ± 1,26 a
	Janvier	24,38 ± 1,93 a	24,31 ± 3,11 a	22,64 ± 5,14 b
	Février	37,14 ± 3,69 ab	29,80 ± 3,41 a	29,80 ± 3,41 b
	Mas	43,11 ± 5,26 b	22,64 ± 5,14 a	32,77 ± 3,12 b
Testes statistiques	**Test F**	5,7359	1,6944	7,4227
	p-value	0,0053	0,2003	0,0016



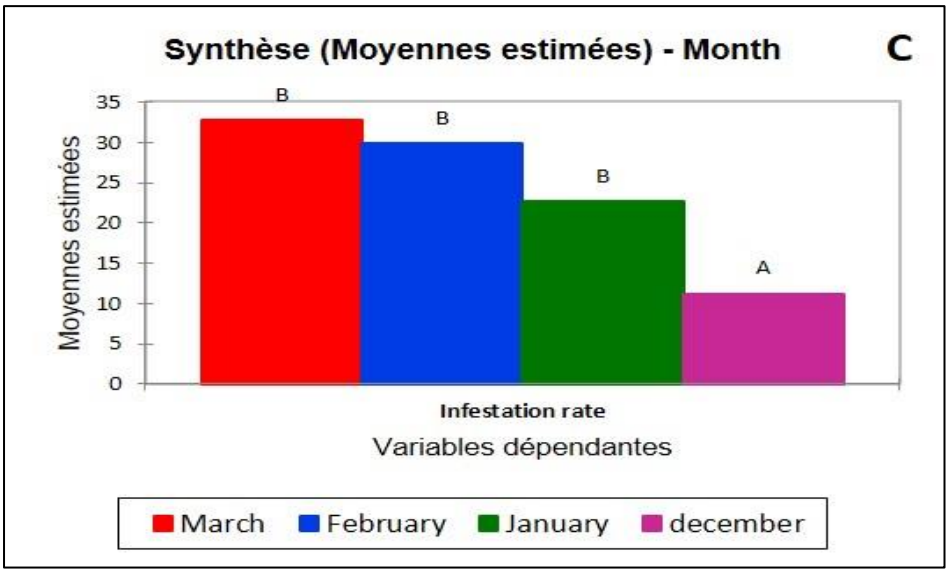


Figure 46. Fluctuation temporelle du taux d'infestation des aleurodes dans les trois sites (A : site Ain naga, B : site M'Ziraa, C : site Doucen)

La stabilité relative des populations observée à M'ziraa pourrait s'expliquer par des conditions microclimatiques plus homogènes au sein de ce site. Comme l'ont souligné **Li et al. (2022)**, la densité et les fluctuations saisonnières de *B. tabaci* sont étroitement liées à la structure du paysage et aux conditions microclimatiques régionales. Par ailleurs, notre étude révèle une recrudescence marquée des infestations au printemps. Cette période, caractérisée par une élévation progressive des températures et une hygrométrie favorable, accélère le cycle de développement du ravageur. Ce constat est en accord avec les travaux de **Bakry et al. (2023)** en Égypte, qui confirment l'influence déterminante du climat et du stade phénologique de la plante. Bien que certaines études mentionnent des corrélations complexes avec les extrêmes thermiques **(Marabi et *al*., 2021)**, l'adaptation de *B. tabaci* aux environnements chauds des Ziban pourrait également être renforcée par sa symbiose avec certains endosymbiontes augmentant sa tolérance thermique **(Li et *al*., 2023).**

2.2.2.4. Efficacité des traitements utilisés contre les aleurodes sous serre

Aucun effet significatif du moment du traitement (avant et après application) sur le taux d'infestation dans les trois sites étudiés ($p > 0,05$) n'était détecté. **(Tableau 15).** En revanche l'analyse de variance de l'effet du type de produit insecticide, indiquent une différence significative dans le site de Doucen ($p = 0,003$) et le site M'Ziraa ($p = 0,0207$) **(Tableau 16)**, où certains produits ont entraîné une diminution plus marquée des infestations. Dans le site Ain naga, l'analyse de variance a mis en évidence un effet global significatif du traitement insecticide sur le taux d'infestation ($F = 2,81$; $p = 0,0462$). Toutefois, les comparaisons

multiples post-hoc (test de Tukey HSD) n'ont révélé aucune différence significative entre les traitements**,** comme l'indiquent les lettres statistiques homogènes.). Cette analyse est complétée par des représentations graphiques. **(Fig 47, A et B).**

Tableau 15. Effet du moment de traitement sur le taux d'infestation moyen des aleurodes dans les trois sites.

Facteur	Période de traitement	Ain naga	M'Ziraa	Doucen
Modalités	**Avant traitement**	33,06 ± 3,58 a	25,47 ± 1,98 a	25,99 ± 3,46 a
	Aprés traitement	32,91 ± 3,87 a	20,37 ± 2,23 a	22,23 ± 2,93 a
Testes statistiques	**F-test**	0,0009	3,2544	0,7939
	p-value	0,9767	0,0760	0,3763

Tableau 16. Effet du produit sur le taux d'infestation moyen des aleurodes dans les trois sites.

Site	Traitement	Taux d'infestation	Test-F	p-value
Ain Naga	**Imidachlopride**	24,38 ± 3,98 a	2,8144	0,0462
	Flupyradifurone	27,31 ± 3,11 a		
	Bioact 2(Extrait de: Nepeta SPP, Azederach SPP, 0,1% de Matrine)	37,14 ± 6,13 a		
	Thiaméthoxam+lamdacyhalothrine	43,11 ± 6,18 a		
M'Ziraa	**Acetamipride**	18,65 ± 1,80 a	3,4908	0,0207
	Alpha-Cypermethrine	18,93 ± 3,18 a		
	Imidaclopride	24,31 ± 2,98 ab		
	Spiromesifen	29,80 ± 3,38 b		
Doucen	**Acetamipride**	11,22 ± 2,29 a	5,1585	0,0030
	Flupyradifurone	22,64 ± 4,72 ab		
	Imidaclopride (Commando)	29,80 ± 3,37 b		
	Imidaclopride (Picador)	32,77 ± 5,49 b		

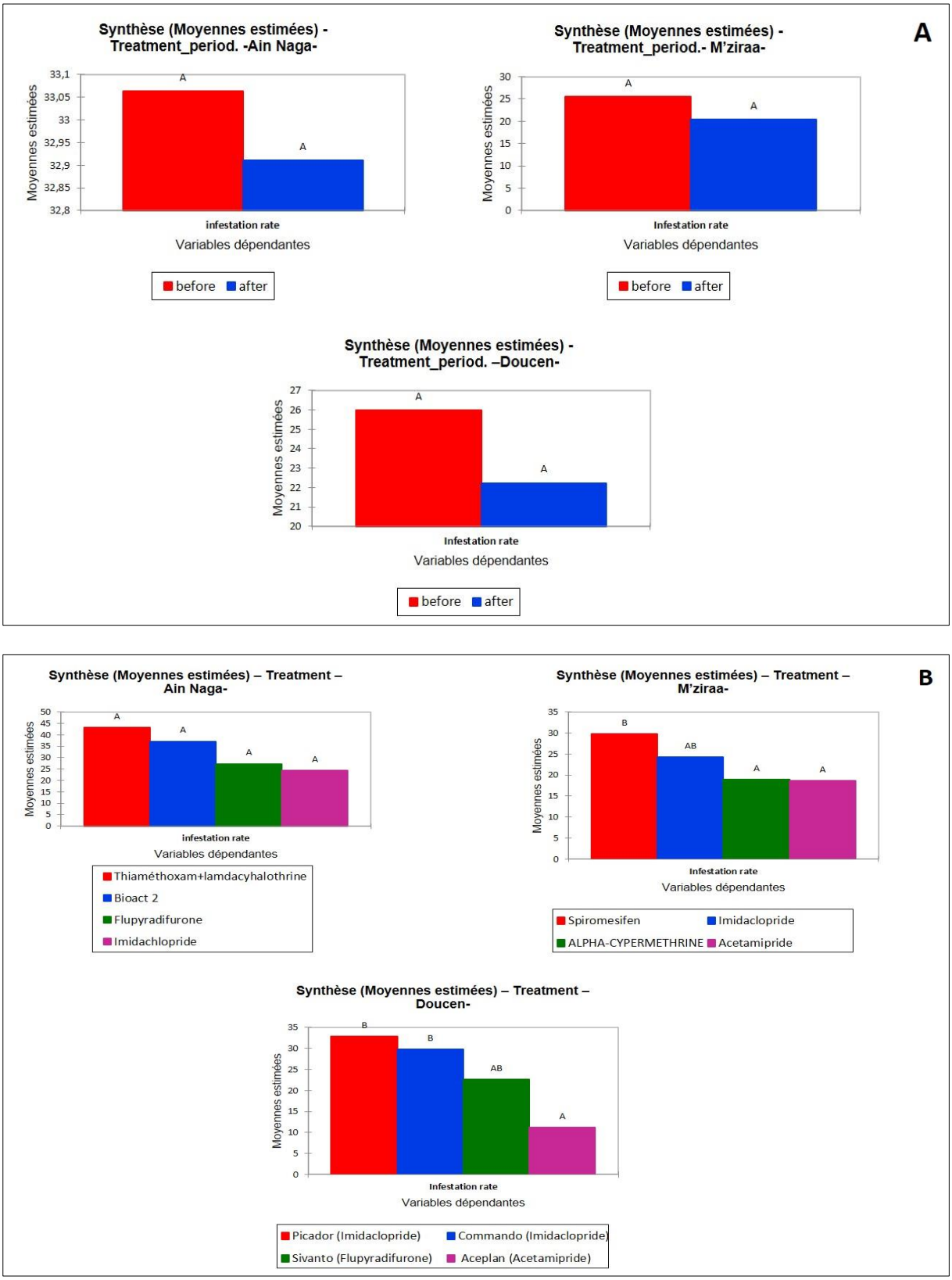


Figure 47. Efficacité des traitements utilisés contre les Aleurodes. A : Effet du moment de traitement sur le taux d'infestation moyen des aleurodes dans les trois sites, B : Effet du produit sur le taux d'infestation moyen des aleurodes dans les trois sites.

Les résultats obtenus montrent une efficacité globalement faible des insecticides appliqués contre les aleurodes sous serre, malgré une réduction partielle de l'infestation après traitement avec certaines molécules comme le Flupyradifurone, Imidaclopride et le Spiromesifen. Ce constat est cohérent avec plusieurs travaux menés dans d'autres régions productrices, où des phénomènes de résistance élevés ont été documentés. En Inde, **Kashyap et al. (2016)** ont également constaté une efficacité moyenne du Spiromesifène dans le contrôle de *Trialeurodes vaporariorum* sur tomate sous serre, comparée à des molécules plus performantes telles que l'Abamectine et l'Acétamipride.

Ces résultats renforcent l'idée que certaines familles d'insecticides, en particulier les néonicotinoïdes et les inhibiteurs de la synthèse lipidique, présentent aujourd'hui une efficacité limitée dans les environnements sous abris plastiques, où la pression de sélection est continue. De même, les travaux de **Roditakis et al. (2005)** en Crète ont révélé des niveaux de résistance extrêmement élevés, notamment jusqu'à 730 fois pour l'imidaclopride et 80 fois pour l'α-cyperméthrine, confirmant la perte progressive de sensibilité des populations locales. Des observations similaires ont été rapportées aux États-Unis (Géorgie), où **Perier et al. (2024)** ont mis en évidence une variabilité marquée de la sensibilité des populations adultes à l'imidaclopride, avec des CL_{50} variant de 0,02 à 196 mg/L selon les localités. Ces différences illustrent la forte hétérogénéité du niveau de résistance selon les zones de culture et les antécédents phytosanitaires. Ainsi dans la région méditerranéenne, en Turquie, des populations locales de *B. tabaci* ont développé une résistance considérable, atteignant jusqu'à 439 fois pour la Lambda-cyhalothrine, 95 fois pour l'imidaclopride et 102 fois pour l'Endosulfan, traduisant une perte d'efficacité de ces composés dans les systèmes de production intensifs sous serre **(Dağlı et *al.*, 2020)**.

2.3. Résidus de pesticides dans les fruits : identification, conformité et risques associés

La question des résidus de pesticides dans les fruits destinés à la consommation est au cœur des préoccupations liées à la sécurité alimentaire. Dans ce dernier chapitre, les résultats des analyses de résidus réalisées sur les échantillons de tomate montrent la présence de nombreuses substances actives, dont certaines interdites ou dépassant les limites maximales de résidus (LMR) fixées par la Commission européenne.

Dans un chapitre précédent, l'analyse des pratiques agricoles adoptées dans les trois sites d'étude a permis d'identifier les stratégies phytosanitaires mises en œuvre par les producteurs, notamment en ce qui concerne le choix, la fréquence et la méthode d'application des pesticides.

Ces données contextuelles sont essentielles pour interpréter les résultats d'analyse des résidus retrouvés dans les fruits prélevés. Le présent chapitre s'appuie sur ces pratiques pour comprendre la nature, la fréquence et la répartition des molécules détectées, et pour évaluer leur conformité à la réglementation en vigueur.

Les résultats des analyses LC-MS/MS ont permis d'identifier et de quantifier plusieurs résidus de pesticides présents dans les échantillons de tomate. Les concentrations mesurées ont été comparées aux limites maximales de résidus (LMR) fixées par la réglementation européenne en vigueur. L'interprétation des résultats a été basée sur les seuils de détection (LOD) et de quantification (LOQ), afin de distinguer les échantillons contaminés de ceux exempts de résidus. Les principales molécules détectées, ainsi que leurs niveaux de contamination, sont présentées ci-après.

2.3.1. Profil général des résidus de pesticides détectés dans les échantillons

L'analyse des échantillons de fruits issus des trois sites étudiés a révélé la présence de 25 substances actives différentes. Parmi celles-ci, six molécules ont été détectées de manière récurrente dans l'ensemble des sites, notamment le Propiconazole, le Triadimenol, le Terbufos, le Temephos, le Chlorfenvinphos, et le Fenoxycarb, soulignant une utilisation généralisée de ces composés dans les pratiques phytosanitaires régionales.

L'analyse du **tableau 17** montre que le site d'Ain Naga se caractérise par une grande diversité de résidus (16 molécules), dominée par des insecticides organophosphorés et des herbicides (famille des Triazine). Le site de M'Ziraa, avec un profil presque similaire en termes de nombre de substances (18 substances), présente davantage de fongicides et de métabolites, traduisant une approche plus diversifiée de la lutte chimique. Quant au site Doucen, bien que présentant un nombre de molécules inférieur (09), il contient plusieurs substances d'intérêt toxicologique élevé, dont Methiocarb et Prochloraz, indiquant potentiellement des traitements ponctuels mais intensifs.

Tableau 17. Familles chimiques des molécules détectées dans les trois sites.

Sites	Molécules	Famille chimique	Usage principal
Ain Naga	Propiconazole (stereo isomer)	Triazole	Fongicide
	Triadimenol (isomer)	Triazole	Fongicide
	Diazinon	Organophosphoré	Insecticide
	Chlorfenvinphos (E, Z)	Organophosphoré	Insecticide
	Phorate	Organophosphoré	Insecticide
	Terbufos	Organophosphoré	Insecticide
	Temephos	Organophosphoré	Insecticide
	Oxydemeton-methyl	Organophosphoré	Insecticide
	Fenoxycarb	Carbamate	Insecticide

	Pirimicarb	Carbamate	Insecticide
	Indoxacarb	Oxyadiazine	Insecticide
	Thiamethoxam	Néonicotinoïde	Insecticide
	Imidacloprid	Néonicotinoïde	Insecticide
	Simazine	Triazine	Herbicide
	Cyanazine	Triazine	Herbicide
	Bromoxynil	Nitrile	Herbicide
M'Ziraa	Propiconazole (stereo isomer)	Triazole	Fongicide
	Triadimenol (isomer)	Triazole	Fongicide
	Diazinon	Organophosphoré	Insecticide
	Chlorfenvinphos (E, Z)	Organophosphoré	Insecticide
	Phorate	Organophosphoré	Insecticide
	Terbufos	Organophosphoré	Insecticide
	Temephos	Organophosphoré	Insecticide
	Diuron (DCMU)	Urée substituée	Herbicide
	Mevinphos	Organophosphoré	Insecticide
	Phosmet	Organophosphoré	Insecticide
	Tebuconazole	Triazole	Fongicide
	Methamidophos	Organophosphoré	Insecticide
	Dicrotophos	Organophosphoré	Insecticide
	Fenoxycarb	Carbamate	Insecticide
	Terbuthylazine-desethyl	Dérivé de triazine	Métabolite
	Pirimicarb	Carbamate	Insecticide
	Imidacloprid	Néonicotinoïde	Insecticide
	Prochloraz	Imidazole	Fongicide
Doucen	Terbufos	Organophosphoré	Insecticide
	Temephos	Organophosphoré	Insecticide
	Propiconazole (stereo isomer)	Triazole	Fongicide
	Triadimenol (isomer)	Triazole	Fongicide
	Chlorfenvinphos (E, Z)	Organophosphoré	Insecticide
	Indoxacarb	Oxyadiazine	Insecticide
	Methiocarb	Carbamate	Insecticide
	Fenoxycarb	Carbamate	Insecticide
	Prochloraz	Imidazole	Fongicide

Les résidus de pesticides détectés, appartenant majoritairement aux familles des organophosphorés et triazoles, utilisés comme insecticides ou fongicides. Selon la classification de l'OMS, 8 substances sont hautement à extrêmement toxiques (Ia/Ib)**,** notamment les organophosphorés tels que le Terbufos**,** le Phorate**,** l'Oxydemeton-methyl et le Mevinphos, tandis que 5 substances sont modérément toxiques (Classe II)**,** et les autres sont moins préoccupantes (Classe III ou U).

Sur le plan réglementaire, environ 80 % des molécules détectées sont interdites dans l'Union européenne, reflétant une utilisation de produits non conformes ou obsolètes **(Tableau 18)**.

T**ableau 18.** Classe toxicologique et statut réglementaire des molécules détectées dans la région d'étude.

Molécule	Classe toxico (OMS)	Statut réglementaire (UE)
Propiconazole	III (légèrement toxique)	Non approuvée
Triadimenol	U (peu toxique)	Approuvée
Diazinon	II (modérément toxique)	Non approuvé
Chlorfenvinphos (E,Z)	Ib (hautement toxique)	Non approuvé
Phorate	Ia (extrêmement toxique)	Non approuvé
Terbufos	Ia (extrêmement toxique)	Non approuvé
Temephos	II (modérément toxique)	Non approuvé
Oxydemeton-methyl	Ia (extrêmement toxique)	Non approuvé
Fenoxycarb	III (légèrement toxique)	Non approuvé
Pirimicarb	III (légèrement toxique)	Approuvée
Indoxacarb	U (peu toxique)	Approuvé
Thiamethoxam	II (modérément toxique)	Approuvé
Imidacloprid	II (modérément toxique)	Non approuvé
Simazine	III (légèrement toxique)	Non approuvé
Cyanazine	II–III	Non approuvé
Bromoxynil	II–III	Non approuvé
Methiocarb	Ib (hautement toxique)	Non approuvée
Diuron (DCMU)	III	Non approuvé
Mevinphos	Ia (extrêmement toxique)	Non approuvé
Phosmet	II	Non approuvé
Tebuconazole	III	Approuvé
Methamidophos	Ia	Non approuvé
Dicrotophos	Ia	Non approuvé
Terbuthylazine-desethyl	III	Non approuvé
Prochloraz	III	Non approuvé

(Classe OMS : Ia = extrêmement toxique / Ib = hautement toxique / II = modérément toxique / III = légèrement toxique / U = peu toxique)

Cette situation est particulièrement alarmante pour des substances comme le Terbufos (Ia)**,** le Phorate (Ia)**,** ou le Mevinphos (Ia), hautement toxiques et présentant un risque élevé pour la santé humaine et l'environnement.

Les substances actives détectées dans les échantillons appartiennent à une diversité notable de familles chimiques et de classes toxicologiques, témoignant d'une utilisation généralisée et variée de pesticides dans les systèmes agricoles des trois sites étudiés. Cette diversité peut résulter de différences dans les stratégies phytosanitaires adoptées, dans la pression parasitaire locale ou encore dans l'accessibilité aux intrants, comme l'a révélé l'analyse des pratiques agricoles au chapitre précédent.

Dans les sites Ain Naga et M'Ziraa, une proportion importante de producteurs a déclaré changer plusieurs fois de pesticides au cours d'une même campagne (68 % au site Ain Naga et 22 % au site M'Ziraa), favorisant l'accumulation de résidus variés. De plus, les fréquences de traitement élevées avec 50 % des producteurs du site Ain Naga traitant tous les 7 jours, et 62 % au site M'Ziraa tous les 10 jours, combinées à une non-observance fréquente des délais de carence, augmentent significativement les risques de résidus dans les fruits. Le recours à des produits sélectifs (82 % des producteurs au site Ain Naga et 38 % au site Doucen) implique l'usage combiné de plusieurs matières actives dans un même programme de traitement, ce qui accentue encore la diversité des résidus retrouvés.

Des études menées dans la région de Souss Massa au Maroc ont mis en évidence une situation comparable à nos résultats. Par exemple, **Salghi et al. (2012)** ont identifié plusieurs résidus de pesticides dans des tomates cultivées en serre, dont des dépassements des LMR pour l'endosulfan et le deltaméthrine, notamment associés à des cycles de traitement fréquents et à l'usage de produits anciens. De même**, Bouri & Salghi (2012)** ont montré que des haricots verts issus de la même région contenaient des résidus de bifenthrin et cyhalothrine, liés à des applications multiples sur une même campagne. Ces constats confirment nos observations selon lesquelles la diversité des molécules détectées, particulièrement dans les sites Ain Naga et M'Ziraa, serait liée à des pratiques phytosanitaires non conformes : traitement rapproché, usage de produits mixtes, et non-respect des délais de carence.

2.3.2. Évaluation de la conformité des résidus aux LMR

La **figure 48** illustre la comparaison entre les concentrations en résidus de pesticides détectées dans les échantillons collectés et les limites maximales de résidus (LMR) établies, pour les trois sites étudiés. Globalement, des résidus de plusieurs substances actives ont été identifiés dans les trois localités, avec des profils de contamination variables selon les sites.

L'analyse des résidus de pesticides réalisés sur les échantillons des sites étudiés montre des niveaux variables de contamination selon les exploitations et les serres. Les échantillons sont identifiés selon la nomenclature "X.Y", où X correspond à l'exploitation et Y à la serre. Ainsi, par exemple, l'échantillon 1.1 représente la serre 1 de l'exploitation 1.

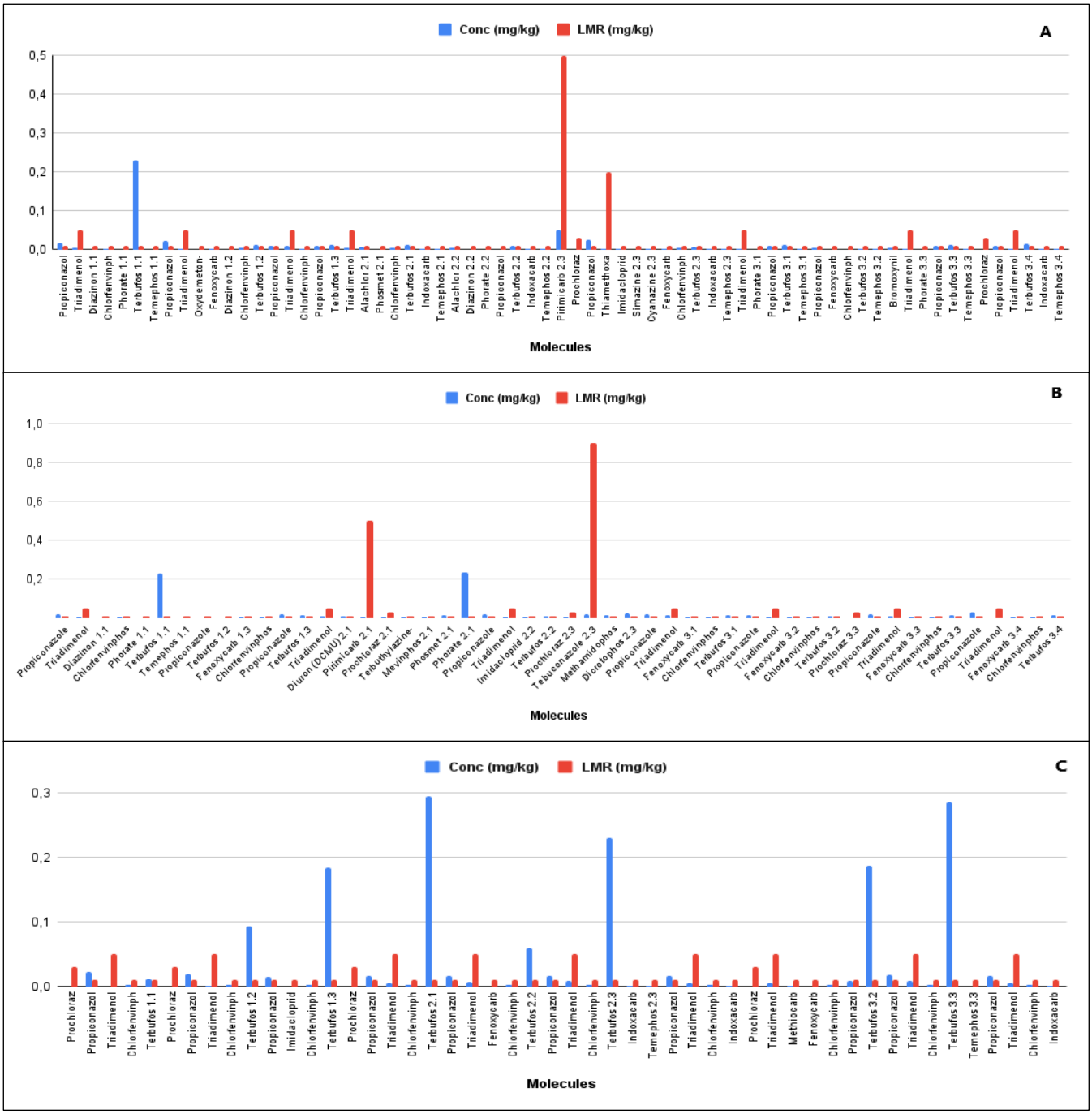


Figure 48. Comparaison des concentrations en résidus de pesticides avec les limites maximales de résidus (LMR) dans trois sites de production.(A : Ain naga, B : M'Ziraa, C : Doucen).

Plusieurs substances actives ont été détectées à des concentrations dépassant les limites maximales de résidus (LMR) fixées par la réglementation européenne. Sur le site Ain naga, on relève notamment la présence de la molécule Propiconazole (stereo isomer), atteignant une concentration de 0,024 mg/kg dans l'échantillon 2.3, alors que la LMR applicable est de 0,01 mg/kg. De même, la molécule Terbufos a été quantifiée à hauteur de 0,229 mg/kg dans l'échantillon 1.1, excédant largement sa LMR également fixée à 0,01 mg/kg **(voir fig 48A).**

Sur le site M'Ziraa, le nombre de molécules dont les résidus dépassent les seuils réglementaires est plus important. En plus des molécules Propiconazole (stereo isomer) (0,027 mg/kg dans l'échantillon 3.4) et Terbufos (0,229 mg/kg dans l'échantillon 1.1), quatre autres substances Ensuite le Phosmet, le Phorate, le Methamidophos et le Dicrotophos ont été détectées chacune dans un seul échantillon, avec des concentrations respectives de 0,012 mg/kg, 0,233 mg/kg, 0,015 mg/kg et 0,023 mg/kg. Ces niveaux excèdent les LMR établies à 0,01 mg/kg pour l'ensemble de ces molécules **(Fig 48B)**.

Enfin, les analyses des échantillons issus du site Doucen révèlent la présence des mêmes substances qu'au site 1, mais avec des niveaux de contamination encore plus élevés pour la molécule Terbufos Les concentrations maximales enregistrées sont de 0,023 mg/kg pour la molécule Propiconazole (stereo isomer) (échantillon 1.1) et de 0,296 mg/kg pour la molécule Terbufos (échantillon 2.1), dépassant nettement les seuils autorisés. **(Fig 48C)**

Les résultats obtenus dans la présente étude ont été comparés à ceux rapportés dans la littérature nationale et méditerranéenne, afin de situer le niveau de contamination observé dans son contexte régional. En Algerie (Ouest algérien), l'étude faite par **Gaouar et *al* (2021)**, où 47 % des échantillons de tomates contenaient des résidus de pesticides, dont certains comme le Triadimenol ont également été détectés dans notre étude. Toutefois, les auteurs ont rapporté un seul dépassement de LMR (Methomyl), alors que nos résultats révèlent un nombre plus élevé de non-conformités, notamment pour les molécules (Propiconazole, Terbufos, Phosmet, Phorate, Methamidophos et Dicrotophos). D'après **Saidi et *al.* (2017)**, l'analyse des résidus de pesticides dans des tomates cultivées sous serre dans une région agricole proche d'Alger a révélé la présence de Triadimenol. En revanche, l'indoxacarb, non détecté dans leur étude, a été identifié dans nos échantillons.Substances non autorisées détectées.

Des études comparables menées dans la région méditerranéenne soulignent la fréquence élevée des résidus de pesticides dans les tomates consommées ou cultivées localement. Une étude réalisée au Maroc dans la région de Souss-Massa a révélé 56 % des échantillons de tomates cerises contenaient des résidus, notamment le pirimicarb, le tebuconazole et l'imidacloprid, malgré l'interdiction de ce dernier et un seul cas de dépassement de LMR (buprofezin) a été enregistré **(Ouakhssase & Ait Addi, 2023),** alors que les résultats obtenus dans notre étude montrent que 100 % des échantillons analysés contenaient au moins un résidu de pesticide, même si certains niveaux restaient inférieurs aux LMR. De même en Turquie, **Hepsağ & Kizildeniz (2021)** ont détecté des résidus dans 61,5 % des tomates sous serre, avec un

dépassement des LMR dans 12,2 % des échantillons, principalement pour le Chlorpyrifos-méthyl et l'Acetamipride.

Les résultats de notre étude doivent également être interprétés à la lumière des pratiques phytosanitaires rapportées par les producteurs dans le premier chapitre. Parmi ces pratiques, le non-respect du délai avant récolte (DAR) apparaît comme un facteur déterminant pouvant contribuer à la persistance des molécules détectées dans les fruits, il s'établit à 92%, 74% et 60 % dans les sites Doucen, M'ziraa et Ain naga respectivement. Ces taux élevés pourraient expliquer, en partie, la présence de résidus dépassant les LMR.

Selon **(Alister et *al*., 2017)**, le stade de croissance des fruits influe significativement sur la dissipation des pesticides, indépendamment de la formulation utilisée. Il a été observé que la croissance exponentielle des fruits entraîne une diminution de la vitesse de dégradation, ce qui se traduit par une prolongation de la persistance des résidus. Ainsi, la réalisation d'un traitement à un stade avancé, en combinaison avec une non-observation du DAR, est susceptible d'accroître le risque de dépassement des seuils réglementaires.la stratégie de combinaison fréquente de pesticides (84% et 92% pour Ain naga et Doucen respectivement), semble fortement corrélée à la présence de résidus multiples dans un même échantillon (le cas presque de tous les échantillons analysés). Selon **Relyea et Hoverman (2008)**, les mélanges de pesticide peuvent modifier la persistance des molécules**,** entraînant leur accumulation malgré le respect du délai d'attente (DAR), et augmentant ainsi le risque de dépassement des LMR.

Le recours à des doses supérieures à celles recommandées (surdosage) a été identifié parmi les pratiques agricoles de notre étude (62% et 74% Doucen et M'ziraa respectivement), c'est ainsi une pratique clé qui en résulte la présence des résidus. Une relation directe entre la dose appliquée et la quantité de résidus dans les tomates a été démontrée par **Sadło (2000)**, selon laquelle un surdosage entraîne une accumulation proportionnelle de résidus. Une autre étude conduite par **Reddy et *al*. (2025)** montre que l'application d'indoxacarb à des doses croissantes (supérieurs à la dose recommandée) a entraîné une élévation significative des dépôts initiaux de résidus ainsi qu'un ralentissement de la vitesse de dégradation des molécules. Ces résultats suggèrent que le surdosage peut contribuer à la persistance de résidus au-delà des LMR, même lorsque le délai avant récolte est respecté.

2.3.3. Présence de substances non autorisées ou interdites

Selon la réglementation européenne relative aux produits phytosanitaires (Règlement (CE) n° 1107/2009), les substances actives sont classées comme « approuvées » ou « non approuvées ». Toutefois, parmi les substances non approuvées, certaines ont été retirées du marché européen en raison de leur risque avéré pour la santé humaine ou l'environnement. Ces substances sont communément désignées comme interdites dans la littérature scientifique. Dans les échantillons analysés, plusieurs molécules détectées appartiennent à cette catégorie **:** Chlorfenvinphos, Diazinon, Phorate, Terbufos, Temephos, Oxydemeton-méthyl, Fenoxycarb, Cyanazine, Bromoxynil, Mevinphos, Phosmet, Methamidophos, Dicrotophos, Methiocarb**.** Ce qui peut être le signe d'un non-respect des normes de bonnes pratiques agricoles.

Ce phénomène était observé dans d'autre pays à savoir la Pologne, où une étude récente a révélé la présence de substances non autorisées dans 21 % des fruits et 35 % des légumes testés **(Łozowicka et *al.*, 2025).** Dans la région méditerranéenne une études menées en Égypte a identifié la présence de substances non autorisées en UE, telles que le Méthamidophos, le Chlorpyrifos ou le dimethoate, dans des échantillons de tomates, avec environ 24 % des prélèvements dépassant les LMR réglementaires **(Abuo El-Kasem et *al.*, 2023).** La présence de substances non approuvées dans les échantillons analysés reflète directement les pratiques phytosanitaires inadéquates adoptées par les agriculteurs. Cette situation résulte en grande partie d'un manque de vulgarisation et de formation sur l'utilisation raisonnée des pesticides, où le nombre des enquêtés qui ont suivi une formation agricole étaient faible (22%, 18%, 22%) pour les communes (M'Ziraa, Ain Naga et Doucen) respectivement, et ces formations ne sont pas basées sur les produits

Parmi les substances identifiées comme non autorisées, certaines n'ont été détectées que de manière occasionnelle et à des concentrations faibles. Cependant, une attention particulière doit être portée au Terbufos, en raison de sa présence systématique dans tous les sites étudiés et de valeurs de résidus qui dépassent fréquemment les limites maximales de résidus (LMR) fixées par la Commission européenne. Cette situation exceptionnelle exige une analyse approfondie de cette substance. Le Terbufos est un insecticide organophosphoré classé parmi les substances hautement toxiques, en raison de ses effets neurotoxiques aigus par inhibition de l'acétylcholinestérase **(EPA, 2006).** Interdit dans l'Union européenne depuis 2011**,** à la suite du non-renouvellement de son approbation **(Règlement d'exécution (UE) 2011/145)**. Sa non-approbation a été réaffirmée en 2021 dans la mise à jour des annexes du règlement sur les limites maximales de résidus **(Règlement (UE) 2021/383).** En raison des risques sanitaires et

environnementaux qu'elle présente, la détection de cette substance dans l'ensemble des échantillons étudiés est susceptible de soulever des préoccupations majeures. Les concentrations mesurées allaient de 0,011 mg/kg à 0,295 mg/kg, avec des dépassements des LMR dans 84,61 % des échantillons, Cette observation peut être interpréter par ; soit une utilisation illégale persistante, soit une contamination environnementale résiduelle. Toutefois, la première hypothèse semble la plus probable en se basant sur le profil des exploitations agricoles visitées. Cette situation n'est pas isolée : une étude réalisée en Égypte par **El-Sheikh et al. (2024)**, qui ont identifié la présence du Terbufos dans des échantillons de tomates. L'étude révèle également des dépassements des LMR pour plusieurs insecticides et fongicides, illustrant une problématique régionale liée à l'usage incontrôlé de produits phytosanitaires interdits. Ces observations convergent vers l'idée que le manque de sensibilisation des agriculteurs, l'absence de contrôle rigoureux, ainsi que la faible vulgarisation des réglementations en matière de phytoprotection contribuent fortement à la persistance de ces substances dans les aliments destinés à la consommation humaine.

Conclusion générale

Conclusion générale

La présente thèse avait pour objectif d'analyser, dans le contexte particulier des régions arides du Sud algérien, les pratiques culturales et phytosanitaires adoptées en culture sous serre, la dynamique des principaux ravageurs, ainsi que la contamination des fruits par les résidus de pesticides. l'approche intégrée, articulant enquêtes auprès des producteurs, suivi spatio-temporel des infestations et analyses chromatographiques de haute précision, a permis d'apporter une compréhension globale et approfondie des facteurs influençant la performance phytosanitaire et la qualité sanitaire des productions maraîchères

L'analyse des pratiques agricoles a mis en évidence une forte hétérogénéité entre les producteurs. Le niveau d'étude, la formation et l'accès à l'information constituent des facteurs clés influençant l'adoption de pratiques plus conformes aux recommandations techniques. À l'inverse, l'appui exclusif sur l'expérience et les conseils locaux s'accompagne de comportements moins maîtrisés, en particulier concernant la gestion des traitements phytosanitaires. Cette diversité souligne la nécessité de renforcer les dispositifs de vulgarisation adaptés aux réalités locales.

L'étude des ravageurs a confirmé l'importance majeure de *Tuta absoluta* et des aleurodes dans les systèmes maraîchers protégés. La distribution verticale stratifiée des infestations, couplée aux variations microclimatiques intra-serres, met en évidence des dynamiques écologiques complexes influençant fortement la réussite des interventions de lutte. Les traitements insecticides, appliqués de manière répétée et parfois peu synchronisée, montrent une efficacité variable, ce qui alerte sur un risque réel de sélection de populations résistantes. Ces résultats démontrent la nécessité d'intégrer la bioécologie fine des ravageurs ; stades vulnérables, préférences foliaires, interactions microclimatiques, dans les programmes de protection intégrée, afin d'améliorer la pertinence des stratégies de lutte.

Parallèlement, l'analyse des résidus de pesticides a révélé la présence de plusieurs substances, dont certaines interdites comme le Terbufos, parfois à des niveaux dépassant les limites maximales de résidus. Ces résultats traduisent un recours insuffisamment maîtrisé aux produits phytosanitaires et confirment l'importance d'un contrôle rigoureux, tant au niveau de l'usage des pesticides que de la surveillance des fruits commercialisés. Ils montrent également que la formation des producteurs et l'amélioration des pratiques constituent des leviers indispensables pour réduire les risques sanitaires.

Dans l'ensemble, cette recherche met en évidence que la durabilité des systèmes maraîchers sous serre dans les régions arides dépend étroitement d'une gestion phytosanitaire mieux encadrée, fondée sur une articulation cohérente entre pratiques culturales, connaissance de la bioécologie des ravageurs et sélection raisonnée des solutions de lutte. Le développement de stratégies intégrées, incluant la lutte biologique, les biopesticides et l'optimisation des pratiques culturales, apparaît comme une voie incontournable pour réduire la dépendance aux intrants chimiques tout en maintenant la rentabilité des exploitations.

Enfin, bien que cette étude apporte des résultats significatifs, elle ouvre aussi des perspectives pour de futurs travaux, notamment l'étude de la résistance des ravageurs, l'élargissement de la surveillance à d'autres cultures et l'analyse du rôle des auxiliaires dans les écosystèmes sous serre. Ces pistes permettront de renforcer les bases scientifiques nécessaires à une transition vers des systèmes de production plus durables et plus sûrs.

Références bibliographiques

1. **Abbott, W. S. (1925)**. A Method of Computing the Effectiveness of an Insecticide. *Journal of Economic Entomology*, *18*(2), 265-267. https://doi.org/10.1093/jee/18.2.265a
2. **Abuo El-kasem, S. A. A., Naiel, M. H. F., Mubarak, M. H., Megahed, F. I. A., & El-Deeb, G. S. S. (2023).** Assessment of pesticide residues in vegetables selected from different Egyptian governorates. *Highlights in BioScience*, bs202301. https://doi.org/10.36462/H.BioSci.202301
3. **Adhikari, D., Kobashi, Y., Kai, T., Kawagoe, T., Kubota, K., Araki, K.S. and Kubo, M. (2018)** Suitable Soil Conditions for Tomato Cultivation under an Organic Farming System. *Journal of Agricultural Chemistry and Environment*, *7*, 117-132. https://doi.org/10.4236/jacen.2018.73011
4. **Agrios, G. N. (2005).** *Plant pathology* (5e éd.). Academic Press.
5. **Ahmad, M. (2007).** Potentiation/Antagonism of Pyrethroids with Organophosphate Insecticides in Bemisia tabaci (Homoptera : Aleyrodidae). *Journal of Economic Entomology*, *100*(3), 886-893. https://doi.org/10.1093/jee/100.3.886
6. **Ahmadipour, H., & Nakhei, Z. (2024).** The effect of education on safe use of pesticides based on the health belief model. *BMC Research Notes*, *17*(1), 134. https://doi.org/10.1186/s13104-024-06797-6
7. **Aidat, T., Benziouche, S. E., Cei, L., Giampietri, E., & Berti, A. (2023)**. Impact of Agricultural Policies on the Sustainable Greenhouse Development in Biskra Region (Algeria). *Sustainability*, *15*(19), 14396. https://doi.org/10.3390/su151914396
8. **Aidaoui S. (1994)**. Ressource en eau et aménagement hydro-agricole dans la région de Biskra "Ziban" (Algérie).Thèse de Doctorat en géographie, Université de Nancy II, France.
9. **Aigbedion-Atalor, P. O., Mohamed, S. A., Hill, M. P., Zalucki, M. P., Azrag, A. G. A., Srinivasan, R., & Ekesi, S. (2020).** Host stage preference and performance of Dolichogenidea gelechiidivoris (Hymenoptera : Braconidae), a candidate for classical biological control of *Tuta absoluta* in Africa. *Biological Control*, *144*, 104215. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104215
10. **Aissat, K., Nicot, P. C., Guechi, A., Bardin, M., & Chibane, M. (2008).** Grey mould development in greenhouse tomatoes under drip and furrow irrigation. *Agronomy for Sustainable Development*, *28*(3), 403-409.

https://doi.org/10.1051/agro:2008016

11. **Aït-Amara, H. (1999).** La transition de l'agriculture algérienne vers un régime de propriété individuelle et d'exploitation familiale. In **A.-M. Jouve & N. Bouderbala (Eds.), *Politiques foncières et aménagement des structures agricoles dans les pays méditerranéens : à la mémoire de Pierre Coulomb* (pp. 127–137). CIHEAM. *(Cahiers Options Méditerranéennes; No. 36).*
12. **Aktar, W., Sengupta, D., & Chowdhury, A. (2009).** Impact of pesticides use in agriculture : Their benefits and hazards. *Interdisciplinary Toxicology*, *2*(1), 1-12. https://doi.org/10.2478/v10102-009-0001-7
13. **Algérie Éco. (2022, 15 mars).** *La production maraîchère en Algérie : l'essor des régions sahariennes*. https://www.algerie-eco.com.
14. **Alister, C., Araya, M., Becerra, K., Saavedra, J., & Kogan, M. (2017)**. Preharvest Interval Periods and their relation to fruit growth stages and pesticide formulations. *Food Chemistry*, *221*, 548-554. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.140
15. **Allache, F., Houhou, M.A., Osmane, I., N, L., & Demnati, F. (2012)**. Suivi de l'évolution de la population de *Tuta absoluta* Meyrick (Gelichiidae), un nouveau ravageur de la tomate sous serre à Biskra (sud-est d'Algérie). *Faunistic Entomology*, *65*, 149-155.
16. **Amichi, F., Bouarfa, S., Lejars, C., Kuper, M., Hartani, T., Daoudi, A., Amichi, H., & Belhamra, M. (2015).** Greenhouses and men : Farm holdings favouring territorial expansion and upward socio professional mobility on a Saharan pioneer front in Algeria. *Cahiers Agricultures*, *24*(1), 11-19. https://doi.org/10.1684/agr.2015.0736
17. **Amrouni, H. (2024).** Analyse de la situation de la plasticulture et du maraîchage en Algérie : quel développement dans les régions sahariennes ? *African and Mediterranean Agricultural Journal - Al Awamia* , (145), 227–242. https://doi.org/10.34874/IMIST.PRSM/afrimed-i145.46466
18. **Anastassiades, M., Lehotay, S. J., Štajnbaher, D., & Schenck, F. J. (2003).** Fast and easy multiresidue method employing acetonitrile extraction/partitioning and "dispersive solid-phase extraction" for the determination of pesticide residues in produce. *Journal of AOAC international*, *86*(2), 412-431. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12723926/
19. **Arias-Estévez, M., López-Periago, E., Martínez-Carballo, E., Simal-Gándara,**

J., Mejuto, J.-C., & García-Río, L. (2008). The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *123*(4), 247-260. https://doi.org/10.1016/j.agee.2007.07.011

20. **Arnó, J., Albajes, R., & Gabarra, R. (2006).** Within-Plant Distribution and Sampling of Single and Mixed Infestations of <I>Bemisia tabaci</I> and <I>Trialeurodes vaporariorum</I> (Homoptera : Aleyrodidae) in Winter Tomato Crops. *Journal of Economic Entomology*, *99*(2), 331-340. https://doi.org/10.1603/0022-0493-99.2.331
21. **Aroun, MEF & Yamina, L. (2010).** Département des Sciences Agronomiques, Faculté des Sciences Agro-Vétérinaires, Université Saad Dahlab-Blida, Algérie, Disponible à: mf_aroun@yahoo.fr.
22. **Ataikiru,T. L., Okpokwasili, G. S. C., & Okerentugba, P. O. (2019).** Impact of Pesticides on Microbial Diversity and Enzymes in Soil. *South Asian Journal of Research in Microbiology*, *4*(2), 1–16. https://doi.org/10.9734/sajrm/2019/v4i230104
23. **Attique, M. N. R., Khaliq, A., & Sayyed, A. H. (2006).** Could resistance to insecticides in *Plutella xylostella* (Lep., Plutellidae) be overcome by insecticide mixtures? *Journal of Applied Entomology*, *130*(2), 122-127. https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2006.01035.x
24. **Attrassi, K. (2015).** Study of the evaluation of damage caused by *Tuta Absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelichidae) on tomato field in Morocco. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*. *2*, 2046-2053.
25. **AVRDC. (2004).** *AVRDC report 2003* (Publication No. 04-599). AVRDC – The World Vegetable Center.
26. **Bakry, M. M. S., Mohamed, G. S., Abd-Elazeem, Z. S., & Allam, R. O. H. (2023).** Monitoring of the whitefly populations on cucumber plants in a greenhouse in Luxor region of South Egypt. *SVU-International Journal of Agricultural Sciences*, *5*(3), 27-40. https://doi.org/10.21608/svuijas.2023.224688.1299
27. **Bal, A. B., Gauthier, N., & Bassène, C. (2022).** Revue des plantes hôtes de *Tuta absoluta* (Meyrick) pour une meilleure gestion de ses populations en Afrique de l'Ouest. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, *16*(5), 2352-2370. https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v16i5.42

28. **Bale, J. S., Masters, G. J., Hodkinson, I. D., Awmack, C., Bezemer, T. M., Brown, V. K., Butterfield, J., Buse, A., Coulson, J. C., Farrar, J., Good, J. E. G., Harrington, R., Hartley, S., Jones, T. H., Lindroth, R. L., Press, M. C., … Whittaker, J. B. (2002).** Herbivory in global climate change research: Direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biology*, *8*(1), 1–16. https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2002.00451.x
29. **Bannari, A., & Al-Ali, Z. M. (2020).** Assessing Climate Change Impact on Soil Salinity Dynamics between 1987–2017 in Arid Landscape Using Landsat TM, ETM+ and OLI Data. *Remote Sensing*, *12*(17), 2794. https://doi.org/10.3390/rs12172794
30. **Barbedo, J. G. A. (2014).** Using digital image processing for counting whiteflies on soybean leaves. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, *17*(4), 685-694. https://doi.org/10.1016/j.aspen.2014.06.014
31. **Barker, S. A. (2007).** Matrix solid phase dispersion (MSPD). *Journal of biochemical and biophysical methods*, *70*(2), 151-162. https://doi.org/10.1016/j.jbbm.2006.06.005
32. **Barrientos, Z. R., Apablaza, J. H., Norero, S. A., & Estay, P. P. (1998).** Temperatura base y constante térmica de desarrollo de la polilla del tomate *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Ciencia e Investigación Agraria, 25(3)*, 133–137.
33. **Barzman, M., Bàrberi, P., Birch, A. N. E., Boonekamp, P., Dachbrodt-Saaydeh, S., Graf, B., Hommel, B., Jensen, J. E., Kiss, J., Kudsk, P., Lamichhane, J. R., Messéan, A., Moonen, A.-C., Ratnadass, A., Ricci, P., Sarah, J.-L., & Sattin, M. (2015).** Eight principles of integrated pest management. *Agronomy for Sustainable Development*, *35*(4), 1199-1215. https://doi.org/10.1007/s13593-015-0327-9
34. **Bass, C., Denholm, I., Williamson, M. S., & Nauen, R. (2015).** The global status of insect resistance to neonicotinoid insecticides. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, *121*, 78-87. https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2015.04.004.
35. **Bawin, T., Dujeu, D., De Backer, L., Francis, F & Verheggen, F. J. (2016).** Ability of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) to develop on alternative host plant species. *The Canadian Entomologist. 148(4),* 434-442**.** https://doi.org/10.4039/tce.2015.59
36. **Belhadi, A., Mehenni, M., Reguieg, L., & Yakhlef, H.H. (2016a).** Risques potentiels pour la santé humaine et l'environnement des pratiques phytosanitaires des

serristes maraîchers d'une région du Bas-Sahara algérien. *Environnement Risques & Sante, 15,* 219-227.

37. **Belhadi, A., Mehenni, M., Reguieg, L. and Yekhlef, H. (2016b).** Plasticulture contribution to agricultural dynamism in the ziban region (Biskra). *Revue Agriculture., 1,* 93-99.

38. **Belhadi, A. (2017).** Évaluation de la durabilité et étude des pratiques phytosanitaires des exploitations maraîchères sous abri serre d'une région aride : cas des Ziban (Biskra). Thèse de doctorat. Ecole Nationale Superieure Agronomique El-Harrach – Alger,

39. **Bellatreche, M., Messgo-Moumene, S., Guendouz-Benrima, A. and Chaieb, I. (2021).** Control of *Tuta absoluta* using pheromone traps on tomato crops under greenhouse in Algeria. *Tunis. J. Plant Prot. 16(1),* 1-10.

40. **Benabadji, N., & Bouazza, M. (2000)**. Contribution à l'étude bioclimatique de la steppe algérienne. *Sécheresse*, 11(3), 179–186.

41. **Ben Abed, S. B., Dhen, N., Lachiheb, B., Al Mohandes Dridi, B., & Rhim, T. (2022).** Comparative study of the biochemical compounds of 12 local pepper accessions (Capsicum annuum L.) of Tunisian oases. *Journal of Oasis Agriculture and Sustainable Development.* https://doi.org/10.56027/JOASD.spiss112022

42. **Bettiche, F., Chaib, W., Salemkour, N., Mancer, H., Bengouga, K., & Grunberger, O. (2022)**. Pratiques phytosanitaires sous serres plastiques dans les oasis des Ziban (Sud-est Algérien). *Journal Algérien des Régions Arides*, *14*(2), 88-94.

43. **Binns, M.R. and Nyrop, J.P. (1992).** Sampling insect populations for the purpose of IPM decision making. *Annu. Rev. Entomol*. 37(1), 427-453. . https://doi.org/10.1146/annurev.en.37.010192.002235

44. **Biondi, A., Guedes, R. N. C., Wan, F.-H., & Desneux, N. (2018).** Ecology, Worldwide Spread, and Management of the Invasive South American Tomato Pinworm, *Tuta absoluta* : Past, Present, and Future. *Annual Review of Entomology*, *63*(1), 239-258. https://doi.org/10.1146/annurev-ento-031616-034933

45. **Bolland, O. N. (1998).** Creolisation and Creole Societies : A Cultural Nationalist View of Caribbean Social History. *Caribbean Quarterly*, *44*(1-2), 1-32. https://doi.org/10.1080/00086495.1998.11829568

46. **Bosland, P. W., & Votava, E. J. (2012).** *Peppers: Vegetable and spice capsicums*

(2e éd.). CAB International. ISBN: 9781845938253.

47. **Bouammar, B., Cheloufi, H., & Aouidane, L. (2011)**. La dynamique agricole dans la zone d'El Ghrous (Biskra) : entre le boom maraîcher et la lente généralisation des systèmes de production phoenicicoles. *Annales des Sciences et Technologie*, *3*(2), 141-148.
48. **Bouchemal, F. (2017).** *Diagnostic de la qualité des eaux souterraines et superficielles de la région de Biskra* (Thèse de doctorat). Université Mohamed Khider–Biskra, Algérie.
49. **Boudibi, S. (2021).** Modeling the Impact of Irrigation Water Quality on Soil Salinization in an Arid Region: Case of Biskra. Ph.D. Thesis, Université Mohamed Khider–Biskra, Biskra, Algeria,
50. **Boukhalfa, H., Dhorban, A., Abrougui, K., & Belhamra, M. (2018).** Characterization of greenhouse spray. *Communications in agricultural and applied biological sciences*, *83*(2), 349-354.
51. **Bouri, M., Salghi, R., Bazzi, Lh., Zarrouk, A., Rios, A., & Zougagh, M. (2012).** Pesticide Residue Levels in Green Beans Cultivated in Souss Masa Valley (Morocco) After Multiple Applications of Bifenthrin and λ-Cyhalothrin. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, *89*(3), 638-643. https://doi.org/10.1007/s00128-012-0722-8
52. **Bragard, C., Caciagli, P., Lemaire, O., Lopez-Moya, J. J., MacFarlane, S., Peters, D., Susi, P., & Torrance, L. (2013).** Status and Prospects of Plant Virus Control Through Interference with Vector Transmission. *Annual Review of Phytopathology*, *51*(1), 177-201. https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-082712-102346
53. **Braham, M., & Hajji, L. (2012).** Management of *Tuta absoluta* (Lepidoptera, Gelechiidae) with insecticides on tomatoes. *Insecticides Pest Engineering. Intech Open Acces Publisher*. 333-354. https://doi.org/10.5772/27812
54. **Buntin, G. D., Hargrove, W. L., & McCracken, D. V. (1995).** Populations of Foliage-Inhabiting Arthropods on Soybean with Reduced Tillage and Herbicide Use. *Agronomy Journal*, *87*(5), 789-794.
55. **Byrne, D. N., & Bellows, T. S.** (1991). Whitefly Biology. *Annual Review of Entomology*, *36*(1), 431-457. https://doi.org/10.1146/annurev.en.36.010191.002243
56. **Campos, M. R., Biondi, A., Adiga, A., Guedes, R. N. C., & Desneux, N. (2017).** From the Western Palaearctic region to beyond : Tuta absoluta 10 years after

invading Europe. *Journal of Pest Science*, *90*(3), 787-796. https://doi.org/10.1007/s10340-017-0867-7

57. **Can-Vargas, X., Barboza, N., Fuchs, E. J., & Hernández, E. J. (2020).** Spatial distribution of whitefly species (Hemiptera: Aleyrodidae) and identification of secondary bacterial endosymbionts in tomato fields in Costa Rica. *Journal of Economic Entomology*, *113*(6), 2900-2910. https://doi.org/10.1093/jee/toaa215

58. **Carrière, Y., Brown, Z. S., Downes, S. J., Gujar, G., Epstein, G., Omoto, C., Storer, N. P., Mota-Sanchez, D., Søgaard Jørgensen, P., & Carroll, S. P. (2020).** Governing evolution : A socioecological comparison of resistance management for insecticidal transgenic Bt crops among four countries. *Ambio*, *49*(1), 1-16. https://doi.org/10.1007/s13280-019-01167-0

59. **CDARS. (2023).** Commissariat de développement d'agricultures dans les régions saharienne Ouargla.

60. **Cherif A, Mansour R, Lebdi-Grissa K. (2013)** Biological aspects of tomato leafminer Tuta absoluta (Lepidoptera: Gelechiidae) in conditions of Northeastern Tunisia: possible implications for pest management. Environ Exp Biol 11:179–184

61. **Cherif, A., Attia-Barhoumi, S., Mansour, R., Zappalà, L., & Grissa-Lebdi, K. (2019).** Elucidating key biological parameters of Tuta absoluta on different host plants and under various temperature and relative humidity regimes. *Entomologia Generalis*, *39*(1), 1-7. https://doi.org/10.1127/entomologia/2019/0685

62. **Cheverry, C. (1998**). Agriculture intensive et qualité des eaux. INRA Editions, Science Update, 297 p.

63. **Chougar, S., & Medjdoub-Bensaad, F. (2022)**. Diversity of invertebrates living on greenhouse tomato crops on the azzefoun region (Tizi-Ouzou, Algeria). *Bulletin of Pure & Applied Sciences- Botany*, *41b*(1), 25-42. https://doi.org/10.5958/2320-3196.2022.00003.9

64. **Codex Alimentarius Commission. (2023)**. *Codex Alimentarius: Pesticide residues*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

65. **Coelho, M. C. F., & França, F. H. (1987).** Biologia da traça-do-tomateiro Scrobipalpula absoluta (Meyrick) em condições de laboratório. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil, 16(2),* 301–307

66. **Dağli, F., Yükselbaba, U., Ikten, C., Topakçi, N., & Göçmen, H. (2020).** INSECTICIDE RESISTANCE IN Bemisia tabaci (GENN.) Populations collected

from the mediterranean and aegean regions of turkey. *Applied Ecology and Environmental Research*, *18*(6), 7757-7768. https://doi.org/10.15666/aeer/1806_77577768

67. **Daoudi, A. (2016)**. Le financement informel du secteur maraîcher en Algérie : Le cas du crédit fournisseur: *Techniques Financières et Développement*, *n° 124*(3), 107-116. https://doi.org/10.3917/tfd.124.0107.
68. **Dara, S. K. (2019).** The New Integrated Pest Management Paradigm for the Modern Age. *Journal of Integrated Pest Management*, *10*(1). https://doi.org/10.1093/jipm/pmz010
69. **D'Ávila, V. A., Barbosa, W. F., Guedes, R. N., & Cutler, G. C. (2018)**. Effects of spinosad, imidacloprid, and lambda-cyhalothrin on survival, parasitism, and reproduction of the aphid parasitoid Aphidius colemani. *Journal of Economic Entomology*, *111*(3), 1096-1103. https://doi.org/10.1093/jee/toy055
70. **Desneux, N., Luna, M. G., Guillemaud, T., & Urbaneja, A. (2011)**. The invasive South American tomato pinworm, Tuta absoluta, continues to spread in Afro-Eurasia and beyond : The new threat to tomato world production. *Journal of Pest Science*, *84*(4), 403-408. https://doi.org/10.1007/s10340-011-0398-6
71. **Desneux, N., Wajnberg, E., Wyckhuys, K. A. G., Burgio, G., Arpaia, S., Narváez-Vasquez, C. A., González-Cabrera, J., Catalán Ruescas, D., 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*(3), 197-215. https://doi.org/10.1007/s10340-010-0321-6.
72. **Djaghrouri, K., Faci, M., & Cherif, H. (2024)**. Drip Irrigation of Tomatoes in Biskra : Water Saving and Economic Profitability. *Annals of Arid Zone*, *63*(3), 61-68. https://doi.org/10.56093/aaz.v63i3.148227
73. **Direction de la Programmation et du Suivi Budgétaires (DPSB). (2014)**. **Découpage administratif de l'Algérie et monographie**. Disponible sur : http://decoupageadministratifalgerie.blogspot.com/2014/10/cartegeographiqueBISKRA. Htm (consulté le 2 février 2026).
74. **Direction des services agricoles Biskra (DSA Biskra). (2025).** Statistiques de la production des cultures maraicheres sous serre dans la wilaya de Biskra. Rapport de la Direction Des Services Agricoles de Biskra.
75. **Direction des services agricoles Ouled djellel (DSA Ouled djellel). (2025).**

Statistiques de la production des cultures maraicheres sous serre dans la wilaya de Ouled djellel. Rapport de la Direction Des Services Agricoles de Ouled djellel.

76. **Dorais, M., Papadopoulos, A. P., & Gosselin, A. (2000).** Greenhouse Tomato Fruit Quality. In J. Janick (Éd.), *Horticultural Reviews* (1re éd., p. 239-319). Wiley. https://doi.org/10.1002/9780470650806.ch5.
77. **Douaoui, A. E. K., Nicolas, H., & Walter, C. (2006).** Detecting salinity hazards within a semiarid context by means of combining soil and remote-sensing data. *Geoderma*, *134*(1-2), 217-230. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2005.10.009
78. **ECDC/EFSA/EMA. (2015).** first joint report on the integrated analysis of the consumption of antimicrobial agents and occurrence of antimicrobial resistance in bacteria from humans and food-producing animals. *EFSA Journal;13(1):4006*. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4006
79. **El-Guindy, M. A., Abdel-Sattar, M. M., & El-Refai, A. R. M. (1983).** The joint action of mixtures of insecticides, or of insect growth regulators and insecticides, on susceptible and diflubenzuron-resistant strains of *Spodoptera littoralis* boisd. *Pesticide Science*, *14*(3), 246-252. https://doi.org/10.1002/ps.2780140306
80. **El-Shafie, H. A. F. (2020)** *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae): An invasive insect pest threatening the world tomato production. In *Pests Control and Acarology*. *IntechOpen*. https://doi.org/10.5772/intechopen.93390
81. **El-Sheikh, E.-S. A., Li, D., Hamed, I., Ashour, M.-B., & Hammock, B. D. (2023)**. Residue Analysis and Risk Exposure Assessment of Multiple Pesticides in Tomato and Strawberry and Their Products from Markets. *Foods*, *12*(10), 1936. https://doi.org/10.3390/foods12101936.
82. **El Sherif, D. F., Elabasy, N. N., & Sayed, M. A. (2024)**. Monitoring and risk assessment of pesticide residues in tomatoes and cucumbers traded in Fayoum governorate markets, Egypt. *Fayoum Journal of Agricultural Research and Development*, *38*(4), 616-627. https://doi.org/10.21608/fjard.2024.315197.1063
83. **El-Wakeil, N., Gaafar, N., Sallam, A., & Volkmar, C. (2013).** Side Effects of Insecticides on Natural Enemies and Possibility of Their Integration in Plant Protection Strategies. In S. Trdan (Éd.), *Insecticides—Development of Safer and More Effective Technologies*. InTech. https://doi.org/10.5772/54199.
84. **European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO). (2021)**. *Tuta absoluta (GNORAB) – distribution map*. EPPO Global Database. https://gd.eppo.int/taxon/GNORAB?utm_source=chatgpt.com

85. **European Commission. (2021)**. *Guidance on analytical quality control and method validation procedures for pesticide residues analysis in food and feed (SANTE/11312/2021).* European Commission. Retrieved from https://food.ec.europa.eu/system/files/2023-11/pesticides_mrl_guidelines_wrkdoc_2021-11312.pdf
86. **European Food Safety Authority. (2015).** Reasoned opinion on the review of the existing maximum residue levels (MRLs) for diquat according to Article 12 of Regulation (EC) No 396/2005. *EFSA Journal*, *13*(1), 3972. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.3972
87. **European Food Safety Authority (EFSA), Medina-Pastor, P., & Triacchini, G. (2020)**. The 2018 European Union report on pesticide residues in food. *EFSA Journal*, *18*(4). https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6057.
88. **European Union. (2011)**. *Regulation (EU) No. 2011/145 of 14 February 2011 concerning the non-renewal of the approval of certain active substances and amending Annex I to Council Directive 91/414/EEC.* Official Journal of the European Union
89. **European Union. (2021)**. *Regulation (EU) No. 2021/383 of 22 February 2021 amending Annexes II and III to Regulation (EC) No. 396/2005 regarding maximum residue levels for certain pesticides.* Official Journal of the European Union
90. **Fantke, P., Friedrich, R., & Jolliet, O. (2012).** Health impact and damage cost assessment of pesticides in Europe. *Environment International*, *49*, 9-17. https://doi.org/10.1016/j.envint.2012.08.001.
91. **Fatnassi, H., Pizzol, J., Senoussi, R., Biondi, A., Desneux, N., Poncet, C., & Boulard, T. (2015).** Within-Crop Air Temperature and Humidity Outcomes on Spatio-Temporal Distribution of the Key Rose Pest Frankliniella occidentalis. *PLOS ONE*, *10*(5), e0126655. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0126655.
92. **Fenner, K., Canonica, S., Wackett, L. P., & Elsner, M. (2013).** Evaluating Pesticide Degradation in the Environment : Blind Spots and Emerging Opportunities. *Science*, *341*(6147), 752-758. https://doi.org/10.1126/science.1236281
93. **Fereres, A., & Raccah, B. (2015).** Plant Virus Transmission by Insects. In Wiley, *Encyclopedia of Life Sciences* (1re éd., p. 1-12). Wiley. https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0000760.pub3
94. **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2002)**. *Mobilizing resources for agriculture and food security in developing countries.*

Committee on World Food Security. FAO.

95. **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2013).** *Good agricultural practices for greenhouse vegetable crops in the Mediterranean region* (FAO Plant Production and Protection Paper No. 217). FAO.
96. **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2019)**. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO country programming framework for Algeria 2017–2021.FAO.
97. **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), & World Health Organization (WHO). (2016).** *Pesticide residues in food 2016: Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Residues (JMPR).* WHO Press.
98. **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), & World Health Organization (WHO). (2019).** *Codex Alimentarius: Pesticide residues*. FAO.
99. **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2021)a**. FAOSTAT: *Crops and livestock products.* FAO. https://www.fao.org/faostat.
100. **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2021)b**. General guidelines for developing and implementing a regional integrated pest management strategy for fall armyworm control in demonstration countries. (FAO publication). https://doi.org/10.4060/cb7549en
101. **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2023)**. *FAOSTAT: Crops and livestock products*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/faostat
102. **Gafar, M., HabebAlla, M., Elhag, A., & Elfaki, J. (2018).** Residual effect of folimat 800 (organophosphate) and Icaros pesticides on soil fertility and carrot growth. *Noble International Journal of Scientific Research*, *2*(2), 5-10.
103. **Gao, T., Feng, R., Liu, Z., & Zhu, Z. (2025).** Modeling the Potential Climatic Suitability and Expansion Risk of Tuta absoluta (Meyrick, 1917) (Lepidoptera : Gelechiidae) Under Future Climate Scenarios. *Insects*, *16*(2), 185. https://doi.org/10.3390/insects16020185
104. **Gaouar, Z. L., Chefirat, B., Saadi, R., Djelad, S., & Rezk-Kallah, H. (2021)**. Pesticide residues in tomato crops in Western Algeria. *Food Additives & Contaminants: Part B*, *14*(4), 281-286. https://doi.org/10.1080/19393210.2021.1953156
105. **Geiger, F., Bengtsson, J., Berendse, F., Weisser, W. W., Emmerson, M.,**

Morales, M. B., Ceryngier, P., Liira, J., Tscharntke, T., Winqvist, C., Eggers, S., Bommarco, R., Pärt, T., Bretagnolle, V., Plantegenest, M., Clement, L. W., Dennis, C., Palmer, C., Oñate, J. J., … Inchausti, P. (2010). Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. *Basic and Applied Ecology*, *11*(2), 97-105. https://doi.org/10.1016/j.baae.2009.12.001

106. **Gerling, D., Alomar, Ò., & Arnò, J. (2001)**. Biological control of Bemisia tabaci using predators and parasitoids. *Crop Protection*, *20*(9), 779-799. https://doi.org/10.1016/S0261-2194(01)00111-9

107. **Gorman, K., Slater, R., Blande, J. D., Clarke, A., Wren, J., McCaffery, A., & Denholm, I. (2010).** Cross-resistance relationships between neonicotinoids and pymetrozine in *Bemisia tabaci* (Hemiptera : Aleyrodidae). *Pest Management Science*, *66*(11), 1186-1190. https://doi.org/10.1002/ps.1989

108. **Greenleaf WH. (1986)**. Pepper breeding. In Breeding Vegetable Crops, pp. 67-134.

109. **Guedes, R. N. C., & Picanço, M. C. (2012).** The tomato borer *T uta absoluta* in S outh A merica : Pest status, management and insecticide resistance. *EPPO Bulletin*, *42*(2), 211-216. https://doi.org/10.1111/epp.2557

110. **Guedes, R. N. C., Roditakis, E., Campos, M. R., Haddi, K., Bielza, P., Siqueira, H. A. A., ... & Nauen, R. (2019)**. Insecticide resistance in the tomato pinworm Tuta absoluta: patterns, spread, mechanisms, management and outlook. *Journal of Pest Science*, *92*(4), 1329-1342. https://doi.org/10.1007/s10340-019-01086-9

111. **Guenaoui Y. et Guelamallah A. (2008)**. Tuta absoluta (Meyrick), nouveau ravageur de la tomate en Algérie : Premières données sur sa biologie en fonction de la température, in AFPP, 8ème CI RA , SupAgro, Montpellier(France), 22 et 23 October 2008, 645- 651.

112. **Guo, J.-Y., Cong, L., & Wan, F.-H. (2013).** Multiple generation effects of high temperature on the development and fecundity of Bemisia tabaci (Hemiptera: Aleyrodidae) biotype B. *Insect Science*, *20*(4), 541–549. https://doi.org/10.1111/j.1744-7917.2012.01546.x

113. **Haddad, A., Mehda, A., & Tarai, N. (2025).** Bioecology of the whitefly *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) on tomato crop in the oases of the arid region El Oued – Algeria. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, *31*(2), 334–340.

114. **Haji, F. N. P., Parra, J. R. P., Silva, J. P., & Batista, J. G. S. (1988)**. Biologia da

traça do tomateiro sob condições de laboratório. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, fe 1988*(2), 107-10.

115. **Halitim, A. (1985).** *Contribution à l'étude des sols des zones arides (Hautes plaines steppiques de l'Algérie) : Morphologie, distribution et rôle des sels dans la genèse et le comportement des sols* (Thèse de doctorat). École nationale supérieure agronomique, Algérie.

116. **Hanafi, A & Alkama, D. (2016).** Stratégie d'amélioration du confort thermique d'une place publique d'une ville saharienne 'Biskra/Algérie'. *Revue des Energies Renouvelables, 19* (3), 465-480.

117. **Harbi, A., Abbes, K., Dridi-Almohandes, B., & Chermiti, B. (2015).** Efficacy of insect-proof nets used in Tunisian tomato greenhouses against Tuta absoluta (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) and potential impact on plant growth and fruit quality. *Journal of Entomological and Acarological Research, 47(3)*, 109–116. https://doi.org/10.4081/jear.2015.5256

118. **Hasanuzzaman, A. T. M., Islam, M. N., Liu, F.-H., Cao, H.-H., & Liu, T.-X. (2018).** Leaf Chemical Compositions of Different Eggplant Varieties Affect Performance of Bemisia tabaci (Hemiptera : Aleyrodidae) Nymphs and Adults. *Journal of Economic Entomology, 111*(1), 445-453. https://doi.org/10.1093/jee/tox333

119. **Helle, W., & Sabelis, M. W. (Eds.). (1985).** *Spider mites: Their biology, natural enemies and control* (Vol. 1A). Elsevier.

120. **Hepsağ, F., & Kizildeniz, T. (2021).** Pesticide residues and health risk appraisal of tomato cultivated in greenhouse from the Mediterranean region of Turkey. *Environmental Science and Pollution Research, 28*(18), 22551-22562. https://doi.org/10.1007/s11356-020-12232-7

121. **Heuvelink, E. (2005)**. Tomatoes. Crop production science in Horticulture 13. Wageningen University, Wageningen.

122. **Hill, B. D., & Johnson, D. L. (1987).** Persistence of deltamethrin and its isomers on pasture forage and litter. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 35*, 373–378.

123. **Hogea, S.Ş. (2020).** *Tuta absoluta* (meyrick) (lepidoptera: gelechiidae) – biology, ecology, prevention and control measures and means in greenhouse tomato crops. A review. *Current Trends in Natural Sciences, 9(17)*, 222-231. https://doi.org/10.47068/ctns.2020.v9i17.028

124. **Hoogerwerf, F., & Amrouni, H. (2023)**. *Greenhouse Horticulture Algeria Quick scan.* https://www.agroberichtenbuitenland.nl/documenten/rapporten/2023/01/26/sector-study-algerian- greenhouse-horticulture

125. **Horowitz, A. R., Ghanim, M., Roditakis, E., Nauen, R., & Ishaaya, I. (2020).** Insecticide resistance and its management in Bemisia tabaci species. *Journal of Pest Science*, *93*(3), 893-910. https://doi.org/10.1007/s10340-020-01210-0

126. **Hou, M.; Lu, W.; Wen, J. . (2007)**. Within-Plant Distribution of Bemisia tabaci (Homoptera: Aleyrodidae) Adults and Immatures on Greenhouse-Grown Winter Cucumber Plants. *Journal of Economic Entomology, 100(4), 1160–1165.* https://doi.org/10.1093/jee/100.4.1160

127. **Insecticide Resistance Action Committee (IRAC). (2023).** *IRAC mode of action classification scheme.* https://irac-online.org/modes-of-action/

128. **Janssen, A., & van Rijn, P. C. (2021).** Pesticides do not significantly reduce arthropod pest densities in the presence of natural enemies. *Ecology letters*, *24*(9), 2010-2024. https://doi.org/10.1111/ele.13819

129. **Jones Jr., J. B. (2007)**. *Tomato Plant Culture : In the Field, Greenhouse, and Home Garden, Second Edition (2nd ed.).* CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781420007398

130. **Jones, J. T., Haegeman, A., Danchin, E. G. J., Gaur, H. S., Helder, J., Jones, M. G. K., Kikuchi, T., Manzanilla-López, R., Palomares-Rius, J. E., Wesemael, W. M. L., & Perry, R. N. (2013).** Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology*, *14*(9), 946-961. https://doi.org/10.1111/mpp.12057

131. **Junghans, M., & Langer, M. (2019)**. Ökotoxikologische Untersuchungen: Risiko von PSM bestätigt. *Aqua & Gas, 4*, 26–34. https://irf.fhnw.ch/handle/11654/30355

132. **Kanda, M., Djaneye-Boundjou, G., Wala, K., Gnandi, K., Batawila, K., Sanni, A., & Akpagana, K. (2013).** Application des pesticides en agriculture maraichère au Togo. *VertigO, 13-1*. https://doi.org/10.4000/vertigo.13456

133. **Kashyap, L., Sharma, D. C., & Anil. (2016).** Efficacy of Insecticides and Bio-pesticides for Control of Greenhouse Whitefly on Tomatoes in Greenhouses in India. *Journal of Agricultural and Urban Entomology*, *32*(1), 40-49. https://doi.org/10.3954/1523-5475-32.1.40

134. **Klose, F., & Tantau, H. J. (2004).** Test of insect screens—Measurement and

evaluation of the air permeability and light transmission. *European Journal of Horticultural Science*, 235-243. https://doi.org/10.1079/ejhs.2004/25310

135. **Konuş, M. (2014).** Analysing resistance of different *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) strains to abamectin insecticide. *Turkish Journal of Biochemistry/Turk Biyokimya Dergisi*. 39(3), 291–297. https://doi: 10.5505/tjb.2014.09327

136. **Krechemer, F. D. S., & Foerster, L. A. (2015)**. Tuta absoluta (Lepidoptera : Gelechiidae): Thermal requirements and effect of temperature on development, survival, reproduction and longevity. *European Journal of Entomology*, *112*(4), 658-663. https://doi.org/10.14411/eje.2015.103

137. **Kriticos, D. J., De Barro, P. J., Yonow, T., Ota, N., & Sutherst, R. W. (2020)**. The potential geographical distribution and phenology of *Bemisia tabaci* Middle East/Asia Minor 1, considering irrigation and glasshouse production. *Bulletin of Entomological Research*, *110*(5), 567-576. https://doi.org/10.1017/S0007485320000061

138. **Labdi, N. (2016)**. *Impact du barrage de Foum El Gherza sur le développement de l'agriculture en irrigué dans le périmètre de Sidi Okba (Biskra)*. Mémoire de Magister en sciences agronomiques.Université Mohamed Khider-Biskra. pp138.

139. **Lacordaire AI, Feuvrier E (2010)**. Tomate, traquer *Tuta absoluta*. *Phytoma 632*:40–44.

140. **Langa, TP., Dantas, KC., Pereira, DL., Oliveira, M. de., Ribeiro, L. and Siqueira, HA. (2022)**. Basis and monitoring of methoxyfenozide resistance in the South American tomato pinworm *Tuta absoluta*. *J Pest Sci*, *95*, 351-364. https://doi.org/10.1007/s10340-021-01378-z

141. **Lebdi-Grissa, K., Skander, M., Mhafdhi, M., & Bel-Hadj, R. (2010)**. Lutte intégrée contre la mineuse de la tomate, *Tuta absoluta* Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae) en Tunisie. *Entomologie faunistique – Faunistic Entomology*, *63*(3), 125–132. https://popups.uliege.be/2030-6318/index.php?id=1760

142. **Lehotay, S. J., Son, K. A., Kwon, H., Koesukwiwat, U., Fu, W., Mastovska, K., Hoh, E., & Leepipatpiboon, N. (2010).** Comparison of QuEChERS sample preparation methods for the analysis of pesticide residues in fruits and vegetables. *Journal of chromatography. A*, *1217*(16), 2548–2560. https://doi.org/10.1016/j.chroma.2010.01.044

143. **Leite, G. L. D., Picanço, M., Jham, G. N., & Marquini, F. (2004).** Intensity of *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae) and *Liriomyza* spp. (Diptera: Agromyzidae) attacks on *Lycopersicum esculentum* Mill. leaves. *Ciência e Agrotecnologia*, *28*(1), 42–48. https://doi.org/10.1590/S1413-70542004000100005

144. **Lekei, E. E., Ngowi, A. V., & London, L. (2014).** Farmers' knowledge, practices and injuries associated with pesticide exposure in rural farming villages in Tanzania. *BMC Public Health*, *14*(1), 389. https://doi.org/10.1186/1471-2458-14-389

145. **Li, M.-J., Yang, S.-W., Chen, G.-H., Dou, W.-J., Shang, H.-P., & Zhang, X.-M. (2022).** Density and seasonal dynamics of Bemisia tabaci and its predators in different agricultural landscapes in South China. *Frontiers in Plant Science*, *13*, 928634. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.928634

146. **Li, H., Jiang, Z., Zhou, J., Liu, X., Zhang, Y., & Chu, D. (2023)**. Ecological factors associated with the distribution of Bemisia tabaci cryptic species and their facultative endosymbionts. *Insects*, *14*(3), 252. https://doi.org/10.3390/insects14030252

147. **Li, W.; Naeem, M.; Cui, J.; Du, G.; Chen, H. (2025).** Toxicity and Sublethal Effects of Lambda-Cyhalothrin Insecticide on Parent and Filial Generations of Henosepilachna vigintioctomaculata (Coleoptera:Coccinellidae). *Insects*, *16*, 259. https://doi.org/10.3390/insects16030259

148. **Lietti, M. M., Botto, E. and .Alzogaray, R. A. (2005)**. Insecticide resistance in argentine populations of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Neotropical Entomology*. 34, 113-119. https://doi.org/10.1590/S1519-566X2005000100016

149. **Lobin, K. K., Jaunky, V. C., & Taleb-Hossenkhan, N. (2022)**. A meta-analysis of climatic conditions and whitefly Bemisia tabaci population : Implications for tomato yellow leaf curl disease. *The Journal of Basic and Applied Zoology*, *83*(1), 57. https://doi.org/10.1186/s41936-022-00320-8

150. **Łozowicka, B., Kaczyński, P., Jankowska, M., Rutkowska, E., Iwaniuk, P., Konecki, R., Rogowska, W., Zhagyparova, A., Absatarova, D., Łuniewski, S., Pietkun, M., & Hrynko, I. (2025).** Evaluation of Broad-Spectrum Pesticides Based on Unified Multi-Analytical Procedure in Fruits and Vegetables for Acute Health Risk Assessment. *Foods*, *14*(14), 2528. https://doi.org/10.3390/foods14142528.

151. **Mahdi, K. (2014)**. *Importance des facteurs limitant les populations de la mineuse de la tomate Tuta absoluta (Meyrick) dans l'Algérois*. Thèse de doctorat, Ecole

Superieur Nationale Agronomique El Harrach, Algérie.

152. **Mahdi, K., Daoudi-Hacini, S., Saharaoui, L., Ababsia, A., Aouamer, F., & Imaghazen, F. (2010)**. Détermination du zéro de développement de la mineuse de la tomate *Tuta absoluta* (Meyrick). *Actes des Journées Nationales sur la Zoologie Agricole et Forestière* (p. 103). El Harrach, Algérie.

153. **Mahlangu, L., Sibisi, P., Nofemela, R. S., Ngmenzuma, T., & Ntushelo, K. (2022)**. The Differential Effects of Tuta absoluta Infestations on the Physiological Processes and Growth of Tomato, Potato, and Eggplant. *Insects*, *13*(8), 754. https://doi.org/10.3390/insects13080754.

154. **Malaj, E., Von Der Ohe, P. C., Grote, M., Kühne, R., Mondy, C. P., Usseglio-Polatera, P., Brack, W., & Schäfer, R. B. (2014).** Organic chemicals jeopardize the health of freshwater ecosystems on the continental scale. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *111*(26), 9549-9554. https://doi.org/10.1073/pnas.1321082111

155. **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*(2), 83-112. https://doi.org/10.1127/entomologia/2018/0749

156. **Marabi, R. S., Das, S. B., & Pandey, V. (2021).** Influence of weather parameters on population dynamics of whitefly (Bemisia tabaci Genn.) in soybean [Glycine max (L.) Merrill]. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, *9*(1), 553-557.

157. **Martin, T., Ochou, O. G., Vaissayre, M., & Fournier, D. (2003).** Organophosphorus Insecticides Synergize Pyrethroids in the Resistant Strain of Cotton Bollworm, Helicoverpa armigera (Hübner) (Lepidoptera : Noctuidae) from West Africa. *Journal of Economic Entomology*, *96*(2), 468-474. https://doi.org/10.1093/jee/96.2.468

158. **Mawcha, K. T., Kinyanjui, G., Berhe, D. H., Hategekimana, A., Joelle, K., & Ndolo, D. (2025)**. An overview of sustainable management strategies for *Tuta absoluta*. *International Journal of Pest Management*, 1-24. https://doi.org/10.1080/09670874.2025.2456590

159. **Mebarki, A. (2005).** *Hydrologie des bassins de l'Est algérien : Ressources en eau, aménagement et environnement* (Thèse de doctorat d'État). Université de Constantine, Algérie.

160. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural (MADR). (2021). *Statistiques agricoles : campagne 2020/2021*. Alger : MADR, Direction des Statistiques Agricoles.

161. Mnif, W., Hassine, A. I. H., Bouaziz, A., Bartegi, A., Thomas, O., & Roig, B. (2011). Effect of Endocrine Disruptor Pesticides : A Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *8*(6), 2265-2303. https://doi.org/10.3390/ijerph8062265

162. Moens, M., & Perry, R. N. (2009). Migratory Plant Endoparasitic Nematodes : A Group Rich in Contrasts and Divergence. *Annual Review of Phytopathology*, *47*(1), 313-332. https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080508-081846

163. Monserrat-Delgado, A. (2008). *La polilla del tomate Tuta absoluta en la región de Murcia: bases para su control.* Ministry of Agriculture and Water, Murcia, Spain.

164. Mostafalou, S., & Abdollahi, M. (2013). Pesticides and human chronic diseases : Evidences, mechanisms, and perspectives. *Toxicology and Applied Pharmacology*, *268*(2), 157-177. https://doi.org/10.1016/j.taap.2013.01.025

165. Mulimbi, W., Nalley, L., Dixon, B., Snell, H., & Huang, Q. (2019). Factors Influencing Adoption of Conservation Agriculture in the Democratic Republic of the Congo. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, *51*(04), 622-645. https://doi.org/10.1017/aae.2019.25

166. Naouri, M., Hartani, T., & Kuper, M. (2015). Mobility of rural youth and new forms of Saharan agriculture (Biskra, Algeria). *Cahiers Agricultures*, *24*(6), 379-386. https://doi.org/10.1684/agr.2015.0778

167. Naranjo, S. E. (2001). *Conservation and evaluation of natural enemies in IPM systems for Bemisia tabaci. , 20(9), 0–852.* https://doi.org/10.1016/s0261-2194(01)00115-6

168. Navas-Castillo, J., Fiallo-Olivé, E., & Sánchez-Campos, S. (2011). Emerging Virus Diseases Transmitted by Whiteflies. *Annual Review of Phytopathology*, *49*(1), 219-248. https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-072910-095235

169. Nayana, BP., Shashank, PR. and Kalleshwaraswamy, CM. (2017). Seasonal incidence of invasive tomato leaf miner, *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) on tomato in Karnataka, India. *J Entomol Zool Stud*. *6*(1), 400-405**.**

170. Nguyen, H. D. D., & Nansen, C. (2018). Edge-biased distributions of insects. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, *38*(1), 11. https://doi.org/10.1007/s13593-018-0488-4

171. **Nicol, J. M., Turner, S. J., Coyne, D. L., Nijs, L. D., Hockland, S., & Maafi, Z. T. (2011).** Current Nematode Threats to World Agriculture. In J. Jones, G. Gheysen, & C. Fenoll (Éds.), *Genomics and Molecular Genetics of Plant-Nematode Interactions* (p. 21-43). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0434-3_2

172. **Nourani, A., & Bencheikh, A. (2019)**. *Analyse du bilan énergétique pour la production de la plasticulture, étude de cas : Wilaya de Biskra*.

173. **Novelli, A., Vieira, BH., Vasconcelos, AM., Peret, AC. and .Espindola, ELG. (2012).** Field and laboratory studies to assess the effects of Vertimec® 18EC on *Daphnia similis*. *Ecotoxicol Environ Saf*. 75, 87-93. 10.1016/j.ecoenv.2011.08.016

174. **Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS). (2003)**. *Système aquifère du Sahara septentrional : Gestion commune d'un bassin transfrontière.* OSS.

175. **Oh, S.-Y., & Koh, S. C. (2019).** Fruit development and quality of hot pepper (*Capsicum annuum* L.) under various temperature regimes. *Horticultural Science and Technology*, *37*(3), 313–321. https://doi.org/10.7235/HORT.20190032

176. **Oliveira, M. R. V., Henneberry, T. J., & Anderson, P. (2001).** History, current status, and collaborative research projects for Bemisia tabaci. *Crop Protection*, *20*(9), 709-723. https://doi.org/10.1016/S0261-2194(01)00108-9

177. **Ouakhssase, A., & Ait Addi, E. (2023)**. Monitoring 432 potential pesticides in tomatoes produced and commercialized in Souss Massa region-Morocco, using LC-MS/MS and GC-MS/MS. *Environmental Pollution*, *337*, 122611. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122611

178. **Our World in Data. (2023).** *Tomato production – UN FAO* [Dataset]. https://ourworldindata.org/grapher/tomato-production

179. **Perier, J. D., Cremonez, P. S. G., Smith, H. A., Simmons, A. M., & Riley, D. G. (2024).** Susceptibility of Bemisia tabaci (Hemiptera : Aleyrodidae) Adult Populations to Imidacloprid in Georgia, USA. *Journal of Entomological Science*, *59*(2). https://doi.org/10.18474/JES23-41

180. **Pfeiffer, D. G., Muniappan, R., Sall, D., Diatta, P., Diongue, A., & Dieng, E. O. (2013).** First Record of *Tuta absoluta* (Lepidoptera : Gelechiidae) in Senegal. *Florida Entomologist*, *96*(2), 661-662. https://doi.org/10.1653/024.096.0241

181. **Polston, J. E., & Anderson, P. K. (1997).** The Emergence Of Whitefly-Transmitted

Geminiviruses in Tomato in the Western Hemisphere. *Plant Disease*, *81*(12), 1358-1369. https://doi.org/10.1094/PDIS.1997.81.12.1358

182. **Povolný, D. (1994)**. Gnorimoschemini of southern South America VI: Identification keys, checklist of Neotropical taxa and general considerations (Insecta, Lepidoptera, Gelechiidae). *Steenstrupia*, *20*, 1–42.

183. **Qadir, M., Sharma, B. R., Bruggeman, A., Choukr-Allah, R., & Karajeh, F. (2007).** Non-conventional water resources and opportunities for water augmentation to achieve food security in water scarce countries. *Agricultural Water Management*, *87*(1), 2-22. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.03.018

184. **Raya, V., Parra, M., Cid, M. D. C., Santos, B., & Ríos, D. (2024)**. Effect of Different Intensities of Leaf Removal on Tomato Development and Yield. *Horticulturae*, *10*(11), 1136. https://doi.org/10.3390/horticulturae10111136

185. **RECA. (2013).** Danger : *Tuta absoluta*, un nouveau ravageur de la tomate identifié au Niger (Note d'information / Traitements phytosanitaires et ravageurs No. 4). Réseau des Chambres d'Agriculture du Niger.

186. **Rechachi, M. Z. (2017)**. *Impact de la qualité des eaux d'irrigation sur la salinisation des sols en régions arides et semi-arides : cas de la région du Ziban* (Thèse de doctorat). Université Mohamed Khider–Biskra, Algérie.

187. **Reddy, C. A., Pathak, M., Kumar, Y. B., Ningthoujam, K., Gogoi, J., Abhinay, Kumar, A., Sahoo, B. K., Sharma, S., Chandra, P. K., & Majumder, S. (2025)**. Residue dynamics and food safety evaluation of novel insecticides on tomato fruit. *Environmental Monitoring and Assessment*, *197*(6), 690. https://doi.org/10.1007/s10661-025-14153-9

188. **Rey, f., carrière, j., ginez, a., giraud, m., goillon, c., goude, m., lambion, j., lefèvre, a., séguret, j., tabone, e., terrentroy, a. & trottin-caudal, y. (2014).** Stratégies de protection des cultures de tomates sous abri contre *Tuta absoluta*. *Protection Biologique Intégrée, Agriculture Biologique. Cahier technique TUTAPI, Paris, France. 16 pp*

189. Relyea, R. A., & Hoverman, J. T. (2008). Interactive effects of predators and a pesticide on aquatic communities. *Oikos*, *117*(11), 1647-1658. https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2008.16933.x

190. **Ribeiro, E. O., Afonso, N. H., & Morgado, P. (2021)**. Non-pharmacological treatment of gambling disorder : A systematic review of randomized controlled trials. *BMC Psychiatry*, *21*(1), 105. https://doi.org/10.1186/s12888-021-03097-2

191. **Rizzo, G., Migliore, G., Schifani, G., & Vecchio, R. (2024)**. Key factors influencing farmers' adoption of sustainable innovations : A systematic literature review and research agenda. *Organic Agriculture*, *14*(1), 57-84. https://doi.org/10.1007/s13165-023-00440-7

192. **Roditakis, E., Roditakis, N. E., & Tsagkarakou, A. (2005)**. Insecticide resistance in *Bemisia tabaci* (Homoptera : Aleyrodidae) populations from Crete. *Pest Management Science*, *61*(6), 577-582. https://doi.org/10.1002/ps.1029

193. **Roditakis, E., Skarmoutsou, C., Staurakaki, M., del Rosario Martínez-Aguirre, M., García-Vidal, L., Bielza, P., ... & Teixeira, L. A. (2013)**. Determination of baseline susceptibility of E uropean populations of T uta absoluta (M eyrick) to indoxacarb and chlorantraniliprole using a novel dip bioassay method. *Pest Management Science*, *69*(2), 217-227.

194. **Roditakis, E., Vasakis, E., Grispou, M. *et al.* (2015)**. First report of *Tuta absoluta* resistance to diamide insecticides. *J Pest Sci* 88, 9–16. https://doi.org/10.1007/s10340-015-0643-5

195. **Saad,M., Anil, S., Fatina, B., & Fathi, E.E.A. (2013)**. The Status of Tomato Leafminer; *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) in Egypt and Potential Effective Pesticides. *Academic Journal of Entomology 6 (3):* 110-115.

196. **Sabran, S. H., & Abas, A. (2021)**. Knowledge and Awareness on the Risks of Pesticide Use Among Farmers at Pulau Pinang, Malaysia. *Sage Open*, *11*(4), 21582440211064894. https://doi.org/10.1177/21582440211064894

197. **Sadło, S. (2000).** Quantitative Relationship of Application Rate and Pesticide Residues in Greenhouse Tomatoes. *Journal of AOAC INTERNATIONAL*, *83*(1), 214-219. https://doi.org/10.1093/jaoac/83.1.214

198. **Saidi, I., Mouhouche, F., & Abri, H. (2017)**. Determination of pesticide residues on tomatoes from greenhouses in Boudouaou and Douaouda, Algeria. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, *9*(2), 207-212. https://doi.org/10.3920/QAS2015.0716

199. **Salghi, R., Luis, G., Rubio, C., Hormatallah, A., Bazzi, L., Gutiérrez, A. J., & Hardisson, A. (2012)**. Pesticide Residues in Tomatoes from Greenhouses in Souss Massa Valley, Morocco. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, *88*(3), 358-361. https://doi.org/10.1007/s00128-011-0503-9

200. **Sani, I., Ismail, S. I., Abdullah, S., Jalinas, J., Jamian, S., & Saad, N. (2020)**. A Review of the Biology and Control of Whitefly, *Bemisia tabaci* (Hemiptera:

Aleyrodidae), with Special Reference to Biological Control Using Entomopathogenic Fungi. *Insects*, *11*(9), 619. https://doi.org/10.3390/insects11090619

201. **Savary, S., Willocquet, L., Pethybridge, S. J., Esker, P., McRoberts, N., & Nelson, A. (2019).** The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nature Ecology & Evolution*, *3*(3), 430-439. https://doi.org/10.1038/s41559-018-0793-y
202. **Schenck FJ, Hobbs JE. (2004)**. Evaluation of the quick, easy, cheap, effective, rugged, and safe (QuEChERS) approach to pesticide residue analysis. *Bull Environ Contam Toxicol. Jul;73(1)*, 24-30. https://doi.org/10.1007/s00128-004-0388-y
203. **Shah, M. A., Sridhar, J., & Sharma, S. (2020).** Studies on the within-plant distribution of whitefly, *Bemisia tabaci* (Gennadius) in potato and development of a sequential sampling plan. International Journal of Pest Management. https://doi.org/10.1080/09670874.2020.1823520
204. **Shahini, S., Bërxolli, A., & Kokojka, F. (2021).** Effectiveness of bio-insecticides and mass trapping based on population fluctuations for controlling Tuta absoluta under greenhouse conditions in Albania. *Heliyon, 7(1)*, e05753. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05753
205. **Sharma, D., Maqbool, A., Jamwal, V. V. S., Srivastava, K., & Sharma, A. (2017).** Seasonal dynamics and management of whitefly (*Bemesia tabaci Genn*.) in tomato (Solanum esculentum Mill.). *Brazilian Archives of Biology and Technology*, *60*(0). https://doi.org/10.1590/1678-4324-2017160456
206. **Shiberu, T., & Getu, E. (2017)**. Evaluation of some insecticides against tomato leaf miner, Tuta absoluta (Meyrick)(Gelechiidae: Lepidoptera) under laboratory and glasshouse conditions. *Agric. Res. Tech. Open Access J*, *7*(3), 1-4. https://doi.org/10.19080/ARTOAJ.2017.07.555711
207. **Siegwart, M. (2017).** Mode d'action des insecticides. *Journées d'échanges sur les résistances aux produits de protedtion des plantes, 34***.**
208. **Silva, G. A., Picanço, M. C., Bacci, L., Crespo, A. L. B., Rosado, J. F., & Guedes, R. N. C. (2011).** Control failure likelihood and spatial dependence of insecticide resistance in the tomato pinworm, *Tuta absoluta*. *Pest Management Science*, *67*(8), 913-920. https://doi.org/10.1002/ps.2131

209. Silva J.E., Assis, C.O.P., Ribeiro, L.M.S. and Siqueira, H.A.A. (2016). Field-Evolved Resistance and Cross-Resistance of Brazilian *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) Populations to Diamide Insecticides. *Journal of Economic Entomology*. 6, 1–4. https://doi.org/10.1093/jee/tow161

210. Silva, WM., Berger, M., Bass, C., Balbino, VQ., Amaral, MH., Campos, MR.&. Siqueira, HA. (2015). Status of pyrethroid resistance and mechanisms in Brazilian populations of *Tuta absoluta*. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 122, 8-14. https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2015.01.011

211. Silverio, F. O., Alvarenga, E. S. de., Moreno, S. C. and Picanço, M. C. (2009). Synthesis and insecticidal activity of new pyrethroids. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science*. *65*(8), 900-905. https://doi.org/10.1002/ps.1771

212. -Southwood, T. R. E., & Henderson, P. A. (2000). *Ecological methods* (3rd ed.). Blackwell Science.

213. Son, D., Bonzi, S., Somda, I., Bawin, T., Boukraa, S., Verheggen, F., Francis, F., Legrève, A., & Schiffers, B. (2017). First record of Tuta absoluta (Meyrick, 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae) in Burkina Faso. *African Entomology*, *25*(1), 259–263. https://doi.org/10.4001/003.025.0259

214. Soudani, N., Belhamra, M., & Toumi, K. (2020). Pesticide use and risk perceptions for human health and the environment : a case study of Algerian farmers. *Ponte International Scientific Researches Journal*, *76*(5). https://doi.org/10.21506/j.ponte.2020.5.2

215. Sparks, T. C., & Nauen, R. (2015). IRAC : Mode of action classification and insecticide resistance management. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, *121*, 122-128. https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2014.11.014.

216. Statista. (2018). *Production mondiale de légumes en 2018, par région (en millions de tonnes)*. Statista. https://www.statista.com

***217.* Statista. (2023).** *Production mondiale de légumes de 2000 à 2021*. Statista. https://www.statista.com

218. Stehle, S., & Schulz, R. (2015). Agricultural insecticides threaten surface waters at the global scale. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *112*(18), 5750-5755. https://doi.org/10.1073/pnas.1500232112

219. Sunil, V., Kumar, P. D., & Kumar, M. (2022). Population dynamics of whitefly, Bemisia tabaci Gennadius in tomato and its management using novel insecticides

under polyhouse condition. *Pest Management in Horticultural Ecosystems*, *28*(1), 54-58. https://doi.org/10.5958/0974-4541.2022.00004.2

220. **Takahashi H., Takakusa, N., Suzuki, J. and Kishimoto, T. (1998).** Development of a new insecticide, Acetamiprid. *J. Pestic. Sci*. 23, 193-198. https://doi.org/10.1584/jpestics.23.193

221. **Takam Fongang, G. M., Leunga Noukwe, I., Guay, J.-F., & Séguin, C. (2024)**. What Determines the Adoption of Conservation Agriculture? Evidence from Quebec. *Environmental Management*, *74*(4), 775-789. https://doi.org/10.1007/s00267-024-02024-x

222. **Teitel, M. (2001).** The effect of insect-proof screens in roof openings on greenhouse microclimate. *Agricultural and Forest Meteorology*, *110*(1), 13-25. https://doi.org/10.1016/S0168-1923(01)00280-5

223. **Tišler, T., & Kožuh Eržen, N. (2006).** Abamectin in the aquatic environment. *Ecotoxicology*, *15*(6), 495-502. https://doi.org/10.1007/s10646-006-0085-1.

224. **Topp, E., Stephan, A., Varela, E., Cicek, H., & Plieninger, T. (2024).** Mediterranean farmers' understandings of 'good soil management' and 'good farmer' identity in the context of conservation agriculture. *International Journal of Agricultural Sustainability*, *22*(1), 2335083. https://doi.org/10.1080/14735903.2024.2335083

225. **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. https://doi.org/10.1080/02670870010011091

226. **Toumi, K., Joly, L., Vleminckx, C., & Schiffers, B. (2019).** Exposure of workers to pesticide residues during re-entry activities : A review. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, *25*(8), 2193-2215. https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1485092

227. **Trudgill, D. L., & Blok, V. C. (2001).** Apomictic, Polyphagous Root-Knot Nematodes: Exceptionally Successful and Damaging Biotrophic Root Pathogens. *Annual Review Phytopathology*. 39:53-77. https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.39.1.53

228. **Tutiempo. (2024)** : *Données climatiques pour Biskra* Tutiempo. https://fr.tutiempo.net/climat/ws-605250.html.

229. **Ullah, M. S., & Lim, U. T. (2016)**. Within-greenhouse and within-plant distribution of greenhouse whitefly, Trialeurodes vaporariorum (Hemiptera : Aleyrodidae), in strawberry greenhouses. *Applied Entomology and Zoology*, *51*(2), 333-339. https://doi.org/10.1007/s13355-016-0394-7

230. **Urbaneja, A., González-Cabrera, J., Arnó, J., & Gabarra, R. (2012).** Prospects for the biological control of *Tuta absoluta* in tomatoes of the Mediterranean basin. *Pest Management Science*, *68*(9), 1215-1222. https://doi.org/10.1002/ps.3344

231. **Vacante, V. (2016).** *The handbook of mites of economic plants: Identification, bio-ecology and control*. CABI Publishing. https://doi.org/10.1079/9781845939946.0001

232. **Van Leeuwen, E., Van Den Bosch, M., Castano, E., & Hopman, P. (2010)**. Dealing with deviants : The effectiveness of rejection, denial, and apologies on protecting the public image of a group. *European Journal of Social Psychology*, *40*(2), 282-299. https://doi.org/10.1002/ejsp.622

233. **Van Leeuwen, T., Vontas, J., Tsagkarakou, A., Dermauw, W., & Tirry, L. (2010).** Acaricide resistance mechanisms in the two-spotted spider mite Tetranychus urticae and other important Acari : A review. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, *40*(8), 563-572. https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2010.05.008

234. **Wang, M., Zheng, Q., Shen, Q., & Guo, S. (2013)**. The Critical Role of Potassium in Plant Stress Response. *International Journal of Molecular Sciences*, *14*(4), 7370-7390. https://doi.org/10.3390/ijms14047370

235. **Wognin, A., Ouffoue, S., Assemand, E., Tano, K., & Koffi-Nevry, R. (2014).** Perception des risques sanitaires dans le maraîchage à Abidjan, Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, *7*(5), 1829. https://doi.org/10.4314/ijbcs.v7i5.4

236. **Wright J. W. (1984)**. Evaluation of crop rotation for control of Colorado potato beetle (Coeloptera: Chrysomelidae) in commercial potato fields on Long Island. *J. Econ. Entomol. 77*: 1255- 1259.

237. **Yalçın, M., Mermer, S., Kozacı, L. and Turgut, C. (2015).** Türkiye'deki iki *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae) populasyonunda insektisit direnci. *Türkiye Entomoloji Dergisi*. *39*(2), 137-145. http://dx.doi.org/10.16970/ted.63047

238. **Zhang, Y.-B., Han, L., Han, P., Tian, X.-C., Wang, H., Geng, L.-L., Zhang, J., Liu, W., Wan, F.-H., Guedes, R. N. C., Desneux, N., & Zhang, G.-F. (2025)**.

Monitoring the insecticide susceptibility of a newly introduced invasive species, *Tuta absoluta* (Meyrick), in China. *Crop Protection*, *189*, Article 107041. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2024.107041

239. **Zekeya N, Ndakidemi, PA., Chacha, M. & Mbega, E. (2017)**. Tomato Leafminer, *Tuta absoluta* (Meyrick 1917), an emerging agricultural pest in Sub-Saharan Africa: Current and prospective management strategies. *African Journal of Agricultural Research*. *Academic Journals*. *12*(6), 389-396**.**

Annexe I : questionnaire utilisé pour la collecte des données auprès des producteurs dans le cadre de l'enquête menée durant la campagne (2021/2022)

Le questionnaire :

- Date de l'enquête :…….
- Commune enquêtée :……..…….
- Lieu-dit enquêté :……...

I. Description de l'exploitation

1 l'enquêté N°: ……âge :……

2- Niveau d'étude : ……..

Analphabète ☐
Primaire ☐
Moyen ☐
Secondaire ☐
Universitaire ☐

3- Est ce que vous avez fait une formation agricole ? Oui ☐
Non ☐

4- Quelle est la superficie agricole utile totale de votre exploitation ?.....ha , dont la superficie réservée pour le maraichage est: ……..ha

5- Quel type de cultures pratiquez-vous?. Sous serre ☐
En plein champ ☐

6- Quelles sont les cultures les plus pratiquées?....

Tomate ☐
Piment, poivron ☐
Pomme de terre ☐
Concombre ☐
Autres ☐ les quels ? : ……

7- Quelles plantes cultivez-vous actuellement ? .....

plante	variété
1-	
2-	

3-	
4-	
5-	

II- pratiques culturales

8- Quelles techniques culturales pratiquées vous durant toute la campagne ?

	Techniques	**Information (type, fréquence, quantité …….)**	
1	Désherbage	- Manuel	
		- Paillage	
		- Chimique (herbicide), produit utilisé :……	
2	Fertilisation	- Organique (fumier)	- Quantité apportée……..
			- Période d'apport :……..
			-type de fumier 1- ovin 2- bovin 3- volaille
		- Minérale (engrais)	- épandage
			- avec l'eau d'irrigation (fertirrigation)
			- Engrais utilisés : 1-…… … 2-……. 3-…….
3	Semence	- locale	
		- importée	
4	Variété	- Utiliser même variété chaque année	
		- Changer la variété	
5	Aération de la serre	- Quand (mois) :……..	
		- durée d'ouverture :……	
6	Irrigation	- Fréquence : ……/ semaine	

9- Est-ce que vous pratiquez la rotation des cultures ? Oui ☐

Non ☐

10- Est-ce que vous produisez vos plants maraichers ? Oui ☐

Non ☐

Si non citez le nom de la pépinière d'où vous achetez vos plants

……

11- Comment vous faites pour avoir de la semence ?

Acheter ☐

Produit dans l'exploitation ☐

5- dans le cas d'achat de la semence est ce que vous achetez des

Semences fixés ☐

Semences hybrides ☐

12- Comment vous pollinisez vos plants

A l'aide des insectes pollinisateurs ☐

via la vibration ☐

13- Est ce que vous utilisez des activateurs de croissances ? Oui ☐

Non ☐

Si oui, les quels ?

Racinaire ☐

Des fruits ☐

Floraux ☐

14- Est-ce que vous utilisez le filet ? Oui ☐

Non ☐

15- Que faites vous des reliquats des cultures précédentes ?

Jetés dans l'exploitation ☐

Incinérés sur place ☐

Arrachés et incinérés loin de la serre ☐

Utilisés comme aliment de bétails ☐

Autres ☐

16- Est-ce que vous nettoyez l'environnement de vos serres ? (les m.h qui se trouvent autour de la serre) Oui ☐

Non ☐

17- Lors du désherbage manuel, les mauvaises herbes arrachées :

Restent à l'intérieur de la serre ☐

Débarrasser d'elles dehors de la serre ☐

18- Est-ce que vous déplacez vos serres chaque.

Une année ☐

2 ans ☐

3 ans ☐

4 ans ☐

5 ans ☐

III- Pratiques phytosanitaires

19- Quels sont les problèmes phytosanitaires rencontrés par ordre?.....

Insectes, acariens, champignons ☐

Insectes, champignons, acariens ☐

Acariens, insectes, champignons ☐

Acariens, champignons, insectes ☐

Champignons, insectes, acariens ☐

Champignons, acariens, insectes ☐

20- Quel type de produit utilisé-vous?.....

Spécifique (c a d visant un seul ravageur) ☐

Polyvalent ☐

21- Quels sont les produits utilisés ? (spécialité commerciale)

- produit 01 : ……. ; contre :……(le ravageur)
- produit 02 : …….; contre :……
- produit 03 : ……. ; contre :……
- produit 04 : ……. ; contre :……
- produit 05 :……..., contre……..

22- Est-ce que vous utilisez des produits :

Appartenant à la même firme ☐ la quelle :……..….

Variez ☐ les quelles :……,……, …….

23- sur quelle base vous choisissez un produit ?

Selon l'historique de vos traitements ☐

Selon le conseil du vendeur ☐

Selon le conseil des propriétaires des exploitations voisines ☐

24- Est-ce que vous utilisez des produits :

Appartenant à la même famille chimique ☐ la quelle

Alternez les familles ☐ les quelles

25- lorsque vous choisissez un produit vous se basez sur :

Le nom commercial ☐

La matière active ☐

26- Quelle est la période de traitement ?

Avant l'apparition du ravageur (préventive) ☐

☐

Après l'apparition du ravageur

27- est ce que vous utilisez les mêmes produits chaque année ou vous changez ?

Même produit ☐

Changer ☐

28- vous traitez vos cultures tous les :

3jours ☐

7jours ☐

10 jours ☐

15jours ☐

29- en cas d'inefficacité du traitement qu'est ce que vous faites ?

Changer le produit ☐

Doubler la dose ☐

30- Est-ce que vous mélangez plusieurs matières actives (produits) ?

Oui ☐

Non ☐

Si oui est ce que le mélange de ces matières est :

Recommandé ☐

Non recommandé ☐

Je ne sais pas (mélangez Au hasard) ☐

31- Est-ce que vous connaissez les doses à utilisez ?

Oui ☐

Non ☐

Si non comment vous calculez la dose correcte ?

Conseil du vendeur ☐

Conseil d'agent d'agriculture ☐

Expérience ☐

Conseil d'autre agriculteur ☐

32- Est-ce que vous utilisez des produits phytosanitaires bio ?

Oui ☐

Non ☐ , Si oui quelle est la spécialité commerciale ?.....

33- Après combien de jours faites vous la récolte après le dernier traitement ?

Immédiatement (le même jour) ☐

Après 1 à 3 jours ☐

Après une semaine ☐

Après 10à 15 jours ☐

34- Est-ce que vous savez qu'il ya un délai à respecter après le dernier traitement et avant la récolte ?

Oui ☐

Non ☐

Si oui pour quoi vous ne le respectez pas ?

Ignorance de ce délai ☐

Absence de vulgarisation ☐

Absence d'information sur l'étiquette (emballage non d'origine) ☐

35- Est-ce que vous savez le danger des produits phytosanitaire ?

Oui ☐

Non ☐

Annexe II

ID#	Name	m/z	Ret. Time	Area	Con	R^2	LOQ (ppb)	LOD (ppb)
1	Tebuconazole	284.1000>176.1000	7.818	1,003,162	10.288	0.995	0.05	0.15
2	Omethoate	184.0000>143.0000	0.682	304,833	10.499	0.996	0.2	0.61
3	Trichlorfon	214.1000>125.0000	0.679	245,002	12.726	0.992	0.76	2.29
4	Monocrotophos	215.1000>49.1000	4.848	258,962	11.871	0.9999	0.39	1.19
5	Oxydemeton-methyl	237.9000>72.0000	2.382	233,199	10.407	0.9996	0.59	1.79
6	Dicrotophos	247.0000>169.0500	2.129	274,730	8.621	0.9992	0.88	2.68
7	Thiamethoxam	292.0000>211.1000	2.236	1,858,179	10.273	0.9995	0.03	0.1
8	Vamidothion	240.9000>224.0000	2.279	461,143	10.158	0.9978	0.62	1.89
9	Mevinphos	270.1000>132.0000	7.801	658,708	10.059	0.9988	0.1	0.29
10	Imidacloprid	256.1000>147.9500	2.558	299,637	5.647	0.9988	0.15	0.45
11	Simazine	288.1000>58.0500	2.859	974,568	10.86	0.9987	0.08	0.25
12	Cyanazine	225.1000>127.0000	2.917	99,696	10.248	0.9985	0.67	2.04
13	Metribuzin	365.2000>117.0000	9.949	628,975	10.507	0.9977	0.07	0.2
14	Atrazine	216.1000>174.1000	5.998	1,145,803	11.046	0.9985	0.08	0.25
15	Carbaryl (NAC)	253.0000>126.0500	3.46	1,244,932	9.669	0.9997	0.1	0.3
16	Carboxin	277.9000>81.0000	3.951	8,201	9.573	0.999	1.13	3.44
17	Propazine	236.1000>143.1000	5.244	981,555	10.944	0.9986	0.05	0.15
18	Methiocarb	202.1000>145.1000	5.319	527,284	11.523	0.9993	0.18	0.54
19	Fenamiphos	318.0000>159.9000	6.638	514,372	9.502	0.9984	0.11	0.34
20	Alachlor	240.8000>214.0000	4.456	361,766	9.1	0.997	0.31	0.94
21	Metolachlor	275.0000>89.0000	8.621	52,078	9.504	0.9961	1.29	3.9
22	Fenoxycarb	304.1000>216.9500	7.931	370,592	10.593	0.9986	0.03	0.08
23	Diazinon	302.1000>116.1500	8	2,160,999	9.768	0.9992	0.04	0.11
24	Phosmet	308.2000>70.1000	8.23	192,705	9.837	0.9996	0.07	0.23
25	Chlorfenvinphos (E, Z)	305.1000>96.9500	8.305	721,198	10.37	0.9996	0.06	0.19
26	Phorate	359.0000>155.1500	8.32	1,158,577	10.613	0.9967	0.25	0.75

27	**Propiconazole (stereo isomer)**	**342.0000>158.9000**	**8.321**	**396,535**	**9.869**	**0.9996**	**0.15**	**0.46**
28	**Pirimiphos-methyl**	**261.0000>47.1000**	**8.506**	**16,201**	**8.42**	**0.9956**	**1.45**	**4.39**
29	**Disulfoton**	**230.2000>188.1000**	**6.899**	**594,775**	**11.644**	**0.9996**	**0.04**	**0.13**
30	**Terbufos**	**528.1000>150.1000**	**8.71**	**237,368**	**10.9**	**0.9984**	**0.03**	**0.09**
31	**Indoxacarb**	**289.1000>57.0500**	**9.142**	**147,680**	**9.651**	**0.9985**	**0.56**	**1.7**
32	**Cypermethrin (isomer)**	**467.0000>125.0000**	**9.164**	**98,766**	**11.547**	**0.9996**	**0.1**	**0.31**
33	**Temephos**	**202.1000>104.0000**	**4.856**	**291,753**	**11.612**	**0.9984**	**0.45**	**1.37**
34	**Pyridaben**	**432.9000>416.0000**	**9.768**	**129,832**	**7.204**	**0.9997**	**0.22**	**0.68**