

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université MUSTAPHA Stambouli



جامعة مصطفى إسمبولي

Mascara

معسكر

Faculté des sciences de la nature et de la vie.

Département des sciences agronomiques.

Laboratoire de Recherche sur les Systèmes Biologiques et la Géomatique.

Laboratoire de Recherche en Géo-Environnement et Développement des
Espaces.

THESE DE DOCTORAT

Spécialité : Production végétales et protection des végétaux.

Intitulée :

**Dynamique spatiale et dégât du Carpocapse des pommes
et des poires *Cydiapomonella* L. (Lepidoptera : Tortricidae)
dans la région de Sidi Bel Abbes.**

Présentée par : MAHI Tayeb

Le 21/12/2022

Devant le jury :

Président	SAHNOUNI Fatma	Professeur	Université Mustapha Stambouli - Mascara.
Examineur	BICHE Mohamed	Professeur	Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie - Alger.
Examineur	MOHAMMEDI Ahmed	MCA	Université Hassiba Benbouali - Chlef.
Examineur	RIGHI Kada	MCA	Université Mustapha Stambouli - Mascara
Directeur de thèse	HARIZIA Abdelkader	Professeur	Université Mustapha Stambouli - Mascara
Co- Directeur de thèse	BENGUERA Abdelkader	MCA	Université Mustapha Stambouli - Mascara

Année Universitaire : 2021 -2022

Remerciements

En premier lieu, je remercie Dieu le Tout Puissant de m'avoir donné la force et la volonté de réaliser ce modeste travail.

J'exprime, dans un premier temps, mes profonds remerciements à mon directeur de thèse M. HARIZIA Abdelkader, professeur à l'université Mustapha Stambouli de Mascara, pour avoir accepté de diriger ce travail, de près et avec rigueur scientifique exemplaire, également pour sa disponibilité, son soutien et pour tous les précieux conseils apportés dans ma démarche de recherche.

Je remercie mon Co-directeur de thèse, M. BENGERRAI Abdelkader, Maître de conférences à l'université Mustapha Stambouli de Mascara, pour ces précieux conseils et son aide et le temps qu'il a bien voulu accorder à mon travail.

Je souhaiterais exprimer ma profonde gratitude à Madame le professeur SAHNOUNI Fatma, pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury. Je la remercie également pour son entière disponibilité.

Je sais également gré au professeur BICHE Mohamed, de l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique d'Alger, de m'avoir honoré de sa présence en acceptant de juger ce travail.

Mes remerciements vont également à monsieur M. MOHAMMEDI Ahmed, Maître de conférences à l'université Hassiba Benbouali de Chlef, pour avoir accepté de participer à ce jury de thèse, Je lui suis particulièrement reconnaissant.

Je remercie également M. RIGHI Kada, Maître de conférence à l'université Mustapha Stambouli de Mascara, pour avoir accepté de participer à ce jury de thèse, et pour son entière disponibilité.

J'aimerais également témoigner ma gratitude à M. Raul BONAL, docteur à l'université Complutense de Madrid (Espagne), pour son assistance et accompagnement durant mon stage de courte durée à Plasencia. Je tiens à le remercier notamment d'avoir mis à ma disposition l'ensemble des moyens pour mener à bien mes expérimentations et aussi pour les précieux conseils apportés dans ma démarche de recherche.

J'aimerais également remercier Melle Tara CANELO et M. Carlos PERES, doctorants à l'université d'Extramadura (Espagne), pour m'avoir initié aux principes pratiques de la biologie moléculaire et aux traitements des données. Je remercie également madame Wassila, doctorante en chimie, à l'université Djilali Liabes et ingénieur de laboratoire de chimie à I.N.R.A.A Sidi Bel Abbas, qui m'a appris tous les principes de la préparation de l'ester de poire, utilisé dans mes expérimentations. Je la remercie énormément pour sa disponibilité, ses précieux conseils et ses encouragements.

Mes plus vifs remerciements vont aussi à M. HADJAJ Aouel Sghir, professeur à l'université d'Oran 1 Senia, M^{me} SEKKAL Fatima Zohra, Docteur à l'université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, pour leur aide dans l'identification des plantes médicinales et pour leurs précieuses orientations.

J'aimerais également remercier tous les propriétaires des vergers fruitiers de la région de Sidi Bel Abbas, chez lesquels s'est déroulé notre travail de terrain. Je tiens à leur exprimer toute ma gratitude pour la confiance qu'ils ont mis en moi, pour leur disponibilité et pour toutes les informations fournis durant mes expérimentations.

Mes remerciements vont également aux cadres des services agricoles de la wilaya Sidi Bel Abbas notamment ceux de des subdivisions agricoles de Tessala, Sidi Lahcen, Sidi Ali Benyoub et Tenira pour leur appui et leur disponibilité.

Mes plus vifs remerciements vont également à tous le staff de la faculté des sciences et de la nature de l'université Mustapha Stambouli et notamment du département d'agronomie de Mascara qui m'ont permis de concrétiser ce projet de thèse.

Je veux également témoigner ma gratitude à ma famille pour leur soutien et leur encouragement.

Je remercie tous mes amis qui ont partagé avec moi les moments d'espoir, de joies et surtout les périodes difficiles par leur soutien continu et sans faille.

Pour terminer, je souhaiterais remercier toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à ma formation depuis mon premier jour à l'école jusqu'au jour de ma soutenance.

Tayeb MAHI

TABLE DE MATIÈRES

Remerciements

Résumé

Abstract

الملخص

Introduction ----- 1

CHAPITRE I. Caractéristiques des modèles biologiques étudiés : *Malus domestica* *Borkh.*, *Pyrus communis* L. et *Cydia pomonella* L.

1.1. Le pommier et le poirier cultivé ----- 8

1.1.1. Origine et aire de culture ----- 8

1.1.2. Caractéristiques biologiques ----- 9

1.1.3. Exigences agro écologiques ----- 11

1.1.4. Importance économique ----- 12

1.1.5. Principaux bioagresseurs du pommier et du poirier ----- 15

1.2. Carpospe des pommes et des poires *Cydia pomonella* L. ----- 16

1.2.1. Aperçue historique et position systématique ----- 16

1.2.2. Description ----- 18

1.2.3. Cycle biologique ----- 19

1.2.4. Exigences écologiques ----- 22

1.2.5. Importance économique et dégâts ----- 23

1.2.6. Méthodes de lutte et stratégie de protection intégrée ----- 27

CHAPITRE II. Dynamique spatiale des bio agresseurs à l'échelle du paysage et des agrosystèmes

2.1. Etat des connaissances sur la dynamique spatiale des bioagresseurs-----	32
2.2. Facteurs influençant la dynamique spatiale des bio agresseurs-----	33
2.3. Mécanismes et paramètres de la dynamique des populations-----	35
2.3.1. Dynamique intra-site -----	35
2.3.2. Dynamique inter-sites -----	36
2.3.2.1. Effets du paysage sur la dispersion des ravageurs-----	36
2.3.2.2. Processus de dispersion des populations adultes de <i>C. pomonella</i> -----	38
2.4. Les déterminants environnementaux -----	39
2.4.1. Le système culture-bioagresseur -----	39
2.4.2. Notions sur l'agroécosystème : le paysage-----	40
2.4.2.1. Impact du paysage sur les ravageurs -----	41
2.4.2.2. Paysage et biodiversité-----	42
2.5. Relation dégâts-effectifs des ravageurs -----	44
2.6. Modélisation de la dynamique spatiale des populations -----	45

CHAPITRE III- Présentation de la zone d'étude et méthodologie

3.1. Présentation de la région d'étude-----	47
3.1.1. Situation géographique-----	47
3.1.2. Cartographie de la zone d'étude-----	48
3.1.3. Climat de la région d'étude -----	49
3.1.3.1. Températures -----	49
3.1.3.2. Pluviométrie -----	50

3.1.3.3. L'humidité relative de l'air -----	51
3.1.3.4. Vents et gelées-----	52
3.1.3.5. Synthèse climatique -----	52
3.2. Description des sites d'étude -----	55
3.2.1. Echantillonnage des vergers -----	58
3.2.2. Synthèse des pratiques culturales réalisées dans les vergers cibles -----	62
3.2.2.1. Travaux du sol, taille et fertilisation minérale-----	62
3.2.2.2. Eclaircissage et traitements phytosanitaires -----	63
3.3. Matériels et méthodes d'étude -----	68
3.3.1. Identification moléculaire de <i>C. pomonella</i> -----	68
3.3.1.1. Extraction et séquençage de l'ADN-----	68
3.3.1.2. Alignement de la base de données d'ADN -----	69
3.3.1.3. Reconstruction phylogénétique et relations évolutives entre les haplotypes -----	70
3.3.1.4. Génétique des populations de <i>C. pomonella</i> de la région d'étude-----	70
3.4. Étude de la dynamique des populations du carpocapse dans les vergers cibles -----	71
3.4.1. Description des haies situées en bordure des vergers -----	71
3.4.2. Étude de la dynamique spatio-temporelle des adultes -----	72
3.4.3. Estimation du nombre de génération par la méthode des degrés-jours -----	74
3.4.4. Étude de la répartition spatiale intra-verger des larves diapausantes -----	75
3.4.5. Étude des dégâts des larves sur les fruits -----	76
3.4.6. Essai de lutte contre le carpocapse par l'utilisation de l'huile essentielle de l'armoise blanche -----	79
3.4.6.1. Justification et objectifs -----	79

3.4.6.2. Matériels biologiques -----	80
3.4.6.3. Préparation de la poudre végétale -----	81
3.4.6.4. Extraction de l'huile essentielle et analyse GC-MS-----	81
3.4.6.5. Essai <i>in vitro</i> de l'activité insecticide de l'huile essentielle -----	82
3.4.7. Méthodes d'analyses statistiques et d'exploitations des résultats -----	83
3.4.7.1. Étude de la dynamique spatio-temporelle de <i>C. pomonella</i> -----	83
3.4.7.2. Étude de la répartition spatiale des effectifs de larves diapausantes dans les vergers cibles-----	84
3.4.7.3. Étude des dégâts du carpocapse sur les fruits : pommes et poires-----	84
3.4.7.4. Essai de lutte contre le carpocapse par l'utilisation de l'huile essentielle de l'armoise blanche -----	85

Chapitre IV. Résultats

4.1. Identification moléculaire de <i>C. pomonella</i> -----	87
4.2. Étude de dynamique de <i>C. pomonella</i> au niveau de la zone d'étude -----	94
4.2.1. Étude de la dynamique spatio-temporelle des adultes de <i>C. pomonella</i> -----	94
4.2.1.1. Dynamique du vol dans les vergers intensifs-----	94
4.2.1.1.1. Dynamique du vol pour le pommier : variété Golden Reinders-----	97
4.2.1.1.2. Dynamique du vol pour le pommier : variété Gala Galaxy -----	99
4.2.1.1.3. Dynamique du vol pour le poirier : variété Santa Maria-----	100
4.2.1.2. Dynamique du vol dans les vergers de pommiers extensifs -----	102
4.2.1.3. Détermination des générations de <i>C. pomonella</i> par la somme des degrés-jours ----	104
4.2.2. Effet des haies sur la répartition spatiale intra verger des larves diapausantes au sein des vergers de pommiers -----	106
4.2.2.1. Description des haies situées en bordure des vergers cibles-----	106

4.2.2.2. Dispersion spatiale intra verger des effectifs de larves diapausantes -----	108
4.2.2.2.1. Les vergers de pommiers -----	109
4.2.2.2.2. Les vergers de poiriers -----	116
4.2.3. Dégâts de <i>C. pomonella</i> sur les pommes et les poires -----	118
4.2.3.1. Taux d'infestation des pommes et des poires -----	118
4.2.3.2. Effet de l'orientation de l'arbre sur le taux d'infestation des pommes -----	121
4.2.3.3. Effet du système de conduite sur le taux d'infestation des pommes -----	122
4.2.3.4. Taux d'infestation des variétés de poires -----	124
4.2.3.5. Effet du système de conduite sur le taux d'infestation des poires -----	125
4.2.4. Effet insecticide de l'huile essentielle d' <i>A. herba alba</i> sur les L5 diapausantes -----	127
4.2.4.1. Composition chimique de l'huile essentielle (HE) d' <i>Artemisia herba alba</i> -----	127
4.2.4.2. Efficacité insecticide par fumigation -----	130

Chapitre V. Discussion

5.1. Identification moléculaire de <i>C. pomonella</i> -----	134
5.2. Dynamique des populations de <i>C. pomonella</i> au niveau de la zone d'étude -----	137
5.2.1. Dynamique spatio-temporelle des adultes -----	137
5.2.2. Dispersion spatiale intra verger des larves diapausantes et effet du paysage -----	141
5.3. Dégâts de <i>C. pomonella</i> sur les pommes et poires -----	144
5.4. Essai de lutte contre le carpocapse par l'utilisation de l'huile essentielle de l'armoise blanche <i>A. herba alba</i> -----	147
5.4.1. Composition chimique de l'huile essentielle d' <i>A. herba alba</i> -----	147
5.4.2. Efficacité insecticide de l'huile essentielle d' <i>A. herba alba</i> -----	148
Conclusion -----	150

Références bibliographiques

Annexes

Publications internationales

Communications internationaux

Communications nationales

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Evolution de la production des pommes en Algérie, pour la période 2010-2019. 13	13
Tableau 2. Evolution de la production des poires en Algérie, pour la période 2010-2019..... 13	13
Tableau 3. Evolution de la production des pommes dans la willaya de Sidi Bel Abbès, pour la période 2009-2020..... 14	14
Tableau 4. Evolution de la production des poires dans la wilaya de Sidi Bel Abbès, pour la période 2014-2020..... 15	15
Tableau 5. Variation de températures moyennes mensuelles, minimales et maximales (°C) dans la région de Sidi Bel Abbès. Période : 1994–2017. 50	50
Tableau 6. Températures mensuelles moyennes, minimales et maximales dans la région de Sidi Bel Abbès. Période : 2018-2019.. 50	50
Tableau 7. Variation des précipitations moyennes mensuelles (P, mm) dans la région de Sidi Bel Abbès. Périodes : 1994 - 2017 et 2018-2019..... 51	51
Tableau 8. Variation de l'humidité relative (HR %) moyenne mensuelle dans la région de Sidi Bel Abbès. Périodes ; 1994 - 2017 et 2018-2019. 51	51
Tableau 9. Vitesse moyenne des vents (m/s) dans la région de Sidi Bel Abbès. Périodes : 1994 - 2017 et 2018 -2019. 52	52
Tableau 10. Caractéristiques des vergers de pommiers et de poiriers dans les sites d'étude.. 57	57
Tableau 11. Vergers de pommiers et de poiriers cibles retenus par site d'étude, en 2018. 59	59
Tableau 12. Pratiques culturales réalisées dans les vergers cibles du site de Sehala Thaoura. 64	64
Tableau 13. Pratiques culturales réalisées dans les vergers cibles du site de Tabia. 65	65
Tableau 14. Pratiques culturales réalisées dans les vergers cibles du site de Sidi Lahcen. 66	66

Tableau 15. Pratiques culturelles réalisées dans les vergers cibles du site de Tenira.....	67
Tableau 16. Rapports entre le nombre d’haplotypes et les séquences totales et entre les haplotypes exclusifs et les haplotypes totaux, avec chaque continent.	89
Tableau 17. Résultats des analyses AMOVA intra spécifiques montrant la répartition de la variance génétique totale entre les populations locales.....	93
Tableau 18. Nombre d’échantillons de chaque haplotype dans chaque site d’échantillonnage des larves de <i>C. pomonella</i> de la région d’étude.....	93
Tableau 19. Résumé des informations génésiques relatives au site d’échantillonnage dans la région d’étude (SBA).	94
Tableau 20. Récapitulatif des évaluations fournies par les deux méthodes : piégeage et degrés-jours.	106
Tableau 21. Abondance relative (%) des espèces végétales constituant les haies en bordure des vergers de pommiers et de poiriers cibles.....	107
Tableau 22. Comparaisons multiples (test poshoc du Tukey) entre la localisation spatiale des effectifs des larves diapausantes, les variétés de pommiers et les années d’étude (2018 et 2019).....	109
Tableau 23. Effet de la distance des bandes pièges et des haies sur les effectifs et la dispersion des larves diapausantes, pour les deux années d’études (2018 et 2019), dans les vergers de pommiers.	114
Tableau 24. Effet de la localisation spatiale des bandes pièges (centre et extrémité) sur les effectifs de larves dipausantes dans les vergers de poiriers, pour les deux années d’études : 2018 et 2019.....	116
Tableau 25. Effet de la haie et de l’année d’étude sur la localisation spatiale des effectifs de larves diapausantes dans les vergers de poiriers, pour les deux années d’études : 2018–2019.	117

Tableau 26. Comparaisons (test posthoc de Tukey) entre les taux d'infestation des pommes et des poires avec les variétés et les années d'étude (2018-2019).	119
Tableau 27. Comparaisons multiples par paire (test posthoc de Turkey) des taux d'infestation entre les différentes variétés de pomme.	120
Tableau 28. Comparaisons multiples par paires (test posthoc de Tukey) des taux d'infestation entre les orientations de la canopée des arbres.	122
Tableau 29. Comparaisons multiples par paire (test posthoc de Tukey) des taux d'infestation entre les années et le système de conduite des vergers de pommiers (2018-2019).	123
Tableau 30. Comparaisons multiples par paire (test posthoc de Tukey) des taux d'infestation des poires entre les variétés et les années.	124
Tableau 31. Comparaisons multiple par paires (test posthoc de Tukey) des taux d'infestation entre les variétés de poire.	124
Tableau 32. Comparaisons multiples (test de chi-deux) des taux d'infestation entre les années et le système de conduite des vergers de poiriers.	126
Tableau 33. Composition chimique de l'huile essentielle d' <i>Artemisia herba alba</i>	127
Tableau 34. Toxicité (CL50) de l'huile essentielle d' <i>Artemisia herba alba</i> vis-à-vis des larves du 5 ^{ème} stade de <i>Cydia pomonella</i> L.	133
Tableau 35. Temps létal (LT50) de l'huile essentielle d' <i>Artemisia herba alba</i> pour les larves du 5 ^{ème} stade du <i>Cydia pomonella</i> L.	133

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Stades phénologiques du pommier (variété Gala). -----	10
Figure 2. Stades phénologiques du poirier (variété William's).-----	10
Figure 3. Distribution géographique de <i>Cydia pomonella</i> L. -----	17
Figure 4. Adulte (A), œufs (B), larve (C) et chrysalide (D) de <i>C. pomonella</i> L.-----	19
Figure 5. Cycle biologique de <i>C. pomonella</i> L. -----	21
Figure 6. Des pommes (Golden Reinders) (A) et des poires (Santa Maria) (B) endommagées par <i>C. pomonella</i> L. dans la région de Tenira (Sidi Bel Abbès). -----	23
Figure 7. Différents aspects des dégâts causés par les larves de <i>C. pomonella</i> L. -----	26
Figure 8. Filet Alt'carpo dans deux vergers de pommiers-----	30
Figure 9. Localisation géographique de la wilaya de Sidi Bel Abbès. -----	48
Figure 10. Cartographie de la zone d'étude effectuée avec Arcview.-----	48
Figure 11. Diagramme ombrothermique de la région de Sidi Bel Abbès, période : 1994-2019 (A) et 2018-2019 (B). -----	53
Figure 12. Etage bioclimatique de la région de Sidi Bel Abbès. Périodes :1913 - 1938 (Q2 = 42,14) et 1994- 2019(Q2 = 29,06). -----	54
Figure 13. Géo-localisation et caractéristiques des vergers des sites d'étude dans la région de Sidi Bel Abbès, sous Arcview. -----	56
Figure 14(A). Géolocalisation des vergers cibles, en 2018, dans le site de Sehala Thaoura, représentée sous Arcview.-----	60
Figure 15. Application phytosanitaire contre le carpocapse en verger de pommiers intensif dans le site de Sidi Lahcen (variété Jérôme). -----	63

Figure 16. Différents types de haies en bordures des vergers de pommiers et de poiriers cibles.-----	72
Figure 17. Piège sexuel à phéromone type Delta utilisé pour la capture des adultes mâles et femelles de <i>C. pomonella</i> (variété Golden Delicious) -----	74
Figure 18. Bande piège disposée au pied d'un pommier (A) (variété Golden Delicious) dans la station de Sehala Thaoura et d'un poirier (B) (variété Passe Crassane) dans la station de Tabia. (C) larves de <i>C. pomonella</i> capturées dans une bande piège ondulée.-----	76
Figure 19. Dégâts de larve du carpocapse sur quelques variétés de pommes (A : Golden Reinders, B : Gala Galaxy, C : Granny Smith et D : Golden Smoothie) et de poire (E : Santa Maria et F : Cascade).-----	78
Figure 20. L'armoise blanche <i>Artemisia herba alba</i> . -----	80
Figure 21. Larve L5 de <i>Cydia pomonella</i> L. -----	81
Figure 22. Réseau de parcimonie statistique des haplotypes de l'ADNmt (fragment de COI de Folmer, 620 paires de bases) de <i>Cydia pomonella</i> .-----	90
Figure 23. Phylogénie de l'ADN de tous les haplotypes d'ADNmt (fragment de Folmer IOC, 620 paires de bases) de <i>Cydia pomonella</i> -----	92
Figure 24. Courbe de vol des adultes de <i>C. pomonella</i> (mâles et femelles) dans les vergers de pommiers (variété : Golden Reinders, Gala Galaxy) et de poiriers (variété : Santa maria), pour les deux années : 2018 et 2019. -----	96
Figure 25. Activité de vol de <i>C. pomonella</i> dans les vergers de pommiers (Golden Reinders et Gala Galaxy) et de poiriers (variété : Santa maria) des sites de Tenira, Sidi Lahcen et Tabia, en 2018 et 2019.-----	97
Figure 26. Activité de vol de <i>C. pomonella</i> dans les vergers de pommiers de la variété Golden Reinders des sites de Sidi Lahcen, Tabia et Tenira, pour les deux années d'étude : 2018 et 2019.-----	98

Figure 27. Activité de vol de <i>C. pomonella</i> dans les vergers de pommiers de la variété Golden Reinders des sites de Tenira, Sidi Lahcen et Tabia, pour les deux années d'étude : 2018 et 2019.-----	98
Figure 28. Activité de vol de <i>C. pomonella</i> dans les vergers de pommiers de la variété Gala Galaxy des sites de Sidi Lahcen, Tabia et Tenira, pour les deux années d'étude : 2018 et 2019. -----	99
Figure 29. Activité de vol de <i>C. pomonella</i> dans les vergers de pommiers de la variété Gala Galaxy des sites de Sidi Lahcen, Tabia et Tenira, par année d'étude : 2018 et 2019. -----	100
Figure 30. Activité de vol de <i>C. pomonella</i> dans les vergers de poiriers (variété Santa maria) des sites de Sidi Lahcen, Tabia et Tenira, pour les deux années d'étude : 2018 et 2019. -----	101
Figure 31. Activité de vol de <i>C. pomonella</i> dans les vergers de poiriers (variété Santa Maria) des sites de Sidi Lahcen, Tabia et Tenira, par année d'étude : 2018 et 2019. -----	101
Figure 32. Activité de vol de <i>C. pomonella</i> dans les vergers de pommiers extensifs (variétés : Golden Delicious et Gala Royal) du site de Sehala Thaoura, pour les deux années d'étude : 2018 et 2019.-----	102
Figure 33. Activité de vol de <i>C. pomonella</i> dans les vergers de pommiers (variétés : Golden Delicious et Gala Royal) du site de Sehala Thaoura pour l'année 2018.-----	103
Figure 34. Activité de vol de <i>C. pomonella</i> dans les vergers de pommiers extensifs (variétés : Golden Delicious et Gala Royal) du site de Sehala Thaoura pour l'année 2019.-----	103
Figure 35. Nombre de générations prévisionnelles de <i>C. pomonella</i> en fonction des degrés-jours, pour l'année 2018.-----	105
Figure 36. Nombre de générations prévisionnelles de <i>C. pomonella</i> en fonction des degrés-jours, pour l'année 2019.-----	105
Figure 37. Différents types de haies dans les vergers de pommiers et de poiriers cibles.----	108
Figure 38. Localisation spatiale des effectifs de larves diapausantes dans les vergers de pommiers, pour les des deux années d'études : 2018 et 2019. -----	110

Figure 39. Répartition spatiale des effectifs de larves diapausantes de <i>C. pomonella</i> au sein d'un verger de pommier (variété Golden Delicious) dans le site de Tenira. -----	111
Figure 40. Répartition spatiale des effectifs de larves diapausantes de <i>C. pomonella</i> au sein d'un verger de pommier intensif (variété Golden Delicious) dans le site de Tenira. -----	112
Figure 41. Comparatif de répartition spatiale des effectifs de larves diapausantes de <i>C. pomonella</i> entre deux vergers de pommiers de la variété Golden Delicious. -----	113
Figure 42. Effet de la distance des bandes pièges par rapport à la bordure sur le nombre des larves diapausantes, pour les deux années d'études (2018 et 2019).-----	115
Figure 43. Effet de la proportion des haies sur le nombre des larves diapausantes, pour les deux années d'études (2018 et 2019) dans les vergers de pommiers.-----	115
Figure 44. Localisation spatiale des effectifs des larves diapausantes dans les vergers de poiriers, pour les deux années d'études (2018 et 2019).-----	117
Figure 45. Effet de la proportion des haies sur le nombre des larves diapausantes, pour les deux années d'études (2018 et 2019), dans les vergers de poiriers.-----	118
Figure 46. Taux d'infestation des différentes variétés de pommes et de poires (% moyen \pm SE), par année d'étude (2018 et 2019).-----	119
Figure 47. Taux d'infestation des principales variétés de pomme (% moyen \pm SE), par année d'étude (2018 et 2019).-----	120
Figure 48. Taux d'infestation des pommes (% moyen \pm SE) par orientation de la canopée des arbres. -----	121
Figure 49. Taux d'infestation (% moyen \pm SE) des pommes Golden Delicious en fonction de différents systèmes de conduite des vergers, pour les deux années d'études (2018 et 2019).-----	123
Figure 50. Taux d'infestation des différentes variétés de poires (% moyen \pm SE), par année d'étude (2018 et 2019).-----	125
Figure 51. Taux d'infestation des poires en fonction de différents systèmes de conduite des vergers de poiriers (% moyen \pm SE), par année d'étude (2018 et 2019).-----	126

Figure 52. Chromatogramme de l'huile essentielle d'*Artemisia herba alba* analysé par GC-MS.-----130

Figure 53. Effet des différentes concentrations de l'huile essentielle d'*Artemisia herba alba* sur la mortalité (% \pm SE) des larves du 5^{ème} stade de *C. pomonella*.-----131

Figure 54. Courbes de la dynamique de survie de Kaplan-Meier des larves L5 de *Cydia pomonella* L. traitées par les différentes concentrations de l'huile essentielle d'*A. herba alba*.-----132

Résumé

Dynamique spatiale et dégât du carpocapse des pommes et des poires *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera : Tortricidae) dans la région de Sidi Bel Abbas

Dans la présente thèse, nous avons traité plusieurs aspects de la dynamique du carpocapse des pommes et des poires. Dans un premier temps, nous avons examiné : l'origine génétique des populations locales, la dynamique des adultes et effets du système de conduite et des variétés, la répartition spatiale intra verger des effectifs de larves et effet du paysage, l'évaluation des dégâts sur fruits et effets du système de conduite, des variétés et de l'orientation des arbres. Dans un second temps, nous avons traité, au laboratoire l'efficacité biologique de l'huile essentielle de l'armoise blanche. Cette étude réalisée durant les années 2018 et 2019, s'est déroulée au sein de 72 vergers de pommiers et de poiriers localisés dans quatre sites de production potentiels de la région de Sidi Bel Abbés : Sehala Thaoura, Sidi Lahcen, Tabia et Tenira. Dans un premier temps, nous avons déterminé, pour la première fois en Afrique du Nord et en Algérie, le séquençage du code-barres de l'ADN de *C. pomonella*, avec la présence de deux haplotypes locaux, probablement issue d'une mutation. Dans la région, le carpocapse développe trois générations et une quatrième partielle. Les effectifs des adultes sont affectés par la structure variétale, le système de conduite et par le paysage du verger. La répartition spatiale intra verger des larves diapausantes est étroitement liée au paysage, avec des agrégations au centre des vergers avec haies et en extrémité des vergers sans haies. L'ensemble des variétés cultivées dans la région sont sensibles aux attaques du carpocapse. Les taux d'infestation des fruits variés en fonction des espèces, des variétés, du système de conduite et de la canopée de l'arbre. Les variétés les plus sensibles sont Golden Delicious, Golden Smoothie et Royal Gala pour le pommier et Santa Maria et cascade pour le poirier. Dans un second temps, nous avons mis en évidence l'effet insecticide de l'huile essentielle d'*A. herba-alba* vis-à-vis des larves du dernier stade s'est traduit par une CL50 de 13,49 et 04,45 $\mu\text{l L}^{-1}$ d'air à 24 et 48 h, respectivement. Les valeurs des TL50 à la concentration la plus basses (01,81 $\mu\text{l L}^{-1}$ d'air) et là plus élevée (18,18 $\mu\text{l L}^{-1}$ d'air), sont respectivement de 59,35 et 19,52 heures. Les principaux résultats de cette thèse nous on permit de décrire la phénologie et la dynamique du carpocapse dans un environnement diversifié. Toutefois, certaines questions de recherche doivent être précisées afin d'élucider tous les mécanismes intervenant dans la relation carpocapse - habitat.

Mots clés : Dynamique spatiale, Carpocapse, Pommier, Poirier, Dégâts, Lutte biologique, Sidi Bel Abbas.

Abstract

Spatial dynamics and damage of codling moth of apple and pear *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera: Tortricidae) in the Sidi Bel Abbes area.

In this thesis, we have covered several aspects of the dynamics of codling moth of apple and pear. First, we examined the genetic origin of local populations, the dynamics of adults and the effects of the training system and varieties, the spatial distribution within orchards of diapausing larvae and landscape effects, the evaluation of fruit damage and effects of the training system, varieties, and tree orientation. Then, in the laboratory, we treated the insecticidal efficiency of the white sagebrush essential oil against larvae (L5). This study carried out in 2018 and 2019, took place in 72 apple and pear orchards located in four potential production sites in the Sidi Bel Abbes area: Sehalia Thaoura, Sidi Lahcen, Tabia, and Tenira. First, we determined, for the first time in North Africa and Algeria, the DNA barcode sequences of *C. pomonella*, with the presence of two local haplotypes, probably due to a local mutation. In the area, the codling moth develops three generations and a fourth partial. Adults were affected by varietal structure, management system, and orchard landscape. The intra-orchard spatial distribution of diapausing larvae is closely related to the landscape, with aggregations at the center of orchards with hedges and at the ends of orchards without hedges. All studied varieties are susceptible to codling moth attacks. The rates of fruit infestation varied by species, cultivar, training system, and tree canopy. The most sensitive cultivars are Golden Delicious, Golden Smoothie, and Royal Gala for apple and Santa Maria and cascade for pear. In a second step, we demonstrated the insecticidal effect of *A. herba-alba*'s essential oil in last-stage larvae, which resulted in a CL50 of 13,49 and 04,45 $\mu\text{l L}^{-1}$ air at 24 and 48 h, respectively. The TL50 values at the lowest oil concentrations (01,81 $\mu\text{l L}^{-1}$ air) and the highest (18,18 $\mu\text{l L}^{-1}$ air), were respectively 59,35 and 19,52 hours. The main results of this thesis allowed us to describe the phenology and dynamics of codling moth in a diverse environment. However, some research questions need to be clarified in order to elucidate all the mechanisms involved in the codling moth - habitat relationship.

Keywords: Spatial dynamics, Codling moth, Apple tree, Pear tree, Damage, Biological control, Sidi Bel Abbes.

المخلص

L. (Lepidoptera: Tortricidae) *Cydia pomonella* إحصاء وأضرار عثة التفاح وال إجاص

في منطقة سيدي بلعباس

في هذه الأطروحة، قمنا بتغطية العديد من جوانب ديناميكيات كاربوكابس التفاح والإجاص. أولاً، قمنا بفحص: الأصل الجيني للمجموعات المحلية، ديناميكية البالغين وأثار نظام إدارة المزارع والأصناف، التوزيع المكاني داخل البساتين لأعداد اليرقات وتأثير المشهد الزراعي، تقييم تلف الفاكهة وأثار نظام الإدارة والأصناف واتجاه الأشجار. ثانياً، في المختبر، عالجت الكفاءة البيولوجية للزيت الأساسي لنبته الشيح. أجريت هذه الدراسة، عامي 2018 و2019، في 72 بستان تفاح وإجاص تقع في أربعة مواقع إنتاج هامة في منطقة سيدي بلعباس: سهالة الثورة، سيدي لحسن، الطابية وتنيرة. أولاً، حددنا، لأول مرة في شمال إفريقيا والجزائر، تسلسل الرمز الشريطي للحمض النووي لـ *C. pomonella*، مع وجود نمطين لفردين محليين. في المنطقة، يتطور الكاربوكابس على ثلاثة أجيال وجيل رابع جزئي. سجلنا تأثير المجموعات البالغة بهيكل تنوع الأصناف ونظام التسيير والمشهد الزراعي للبساتين. يرتبط التوزيع المكاني لليرقات التي في حالة سبات داخل البستان ارتباطاً وثيقاً بالمشهد الزراعي، حيث تتمركز في وسط البساتين ذات المصدات وعلى جوانب البساتين الخالية من المصدات. جميع الأصناف المزروعة في المنطقة عرضة لهجمات الحشرة. تباينت معدلات الإصابة حسب الأنواع، الأصناف، نظام الإنتاج ودرجة إتجاه الأشجار. الأصناف الأكثر عرضة للإصابة بالنسبة لشجرة التفاح هي Golden Delicious، Golden Smoothie وRoyal Gala، أما بالنسبة لشجرة الإجاص فهي Santa Maria وCascade.

في خطوة ثانية، أظهرنا تأثير الزيت الأساسي لنبته الشيح كمبيد حشري على يرقات الطور الخامس لعثة التفاح، مع CL50 لـ $13,49 \mu\text{L d}^{-1} \text{air}$ و $04,45$ لمدة زمنية 24 سا و 48 سا على التوالي. LT50 للتركيز الأدنى $01,81 \mu\text{L}$ و $18,18 \mu\text{L d}^{-1} \text{air}$ والأعلى $59,35$ و $19,52$ على التوالي، سمحت لنا النتائج الرئيسية لهذه الأطروحة بوصف فينولوجيا وديناميكيات الكاربوكابس في بيئة متنوعة. غير أنه يلزم توضيح بعض الأسئلة البحثية بغية تبين جميع الآليات التي تنطوي عليها علاقة الكاربوكابس بالبيئة.

الكلمات المفتاحية: ديناميكيات، عثة التفاح والإجاص، شجرة التفاح، شجرة الإجاص، خسائر، مكافحة بيولوجية،

سيدي بلعباس.

Introduction

Introduction

Le pommier et le poirier sont les arbres fruitiers les plus cultivés dans les régions tempérées du monde (Chouinard et al., 2000 ; Quinet, 2013). La production mondiale des pommes est estimée à 86 millions de tonnes. Quant à la production mondiale de la poire, moins importante que celle des pommes, a atteint 23.7 millions de tonnes en 2018 (FAOSTAT, 2019). Quant- à l'Algérie, ces deux espèces fruitières occupent une superficie respective de 38 842 ha avec 22 651 ha, avec des productions de 5,59 et 2,23 millions de qx (MADR, 2020). Dans le nord ouest Algérien, la région de Sidi Bel Abbès est la plus importante zone productrice de pommes et de poires avec en 2020 une production totale de 183 950 qx de pommes et de et 35 250 qx de poires, avec des rendements respectifs de 13 et 7,5 t /ha (DSA, 2020). Les rendements nationaux sont faibles (11 à 16 t/ha) par rapport aux moyennes internationales (30 à 50 t/ha) (Chaouia et al., 2003). Cette faiblesse peut être attribuée, entre autres, au mauvais contrôle des bioagresseurs majeurs (Guettala Frah, 2009).

Parmi les insectes ravageurs, le carpocapse *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera : Tortricidae) est considéré comme étant un ravageur clé des vergers de pommiers et de poiriers dans le monde (Beers et al., 1993 ; Dorn et al., 1999 ; McGuffin et al., 2014 ; Reyes et al., 2015). C'est un ravageur polyphage dont les larves se développent uniquement dans les fruits (Audemard, 1991), et pouvant entraîner des pertes de production des pommes dépassant les 80% (Ciglar, 1998 ; Welter, 2006 ; Graora et Jerinić-Prodanović, 2005) et peuvent atteindre 100% dans les vergers biologique (Beers, 2003). Le nombre de générations de *C. pomonella* varie d'une région à l'autre selon la durée de la saison, la température et la disponibilité alimentaire (Stoeckli et al., 2012 ; El Iraqui et Hmimna, 2016).

A titre indicatif, *C. pomonella* développe trois à quatre générations au Maroc (El Iraqui et Hmimna, 2016 ; El Idrissi, 1980), deux à trois en France (Ricci, 2009) et seulement deux générations par an en Sloveie (Dariž et al., 2017). En Algérie, dans les régions centre et est, il développe deux à quatre générations par an (Soltani et al., 1986 ; Messaoudi, 1997 ; Chafaa, 2008, Guermah et Medjoub-Bensaad, 2018). Quant à la région ouest, l'unique référence disponible, indique deux générations par an dans la région de Tlemcen (Frezal, 1939). En effet c'est dans cette région qu'il fut signalé pour la première fois par Delassus et al. (1930), puis confirmé par Frezal en 1939. Cependant l'origine des populations Algériennes n'a jusqu'ici jamais été précisée.

La lutte chimique est la méthode la plus fréquemment utilisée pour lutter contre le carpocapse des pommes et des poires dans le monde. D'après Sanchez et al. (2001) et Gautier (2001), cette lutte consiste principalement à détruire les œufs ou les larves néonates avant leurs pénétrations dans les fruits. Une fois dans les fruits, l'utilisation des insecticides de synthèse devient inutile et infructueuse. En Algérie, la lutte contre ce ravageur clé est exclusivement chimique, avec 48 spécialités chimiques homologuées par l'institut national de la protection des végétaux (I.N.P.V, 2017). Le déclenchement des traitements phytosanitaires au niveau des vergers fruitiers, contre les premières générations, s'effectue annuellement sur la base d'avertissement agricole établi par les différentes stations régionales de l'I.N.P.V. Ces dernières tiennent compte des seuils de captures (6 adultes/pièges/semaine) des adultes par les pièges à phéromones mis en place dans des vergers de référence.

Les pratiques agricoles actuelles restent dépendantes de l'utilisation intensives des pesticides chimiques (Campos, 2016), qui représentent un enjeu économique mais aussi sanitaire majeur (Lee et al., 2004 ; Jokanovic, 2018). Cependant, ce mode de contrôle agit négativement sur la conservation de la biodiversité (MacLaughlin, 1995 ; Geiger et al., 2010). De plus, il a été prouvé que l'utilisation massive des pesticides a fait apparaître des phénomènes de résistance, notamment aux néonicotinoïdes, à l'azinphos-méthyl et au tébufénozide, au stade larvaire post-diapause (Gullino et al., 2000 ; Sauphanor et al., 2000 ; Reyes et al., 2015 ; Reyes et al., 2007). Dans la région de Sidi Bel Abbès, les vergers de pommiers et de poiriers sont exclusivement conduits en agriculture conventionnelle. La lutte chimique contre le carpocapse y est intense, avec 7 à 14 traitements, par saison, respectivement dans les vergers extensifs et intensifs.

Depuis plusieurs années, les travaux de recherche, visant les bio agresseurs clés des vergers se sont orientés vers le développement de solutions et de stratégies de protection alternatives aux pesticides de synthèse. Ainsi différentes méthodes ont été ainsi développés pour lutter contre les populations du carpocapse dans les vergers. En lutte raisonnée, des formulations à base d'agents microbiologiques comme le virus de la granulose (CpGV) et à base de la bactérie *Bacillus thurengiensis* (*Bt*), sont principalement utilisées contre les populations larvaires. Cependant, pour le premier agent, des phénomènes de résistances au champ ont été signalé notamment en Allemagne et en France (Sauphanor et al., 2006 ; Sauer et al., 2014).

Pour le second, son utilisation est limitée par l'improbabilité d'être ingéré par les larves néonates lors de la pénétration dans le fruit (Lacey et Unruh, 2005). A titre indicatif, parmi les 49 insecticides homologués en Algérie contre le carpocapse, figure un seul produit biologique à base de Bt (Dipel DF).

En revanche, la confusion sexuelle, qui consiste à saturer l'air ambiant du verger de phéromones sexuelles synthétiques, a prouvé son efficacité mais son utilisation est limitée à cause de l'étendue des vergers qui nécessitent par conséquent, de grande quantité de phéromone, par conséquent, elle est coûteuse (Thomson et al., 2001). La lutte raisonnée a ensuite évolué par étape vers la protection intégrée (IPM : Integrated Pest Management), par la diversification des méthodes de lutte sélective, l'amélioration des méthodes de surveillance et la sélection de variétés résistantes ou moins sensibles aux attaques des ennemis-clés des vergers (Audemard, 1988). Cette méthode a encouragé la lutte biologique, bien que cette dernière ait un coût élevé, reste inefficace au niveau d'une infestation importante de carpocapse et ne prend pas en compte l'agro-écosystème dans son ensemble (Lucas, 2007).

Il semble donc nécessaire de dépasser la réflexion portant uniquement sur la lutte pour viser plutôt la protection des cultures par une réelle intégration du fonctionnement écologique de l'agro-écosystème fruitier (Ricci, 2009). C'est pourquoi récemment, un nouveau concept de lutte à vue le jour dans les vergers fruitiers en Europe. Il s'agit du concept de la production fruitière intégrée ou PFI. Ce concept exploite l'ensemble des méthodes de lutte et vise une gestion durable et performante des vergers dans un souci de préservation de l'environnement, de la santé humaine, de la rentabilité économique et des potentialités d'exportation des productions fruitières, en minimisant les effets secondaires nocifs des pesticides (Aubertot et al., 2005 ; Laget et al., 2015). Synthétiquement, l'utilisation d'une ou de plusieurs méthodes de lutte, doit permettre de maintenir les populations du carpocapse à un niveau économiquement acceptable, sans effet néfastes sur la biodiversité (van den Bosch et al., 1971 ; Sansavini, 1997). Cette approche, nouvelle en Algérie, fait l'objet d'un projet PRFU (Projet de Recherche Formation- Universitaire). La thématique du projet, porte sur la « Conception de systèmes de Production Fruitière Intégrée (PFI) dans les vergers arboricoles du Nord-Ouest Algérien ».

Ledit projet associe les équipes deux laboratoires de recherche de la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'université de Mascara : le laboratoire de recherche sur les systèmes biologiques (LRSBG) et le laboratoire de recherche en géo-environnement et développement des espaces (LGEDE). Il intègre des aspects liés aux changements climatiques, à l'écologie, l'agronomie et la géomatique.

Le programme de recherche a comme perspective à terme de proposer aux arboriculteurs une stratégie de gestion intégrée des vergers en considérant les facteurs climatiques et agro écologiques affectant l'interaction du système pommier-ravageurs clés. C'est dans ce contexte donc que s'inscrit la présente thèse portant sur la dynamique spatiale et des dégâts de *C. pomonella* L. dans la région de Sidi Bel Abbès.

La conception de nouvelles stratégies pour la protection des cultures exige de prendre en compte les facteurs qui influencent la dynamique des populations des ravageurs et leur cycle de vie, même si leurs effets sont seulement temporaires. Parmi ces facteurs le paysage pourrait avoir un effet pour la dynamique des populations des ravageurs (Wiegand et al., 1998 ; Holzschuh et al., 2008 ; Ricci, 2009). D'autant plus que la dynamique des populations des bioagresseurs résulte des interactions dynamiques avec l'environnement, qui se produisent au cours du temps et dans l'espace, à l'échelle de la parcelle et du paysage (Gaba et al., 2014).

La complexité du paysage a souvent été considérée comme un déterminant majeur de la répartition des espèces, notamment les insectes ravageurs et auxiliaires. Cette complexité peut s'exprimer en termes de composition mais également en termes de structure, et donc elle peut limiter ou faciliter les mouvements des ravageurs en fonction de leurs capacités de dispersion (Burel et Baudry, 1999 ; Farhig et al., 2011). Ce qui rend nécessaire la prise en compte de l'hétérogénéité du paysage lors des études sur les populations de ravageurs (Ricci et al., 2013). Une compréhension de base de la dynamique spatiale et de la dispersion des populations des ravageurs est donc nécessaire pour la mise en œuvre d'une stratégie de protection intégrée (Vreysen et al., 2007, Koul et al., 2008). L'étude de la dynamique spatiale des ravageurs, nécessite, entre autres, la prise en compte de l'impact des applications répétées d'insecticides visant à réduire les effectifs de populations (Ricci, 2009 ; Bianchi et al., 2006).

La dispersion des populations de ravageurs peut s'élaborer à des échelles diverses, d'abord à l'échelle de la parcelle puis à l'échelle du groupe de parcelles ou inter site et enfin à l'échelle de la région (Meynard et al., 2003).

Au cours des dernières décennies, et avec l'avancement de la une modélisation, des recherches se sont intéressées à l'étude des populations par l'intégration des variables spatiales. Une compréhension de base de la dispersion spatiale et temporelle des populations des ravageurs est donc nécessaire pour la mise en œuvre d'une stratégie de protection intégrée (Debouzie et Thioulouse, 1985 ; Vreysen et al., 2007, Koul et al., 2008).

Pour le cas du carpocapse, bien qu'il soit possible de décrire la dynamique du vol par le biais du piégeage attractif, il est presque impossible de déterminer la taille réelle de la population des adultes de chaque verger, étant donnée la dispersion et la migration entre les vergers à l'échelle locale comme régionale, par contre cela est possible pour les larves diapausantes étant donné qu'elles proviennent du même verger (Ricci 2009). En effet, l'évaluation de la dynamique ou la dispersion des adultes à l'échelle du paysage nécessite l'exploitation de techniques modernes telles que celle des marqueurs moléculaires (Tyson et al., 2007 ; Franck et al., 2007 ; Basoalto et al., 2010). C'est pourquoi, dans la présente thèse, on s'intéresse, entre autres, à l'étude de la dynamique des adultes par le biais de la technique du piégeage attractifs mixtes (phéromone-kairomone) et à la dispersion spatiale des larves diapausantes du carpocapse par l'utilisation des bandes pièges et l'exploitation de la technique de modélisation, en considérant le paysage du verger.

Très peu de travaux ont été réalisé sur la dynamique spatiale des populations de *C. pomonella* à travers le monde (Ricci,2009 ; Basoalto et al. 2010). En Algérie, les principaux travaux réalisés n'ont porté que sur des aspects liés à la bio-écologie (Sellami, 1979 ; Chafaa, 2008 ; Brahim et al., 2013 ; Guermah et Medjdoub Bensaada, 2018). C'est pourquoi, l'objectif global de cette thèse consiste à développer les connaissances sur ce ravageur clé des vergers du nord-ouest Algérien avec pour optique la conception de système de production fruitière performant et durable. Pour la première fois, des analyses et méthodes nouvelles sont utilisées dans cette étude, en particulier l'analyse moléculaire, l'utilisation de la technique du piégeage attractif mixte des adultes, l'exploitation des systèmes d'information géographique (SIG) et l'exploitation de la composante du paysage.

Vis à vis de notre objectif global nous avons décliné les objectifs spécifiques suivants :

Dans un premier temps il s'agit de :

1. Déterminer l'origine génétique des populations locales du carpocapse par le biais du séquençage de l'ADN et de là l'analyse moléculaire d'un échantillon de 40 larves diapausantes, collectées dans les différents vergers de pommiers de la région d'étude (Sidi Bel Abbès).
2. Préciser la phénologie du carpocapse dans les vergers de pommiers et de poiriers et évaluer l'effet du système de conduite des vergers (intensifs et extensifs) et de la structure variétale sur la dynamique du vol, en exploitant la technique du piégeage attractif mixte (phéromone-kairomone).
3. Modéliser et évaluer l'effet du paysage en bordure sur la dispersion spatiale intra verger des larves diapausantes, en utilisant, entre autres, les techniques du SIG.
4. Quantifier les dégâts des larves de la première génération et évaluer les effets du système de conduite des vergers et de l'orientation des arbres sur les taux d'infestation.
5. Dans un second temps, il s'agit d'évaluer l'efficacité biologique, au laboratoire, de l'huile essentielle de l'armoise blanche *Artemisia herba alba* sur les populations larvaires du dernier stade (L5) en déterminant sa composition chimique et sa toxicité par fumigation.

Afin de répondre aux objectifs précédents, la thèse est structurée en cinq chapitres :

Le premier chapitre est dédié aux caractéristiques des modèles biologiques étudiés : *Malus domestica* Borkh., *Pyrus communis* L. et *Cydia pomonella* L. Un aperçu est donné sur les caractéristiques botaniques et écologiques des deux plantes hôtes, puis il est question des aspects bioécologiques du carpocapse avec un accent sur les méthodes de lutte et la stratégie de protection intégrée visant ce ravageur clé des vergers fruitiers.

Le second chapitre s'intéresse à la dynamique spatiale des bioagresseurs à l'échelle du paysage et des agro systèmes. Il est notamment question des facteurs influençant la dynamique spatiale des bio agresseurs, en insistons sur les mécanismes et paramètres qui la régit. Ensuite il est question du processus de dispersion des ravageurs et des déterminants

environnementaux qui affectent leur dynamique., en mettons l'accent la notion du paysage et la relation dégâts-effectifs.

Le troisième chapitre est consacré à présentation de la zone d'étude et la méthodologie. Dans un premier temps il est question de la présentation de la zone d'étude, en insistant sur les caractéristiques des sites expérimentaux et les paramètres climatiques. Il est ensuite question de la description des matériels et méthodes généraux aux différentes études. L'ensemble des méthodes d'analyses statistiques et d'exploitations des résultats y sont également développées.

Le quatrième chapitre est consacré aux résultats obtenus dans les différentes études. D'abord ceux relatif à l'identification moléculaire de *C. pomonella*, puis ceux de l'étude de la dynamique et de la dispersion spatiale intra verger des populations adultes et larvaires. Ensuite sont exposés les résultats relatifs aux dégâts des larves et à l'étude de la toxicité de l'huile essentielle de l'armoise blanche sur les larves L5. Les résultats obtenus dans ce travail sont présentés (en annexe) sous forme de communication (nationale et internationale) ou d'articles scientifiques acceptés.

Enfin, un cinquième chapitre est consacré à la discussion des résultats obtenus. D'abord il est question de l'identification moléculaire et du séquençage des codes-barres ADN des populations larvaires de *C. pomonella* issue de la zone d'étude. Puis suivie par une discussion approfondie de la dynamique spatio-temporelle des adultes et de la dispersion spatiale intra verger des effectifs des larves diapausantes. Ensuite il est question des dégâts engendrés par les larves de la première génération sur les pommes et poires et enfin il est discuté l'effet insecticide de l'huile essentielle d'*A. herba alba* sur les larves L5.

A l'issue de quatre chapitres, la conclusion générale synthétisera les principaux acquis de cette thèse et des perspectives de recherche.

CHAPITRE I.

Caractéristiques des modèles biologiques

études :

***Malus domestica* L., *Pyrus communis* L. et**

***Cydia pomonella* L.**

CHAPITRE I. Caractéristiques des modèles biologiques étudiés : *Malus Domestica* Borkh., *Pyrus Communis* L. Et *Cydia Pomonella* L.

Dans le présent chapitre, il est question de la présentation des plantes hôtes, le pommier et le poirier et du carpocapse des pommes et des poires. Plusieurs aspects y sont exposés, d'abord un aperçu est donné sur les caractéristiques botaniques et écologiques des deux plantes hôtes. Il est ensuite question des aspects bioécologiques du carpocapse. Enfin brièvement, un accent est mis sur les méthodes de lutte et la stratégie de protection intégrée visant ce ravageur clé des vergers fruitiers.

1.1. Le pommier et le poirier cultivé

1.1.1. Origine et aire de culture

Le pommier est originaire du Caucase et d'Asie mineure (Vavilov, 1930). Par la suite, il a été introduit en Europe et en Afrique du nord par les romains et les Grecs (Giraud et al., 2014). Le pommier cultivé est considéré comme un hybride interspécifique, généralement désigné par *Malus x domestica* Borkh (Korban et Skirvin, 1984). Des études paléontologiques ont révélé la présence du genre *Malus* dans la période tertiaire (Challice et Westwood, 1973). Selon les botanistes Robinson et al. (2001) et Luby (2003), le genre *Malus* compterait entre 8 à 78 espèces, groupées en sections (*Malus*, *Sorbomalus*, *Eriobolus*, *Docyniopsis*, et *Chloromeles*) et en séries comme *Malus* et *Baccata* qui composent la section *Malus* (Luby, 2003). *Malus x domestica* reste la dénomination de référence dans la base de données taxonomiques du N.C.B.I (*National Center for Biotechnology Information*) et là plus utilisée actuellement (Qian et al., 2010). Il existerait environ 6000 variétés de pommes, dans le monde (Tonelli et Gallouin, 2013).

Quant au poirier, il est originaire des régions tempérées d'Europe et d'Asie (Brahem, 2017). On le rencontre depuis la pointe du Finistère en France jusqu'aux confins de la frontière sibéro-chinoise (Scribe, 1999). Il existe plusieurs espèces de poirier, parmi lesquelles les espèces occidentales et les espèces orientales. Ces dernières sont cultivées principalement en Asie y compris la Chine, la Corée et le Japon. Les espèces *Pyrus bretschneideri*, *Pyrus ussuriensis*, *Pyrus pyrifolia* et *Pyrus sinkian* représentent les principales espèces orientales (Cui et al., 2005).

Quant-au poirier occidental ou européen, représenté par l'espèce *Pyrus communis* L., il est cultivé dans cinq régions du monde à savoir l'Europe, l'Amérique du Nord, l'Amérique du Sud, l'Afrique et l'Océanie (Silva et al., 2014). Le nom « Pyrus » dérive de la forme de son fruit, comme une flamme (pyromane) (Bretaudeau et Faure, 1991).

1.1.2. Caractéristiques biologiques

Le pommier et le poirier appartiennent à l'ordre des rosales et à la famille des rosacées. Les genres *Malus* et *Pyrus* appartiennent respectivement aux sous familles des Maloïdés et des Pomoïdées (Vieira et al., 2007 ; Harris et al., 2002). Selon Guiheneuf (1998) et Lafaon et al. (1996), la classification botanique du pommier et du poirier est la suivante :

Espèce	Pommier	Poirier
Embranchement :	Spermaphytes	Spermaphytes
Sous Embranchement :	Angiospermes	Angiospermes
Classe :	Dicotylédones	Dicotylédones
Sous class :	Dialypétales	Dialypétales
Ordre :	Rosales	Rosales
Famille :	Rosacées	Rosacées
Sous famille :	Maloïdeae	Pomoïdées
Genre :	Malus	Pyrus
Espèce :	<i>Malus domestica</i> (Borkh.)	<i>Pyrus communis</i> L.

Les pommiers peuvent atteindre une hauteur de 6 à 10 mètres (Bretaudeau, 1978). Néanmoins leur taille et leur longévité peuvent être également déterminées par le génotype du greffon et du génotype du porte-greffe (Pratt, 1990). Le poirier, par contre, est un arbre de taille moyenne, pouvant atteindre 2,5 à 8 mètres de hauteur (Giraud et al., 1996). Pour les deux espèces, les dates de la floraison s'étalent de fin mars à fin mai dans l'hémisphère nord, elles dépendent des variétés, des conditions climatiques et des localités (Le Lezec et Thibault, 1986).

En effet les différentes variétés, fleurissent entre 6 et 20 jours, selon leur précocité, bien que l'échelonnement de la floraison soit relativement court, la maturité des fruits peut s'étaler sur plusieurs mois. Le fruit, sujet aux attaques du carpocapse, est une drupe à mésocarpe charnu, à endocarpe cartilagineux formé de 2 à 5 loges pour le poirier et 5 loges pour le pommier (Bretaud, 1978).

Sur le plan phénologique, plusieurs étapes se succèdent lors de la croissance et de la mise en place du fruit. Les figures 1 et 2 ci-dessous, illustrent la succession des stades repères du pommier s et du poirier (Bloesch et Viret, 2013).

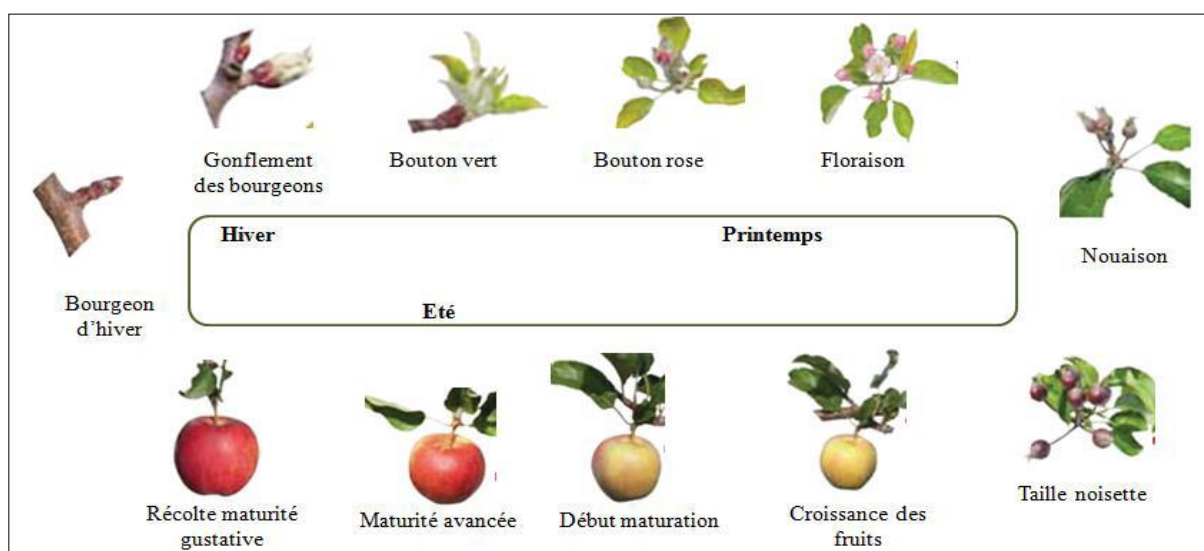


Figure 1. Stades phénologiques du pommier (variété Gala) (Bloesch et Viret, 2013).

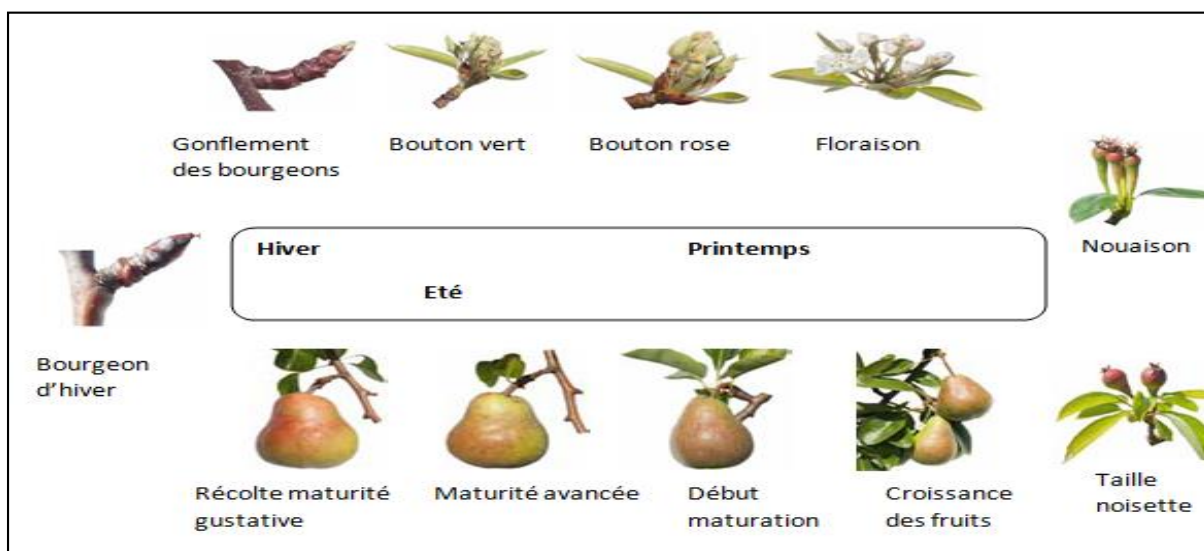


Figure 2. Stades phénologiques du poirier (variété William's) (Bloesch et Viret, 2013).

A titre indicatif, dans la région de Sidi Bel Abbès la floraison du poirier s'échelonne de fin mars à mi-avril. La nouaison et la maturité ont lieu à la mi-avril et à la mi août pour la variété Santa maria et au début septembre pour les variétés Eliote et Cascade. Pour le pommier, la floraison s'échelonne de la mi-mars à la mi-avril et la nouaison a lieu à partir de la mi-avril. Les variétés précoces (Gala) mûrissent début août et celles tardives plus tard en septembre (Golden) et en octobre (Granny Smith, Fuji).

L'apparition et la succession des différents stades phénologiques est principalement déterminée par les variations saisonnières du climat et les caractéristiques des variétés cultivées. La connaissance de la phénologie ne se limite pas seulement aux aspects botaniques, mais peut constituer un atout incontournable dans la protection des cultures. En effet, la confrontation de la phénologie des cultures avec celle de la dynamique des principaux ravageurs à l'échelle d'une zone de production ou d'un verger peut largement contribuer à la mise en place d'une stratégie de lutte rationnelle.

1.1.3. Exigences agro écologiques

La culture du pommier et du poirier s'étend dans toutes les zones tempérées du monde (Bretaudeau, 1978 ; Guiheneuf, 1998 ; Chouinard et al.,2000). Les deux espèces fruitières nécessitent une longue période de repos végétatif pour la satisfaction des besoins en froid. Ces derniers sont de l'ordre de 800 à 1600 h/an pour le pommier et 1200 à 1500 h/an pour le poirier, en dessous de 7,2°C (Trillot et al., 2001 ; Walali et Skiredj, 2003). Des températures moyennes de 15°C sont suffisantes pour leurs floraisons et leurs fructifications (Gautier, 2001). L'éclairement est également nécessaire pour l'assimilation chlorophyllienne, le développement et la coloration des fruits (Gautier, 2001).

Leurs besoins diffèrent selon l'âge de l'arbre, les conditions climatiques et l'objectif de production. Selon Guiheneuf (1998) et Oukabli (2004), le pommier a besoin de 600-700 mm/ha d'eau à partir de la période de végétation (débourrement) jusqu'à la maturation des fruits. Alors que le poirier ne nécessite que 250-300 mm/ha de pluie durant les mêmes phases précitées (Gallet, 2000).

Sur le plan édaphiques, les deux espèces s'accommodent à une gamme de sol très variée, ayant des capacités de conservation de l'humidité et qu'ils soient bien drainés (Gautier, 2001).

En effet l'excès d'eau peut causer une asphyxie racinaire (Bretaudeau et Faury, 1991). Les sols limoneux fertiles ou silico-argileux, argileux-sableux profonds leurs sont ainsi favorables, avec un pH neutre ou légèrement acide (6,5-7,5).

1.1.4. Importance économique

La pomme fait partie des quatre principaux fruits produits dans le monde, après les agrumes, les raisins et les bananes. Selon la F.A.O, en 2018, la production mondiale des pommes est estimée à 86 millions de tonnes dont 52% par la Chine (44 millions de tonnes), 20% par l'Union Européenne et seulement 3% par l'Afrique (FAOSTAT, 2019). Quant à la production mondiale de poires, moins importante que celle des pommes, elle a connu une régression pour atteindre 23,7 millions de tonnes en 2018 (FAOSTAT, 2019). La Chine, comme pour les pommes, est le premier pays producteur de poires dans le monde avec 17 millions de tonnes (soit 72% de la production mondiale) suivie par l'Italie et par les Etats-Unis (FAOSTAT, 2019). Les variétés cultivées dans le monde restent dominées par les variétés unicolores jaunes, rouges et vertes de type Golden Delicious, Delicious Rouges, Granny Smith, mais ces dernières années, un intérêt grandissant s'observe pour les variétés bicolores de type Gala, Fuji, Braeburn, Jonagold et Cripps Pink, ces variétés étant très appréciées par les consommateurs (Massonnet, 2004).

L'Algérie quant- à elle, est le 1^{er} pays Maghrébin producteur de pommes et le 2^{eme} en Afrique après l'Afrique du sud. La culture de pommier y occupe une superficie de 38 842 ha dont 32989 ha en rapport avec une production de 5,59 millions de qx en 2019 (Tab.1). Pour ce qui est de la culture du poirier, elle occupe une superficie de 22 651 ha dont 20 240 ha en rapport avec une production de 2,23 millions de qx en 2019 (Tab.2). La production des pommes et des poires est destinée principalement au marché local. Les cultures extensives et intensives de ces deux rosacées se rencontrent essentiellement dans le nord de l'Algérie, notamment à l'Est dans les wilayas de Khenchla, Batna, Skikda et Sétif, au centre à Médéa, Blida, Ain defla et Tissemsilet et enfin à l'ouest à Sidi Bel Abbès, Tlemcen et Mostaganem (MADR, 2020). Dans ces zones suscitées, se trouvent la plupart des variétés cultivées dans le bassin méditerranéen, du moins celle qui conviennent au climat Algérien. En effet environ 30 variétés de pommiers ont été autorisées à la production et à la commercialisation dont les plus cultivées actuellement seraient : Golden Delicious (80%), Starkrimson, Red Spur et Richard. Quant-au poirier, il compte au moins 15 variétés dont les plus fréquentes seraient Santa Maria, Williams Rouge et Dr Jules Guyot (INRAA,2006).

Tableau 1. Evolution de la production des pommes en Algérie, pour la période 2010-2019.

Année	Superficie (ha)		Production (qx)	Rendement (qx/ha)
	Complantées	En rapport		
2010	52 419	39 852	3786367	95,01
2011	51 080	40 978	4 041 050	98,61
2012	48 828	40 858	3 975 290	97,29
2013	48 064	41 030	4 559 372	111,12
2014	46 830	40 418	4 628 150	114,50
2015	47360	41 011	4 514 717	110,08
2016	46070	40 312	5 008547	124,24
2017	44620	39115	4 942388	126,35
2018	39031	33 653	4 878081	144,95
2019	38842	32989	5588297	169,38

(Source : MADR, 2020)

Tableau 2. Evolution de la production des poires en Algérie, pour la période 2010-2019.

Année	Superficie (ha)		Production (qx)	Rendement (qx/ha)
	Complantées	En rapport		
2010	32744	24649	2 342 763	95,04
2011	32251	25743	2 331465	90,56
2012	30351	25075	2 111906	84,22
2013	30179	25272	2 407088	95,24
2014	29332	25264	2 281142	90,29
2015	29416	25059	2 553438	101,89
2016	27172	24458	2 119500	86,65
2017	26093	23345	2 369818	101,51
2018	22592	20667	2 001760	96,85
2019	22651	20240	2 234673	110,40

(Source : MADR, 2020)

L'examen des deux tableaux ci-dessus, indique que la superficie consacrée à ces deux espèces fruitières a connu une nette diminution à partir de 2010. Par contre, une nette évolution des rendements est observée. En effet le rendement pour le pommier et le poirier est passé de 95 qx/ha en 2010 à respectivement 169,4 et 110,4 qx/ha en 2019. Cette évolution est à la faveur, entre autres, du développement de la production fruitière intensive et à l'amélioration de la conduite culturale, notamment dans les zones potentielles de production. Néanmoins en contrepartie, cela a accentué l'usage des insecticides de synthèse dont les effets sur l'environnement demeurent peu ou pas évalués.

Pour ce qui est de la région de Sidi Bel Abbès, elle est considérée comme étant l'une des principales zones de production des pommes en Algérie. La culture y occupe une superficie totale de 2 482 ha (2020), soit 6.3 % du potentiel national. En 2020, la production était de 183 950 qx, avec un rendement moyen de 130 qx/ha (D.S.A, 2020) (Tab.3). Quant à la culture du poirier, moins importante, occupe une superficie de 858,25 ha dont 470 ha en production. La production enregistrée en 2019 était de 35250 qx pour un rendement moyen ne dépassant pas les 75 qx/ha(Tab.4) (D.S.A, 2020).

Tableau 3. Evolution de la production des pommes dans la willaya de Sidi Bel Abbès, pour la période 2009-2020.

Année	Superficie (ha)		Production (qx)	Rendement (qx/ha)
	Complantées	En rapport		
2009	1695,50	1083,00	72379,50	66,83
2010	1696,00	1080,00	72360,00	67,00
2011	1581,00	1241,00	106500,00	85,81
2012	1576,00	1395,00	142400,00	102,07
2013	1544,00	1398,00	139800,00	100,00
2014	1541,00	1401,00	140069,00	99,97
2015	1508,00	1398,00	97500,00	69,74
2016	1516,50	1152,50	142830,00	123,98
2017	1844,00	1398,00	140000,45	100,14
2018	2083,00	1400,00	142 050,00	101,46
2019	2405,50	1415,00	141550,00	100,03
2020	2482,00	1415,00	183950,00	130,00

(Source : D.S.A, 2020)

Tableau 4. Evolution de la production des poires dans la wilaya de Sidi Bel Abbès, pour la période 2014-2020.

Année	Superficie (ha)		Production (qx)	Rendement (qx/ha)
	Complantées	En rapport		
2009	525,00	253,61	21425,00	84,48
2010	525,00	236,00	15600,00	66,10
2011	552,00	349,00	20800,00	59,59
2012	523,00	415,00	21600,00	52,04
2013	516,00	432,00	30240,00	70,00
2014	524,00	433,00	30293,00	69,96
2015	515,00	432,00	28000,00	64,81
2016	548,50	431,75	37660,50	87,22
2017	578,75	432,00	30401,25	70,37
2018	668,25	469,50	32900,00	70,07
2019	890,75	470,00	33000,00	70,21
2020	958,25	470,00	35250,00	75,00

(Source : D.S.A, 2020)

Dans la région de Sidi Bel Abbès, un intérêt grandissant est noté pour la culture du pommier ces dernières années, compte tenu de sa rentabilité économique et de son bon comportement dans la zone. En effet, l'on assiste au développement des cultures intensives palissées dont la conduite culturale s'est améliorée, ce qui s'est traduit par l'amélioration des rendements. Quant- au poirier, peu vigoureux par rapport au pommier, étant soumis à l'alternance de la production, il attire peu les producteurs locaux.

1.1.5. Principaux bioagresseurs du pommier et du poirier

Le pommier et le poirier sont sujets à diverses attaques de maladies et de ravageurs qui occasionnent des dégâts importants et limitent par conséquent leurs productions dans les zones à climat méditerranéen (voir Tab.1, annexe 1).

En Algérie, parmi les principaux ravageurs, on peut citer : le carpocapse des pommes et des poires *Cydia pomonella* L., le puceron lanigère *Eriosoma lanigerum* Hausmann, le puceron cendré *Dysaphis plantaginea* Passerini (Hemiptera : Aphididae), l'acarien jaune *Tetranychus urticae* Koch, l'acarien rouge *Panonychus ulmi* Koch (Acari : Tetranychidae) et le psylle commun de poirier *Psylla piri* L. (Homoptera Psyllidae) (Soltani et al., 1986 ; ITAF, 2010 ; Guettala Frah, 2009 ; Guermah, 2019).

Grâce au recoupement d'informations recueillis sur le terrain et auprès des structures phytosanitaires locales, les ravageurs, précédemment cités, sont prédominants dans la région de Sidi Bel Abbès, auxquels s'ajoutent d'autres espèces ayant un intérêt économique certain dans la région, il s'agit notamment du pou de San José *Quadraspidiotus perniciosus* Comstock (Hemiptera : Coccidae) et de la mouche méditerranéenne *Ceratitis capitata* Wiedmann (Diptera : Tephritidae). Toutefois, le carpocapse est reconnu comme étant le ravageur clé des vergers fruitiers en Algérie et notamment dans la région de Sidi Bel Abbès. Il a pris de l'ampleur ces dernières années en raison du développement des vergers, en particulier ceux des pommiers intensifs.

1.2. Carpocapse des pommes et des poires *Cydia pomonella* L.

1.2.1. Aperçue historique et position systématique

Le carpocapse des pommes et des poires est originaire d'Eurasie, zone d'origine du pommier domestique (Geibel et al., 2000 ; Harris et al., 2002 ; Mills, 2005 ; Pajac et al., 2011 ; Fernández et al., 2010). Il s'est dispersé dans le monde avec la propagation du pommier et du poirier en adaptant son cycle de vie aux conditions climatiques et trophiques (Franck et al., 2007 ; Audemard et al., 1990). C'est l'une des espèces d'insectes la plus nuisible dans le monde (Thaler et al., 2008). Actuellement, ce ravageur est présent en Amérique du nord et du sud, en Afrique du nord et du sud, en Asie, dans le Sud de la Sibérie, en Europe (tous les pays), en Australie et dans la Nouvelle-Zélande (Franck et al., 2007) (Fig. 3). En raison de sa large répartition géographique, le nom scientifique de *Cydia pomonella* a été décrit sous différents noms : *Phalaena pomonella*, *Phalaena pomonana*, *Pyralis pomana*, *Phalaena aeneana*, *Carpocapsa putaminana*, *Carpocapsa simpsoni*, *Enarmonia pomonella*, *Laspeyresia pomonella*, *Carpocapsa pomonana* et *Cydia pomonella*. *Phalaenatinea pomonella* fût la première espèce décrite par Linné (1758).

D'après la littérature, *Carpocapsa pomonella* L. est référée depuis 1830 à 1960 et *Laspeyresia pomonella* L. De 1960 à 1980. Actuellement, *Cydia pomonella* L. est le nom correct utilisé (Wearing et al., 2001).

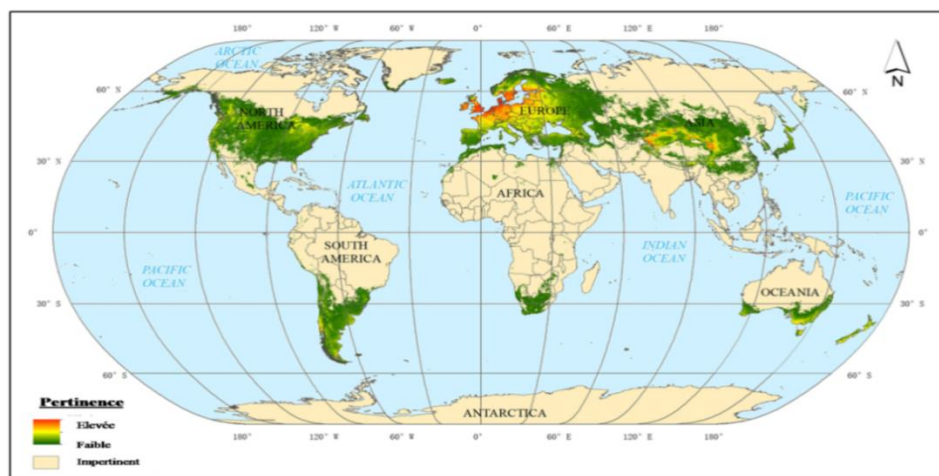


Figure 3. Distribution géographique de *Cydia pomonella* L. (Jiang, 2018).

C. pomonella L. appartient à l'ordre des Lépidoptera et à la famille des Tortricidae, qui englobe plus de 8000 espèces nuisibles (Erlandson et Goettel, 2007). Plusieurs auteurs s'accordent sur la classification de *C. pomonella* L. (Coutin, 1960 ; Balachowsky, 1966 ; Audemard, 1976 ; Wearing et al. 2001 ; Aguiar et Karsholt, 2006) :

Règne	Animalia
Embranchement :	Arthropoda
Classe :	Insecta
Sous classe :	Pterygota
Superordre :	Endopterygota
Ordre :	Lepidoptera
Sous ordre :	Microlepidoptera
Famille :	Tortricidae
Sous famille :	Olethreutinae
Genre :	Cydia
Espèce :	<i>Cydia pomonella</i> (Linné, 1758)

1.2.2. Description

L'adulte de *C. pomonella* L. mesure 15 à 22 mm d'envergure. Les ailes antérieures sont subrectangulaires de couleur gris-cendré (Tremblay, 1998 ; Matar, 2013). Il est particulièrement actif durant les soirées calmes et chaudes, au crépuscule (Charmillot et Höhn, 2004). Il se tient abrité à l'ombre et reste immobile pendant le jour (Balachowsky et Mesnil, 1935). L'adulte n'ingère que des aliments liquides et n'a aucun impact sur la production, à l'inverse des larves qui se nourrissent exclusivement des fruits (Audemard, 1976; Audemard, 1991) (Fig. 4 A).

L'œuf du carpocapse a une forme de lentille d'environ 1mm, de taille circulaire, transparent et blanc lorsqu'il est fraîchement pondu (Fig.4 B) puis développe un anneau rougeâtre à l'intérieur (Pajač et al., 2011). Les femelles pondent une cinquantaine d'œufs isolés les uns des autres, sur les feuilles, les rameaux ou directement sur les fruits s'ils sont présents (Ricci, 2009). La larve à l'éclosion, mesure 1,5 mm, elle est de couleur blanchâtre et présente une tête noire.

Avant la diapause, sa longueur atteint environ 15 mm. La larve passe par 5 stades de développement à l'intérieur du fruit. Au fur et à mesure de son développement, son corps devient rose pâle et à tête brun foncé. Le corps est formé de segments portant de fausses pattes abdominales et des pattes anales sur la plaque thoracique (L5) (Welter et Cave, 2007 ; Hmimina, 2007). La fourche anale est absente, c'est ce qui la distingue des autres tordeuses de fruits (Wearing et al., 2001) (Fig. 4 C). Enfin, la chrysalide mesure 8 à 10 mm de long et possède 10 segments abdominaux. Sa couleur varie du jaune-brun au brun foncé (Pajač et al., 2011), les deux sexes se distinguent par la disposition des sillons génitaux visibles ventralement sur le cône terminal (Coutin, 1960) (Fig. 4 D).

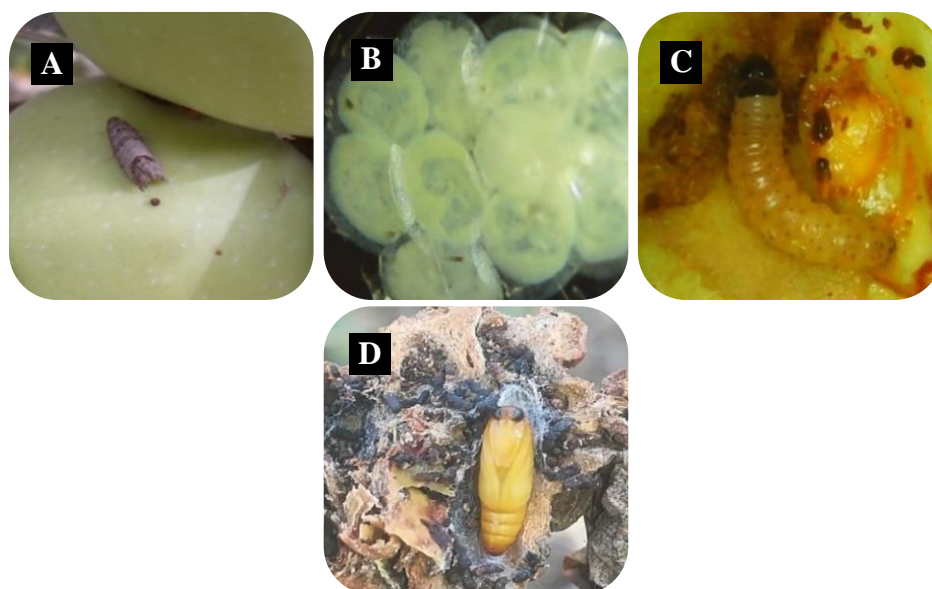


Figure 4. Adulte (A), œufs (B), larve (C) et chrysalide (D) de *C. pomonella* L.

1.2.3. Cycle biologique

Le carpocapse passe l'hiver sous forme d'une larve diapausante dans un cocon de sois installée principalement dans des anfractuosités de l'écorce du tronc (Arthurs et al., 2007), ou dans le sol au pied des arbres (Ayrat, 1969 ; Chouinard et al., 2000). Les chenilles se nymphosent sous l'influence des conditions climatiques favorables et les premiers papillons sortent de leur chrysalide à partir de début du mois d'Avril. A ce stade les adultes se déplacent au sein du verger ou entre verger. Ils vivent une quinzaine de jour, durant laquelle ils se reproduisent. L'accouplement peut durer plusieurs heures, où le mâle et la femelle sont tenus par leurs extrémités abdominales (Coutin, 1960). Il peut intervenir dès le premier soir d'émergence et la ponte commence immédiatement le jour suivant (Corroyer et Chevelon, 1998). Les œufs sont pondus sur les feuilles, les rameaux ou l'œil des fleurs fécondées, généralement très près des fruits (Jackson, 1979) et parfois pondus directement sur les fruits (Lombarkia et Derridj, 2002). Près de 90 % des œufs sont pondus à moins de 10 cm des fruits, dans les vergers non traités par des insecticides (Blomfield et al., 1997). L'incubation des œufs dure de 1 à 3 semaines selon la température (Ricci, 2009) (Fig. 5). Après l'éclosion, les larves néonates se déplacent à la surface des feuilles, des fruits et des rameaux durant quelques heures, c'est le stade baladeur, pour chercher un point de pénétration dans les fruits (Gautier, 2001 ; Cormier et al., 2005). C'est durant ce stade, que les larves sont exposées aux pulvérisations d'insecticides.

Elles passent, ensuite, leurs cinq stades larvaires à l'intérieur des fruits (Pszczolkowski et Brun, 2002). Les larves ayant atteints le 5^{ème} stade sortent du fruit et cherchent un endroit adéquat pour tisser leurs cocons, sur l'écorce des arbres, au sol (Balachowsky et Mesnil, 1935) et parfois même sur les fruits récoltés dans les palettes de récolte (Bradley et al. 2001). Puis elles se nymphosent, au début du printemps, conduisant à une nouvelle génération dans la même saison, ou entrent en diapause pour passer l'hiver (Alston et al., 2010).

Au cours d'une année, le carpocapse peut développer plusieurs générations par an. Cependant le nombre de générations varie d'une région à l'autre selon la durée de la saison, la température et la disponibilité alimentaire (Stoeckli et al., 2012 ; El Iraqui et Hmimna, 2016). A titre indicatif, il développe trois à quatre générations au Maroc (El Iraqui et Hmimna, 2016 ; El Idrissi, 1980), deux à trois en France (Ricci, 2009) et seulement deux générations par an en Sloveenie (Dariž et al., 2017).

En Algérie, plusieurs travaux ont été réalisés sur le voltinisme du carpocapse. En effet les différentes études rapportent qu'il développe quatre générations par an à Annaba (Djebbar, 1984), trois à Boufarik (Blida) (Soltani et al., 1986), Ain touta (Batna) (Chafaa, 2008) et à Tizi Ouzou (Guermah et Medjoub-Bensaad, 2018). En revanche, deux générations seulement ont été enregistrées à Inoughissen à Batna (Messaoudi, 1997). Pour la région ouest de l'Algérie, l'unique référence disponible, indique 2 générations par an dans la région de Tlemcen (Frezal, 1938). En effet Aubertot et al. (2005) précisent, que le réchauffement climatique favorables à l'émergence des adultes et la plantation de variétés de fruits tardives, peuvent prolonger la présence des larves dans un verger et par conséquent développer plus de générations par saison.



Figure 5. Cycle biologique de *C. pomonella* L.

1.2.4. Exigences écologiques

Etant ectotherme, les insectes sont vulnérables à la température, en particulier aux conditions thermiques extrêmes qui peuvent ainsi nuire à leur aptitude (Chown et Nicolson, 2004 ; Angilletta, 2009). Ils peuvent réagir aux changements de température en utilisant le comportement (échelles de temps courtes, heures à jours), la compensation physiologique (acclimatation / diapause) et les adaptations physiologiques qui évoluent sur des périodes plus longues (semaines, années et générations) (Angilletta, 2009).

Le nombre de générations du carpocapse dépend du climat, de la photopériode, de l'année et de la variété de la plante hôte (Keil et al., 2001 ; Ricci, 2009 ; Stoeckli et al., 2012). A titre indicatif, dans leurs travaux sur l'effet du réchauffement climatique sur la biologie du carpocapse dans les vergers de pommiers suisses, Stoeckli et al. (2012) ont montré qu'il pourrait y avoir le développement d'une troisième génération du carpocapse à partir de l'année 2045, alors que le nombre de génération initiale de *C. pomonella* en Suisse était d'une à deux générations par an. Ainsi la température détermine en grande partie la phénologie du carpocapse (Rock et Shaffer, 1983 ; Wearing et al., 2001 ; Charmillot et Höhn, 2004) et influence ainsi les taux de développement ou la durée du cycle de vie, la longévité, la fécondité et l'envol des adultes.

Cependant, le froid hivernal ne constitue pas une menace majeure pour les populations du carpocapse (Rozsypal et al., 2013). Les larves hivernantes ont une capacité de survie à des températures inférieures à -15°C et leurs taux de survie, durant l'hiver, est de plus de 83% (Rozsypal et al., 2013). Elles peuvent ainsi rester en diapause pendant deux ans et cela peut être considéré comme une protection contre des années de pénurie de fruits (Yothers and Carlson, 1941).

La température optimale du développement des œufs est d'environ 10°C . Au-delà et à partir de $14,8^{\circ}\text{C}$ jusqu'à $34,4^{\circ}\text{C}$, leur mortalité peut atteindre un taux de 99,5% (Saethre et Hofsvang, 2002). La durée d'incubation des œufs varie entre 7 et parfois 6 jours à 25°C et 18 jours à 15°C et peut se prolonger jusqu'à 21 jours (Corroyer et Chevelon, 1998 ; Coutin et Grison, 1951 ; Charmillot et Höhn, 2004). La durée d'évolution des larves varie également suivant les conditions climatiques (Charmillot et Höhn, 2004). En effet, la réaction larvaire à la température a montré que la croissance physiologique était optimale à $25,5^{\circ}\text{C}$ et beaucoup plus courte à $29,6^{\circ}\text{C}$ (Howell et Neven, 2000).

D'une manière synthétique, la plupart des recherches précisent, pour le carpocapse, qu'une température de 10°C constitue le seuil de développement minimale (Saethre et Hofsvang, 2002 ; Howell et Neven, 2000 ; Riedl et Croft, 1978). Selon Saethre and Hofsvang (2002), le temps physiologique nécessaire pour compléter le cycle, soit une génération, du stade de la tête noire des œufs à l'émergence des adultes, est en moyenne de 550 DD (degrés-jours).

1.2.5. Importance économique et dégâts

Le carpocapse est considéré comme étant l'un des ravageurs les plus importants du pommier dans le monde (Beers et al., 1993 ; Dorn et al., 1999 ; McGuffin et al., 2014 ; Reyes et al., 2015). Il est un ravageur polyphage dont les larves se développent uniquement dans les fruits (Audemard, 1991), ce qui rend difficile, voire impossible, leur contrôle par les insecticides, à l'exception des œufs, des adultes et à un degré moindre du stade baladeur. Les espèces hôtes du carpocapse sont principalement le pommier (Fig. 6A), le poirier (Fig. 6B), le cognassier et le noyer (Audemard, 1991). Il vit secondairement au dépend du pêcher, du prunier et de l'abricotier (Balachowsky et Mesnil ; 1935 ; Coutin, 1960 ; Asser-Kaiser et al., 2007 ; Pajač, 2011). Les fruits infestés par plus d'une larve de *C. pomonella* sont généralement faciles à détecter dans un verger (Jones et al., 2004 ; Ricci, 2009) (Fig. 6).

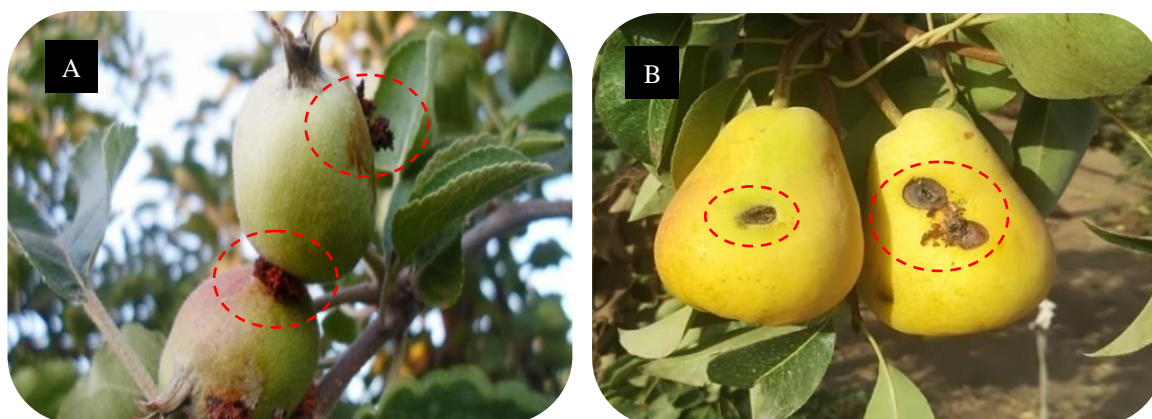


Figure 6. Des pommes (Golden Reinders) (A) et des poires (Santa Maria) (B) endommagées par *C. pomonella* L. dans la région de Tenira (Sidi Bel Abbès).

Durant les étés chauds et humides, il peut entraîner des pertes de production des pommes dépassant les 80% (Ciglar, 1998 ; Welter, 2006 ; Graora et Jerinić-Prodanović, 2005), et peuvent atteindre 100%, dans les vergers de pommiers non traités (Beers, 2003). Des études ont révélé des différences de sensibilité aux attaques de *C. pomonella* entre les différentes variétés de pommiers (Audemard, 1979 ; Stoeckli et al., 2009). En effet, certains auteurs rapportent que les femelles préfèrent la variété Golden notamment pour sa richesse en sucre et en polyphénols (Lombarkia et Derridj, 2002 ; Brahim et al., 2013).

De plus, les sémio-chimiques pourraient également jouer un rôle dans la sélection des plantes hôtes. La recherche d'un site de ponte spatialement et temporellement distribué aléatoirement favorise le mouvement des individus, soit spontanément, soit en suivant des voies de migration particulières, vers des endroits plus favorables à la ponte (Forcier, 1998). En effet les plantes ayant des feuilles verdâtres sont plus favorables pour la ponte (Ananthakrishnan, 1990). Light et al. (2001) et Coracini et al. (2004) rajoutent que les volatiles produits par les pommes vertes peuvent provoquer des réactions olfactives chez le carpocapse et stimuler, par conséquent la ponte. En outre, certains sesquiterpènes, (E, E) - α -Farnesene, entre autres, sont présents dans les pommes (Murray et al., 1964) et seraient responsables dans l'attraction des femelles (Sutherland et Hutchins, 1972 ; Light et al., 2001 ; Coracini et al., 2004). De plus, l'attrait peut changer géographiquement et être plus élevé chez d'autres populations de *C. pomonella* (Prete et al., 2021).

La phénologie de la maturation du fruit peut également expliquer la variabilité des taux d'infestation. En effet, Joshi et al. (2015) ont signalé que chez le pommier, les femelles préféreraient pondre sur les variétés Golden Delicious maturés plus tard que sur les variétés Gala maturés plus tôt. A ce propos, Sutherland et al. (1977) précisent que *C. pomonella* préfère la variété Golden Delicious, mais seulement pendant la première génération, ceci a également été confirmé par Meni Mahzoum et al. (2017) au Maroc. De leur côté, Yan et al. (1999) rajoutent qu'au début de saison, les pommes dorées à maturation tardive sont comparativement plus riches en sucres et en polyphénols que d'autres variétés, ce qui attire, par conséquent, les femelles pour la ponte.

L'intensité des infestations peut aussi être influencée par l'orientation de l'arbre. A ce propos, Stoeckli et al. (2008) et Meni Mahzoum et al. (2017) rapportent que pendant la première génération (G1), les taux d'infestation sont plus faibles du côté nord de l'arbre.

En avril-mai, les adultes pourraient éviter les orientations nordiques, qui correspondent à la partie la plus froide de la canopée de l'arbre (exposition au vent froid). Ces conditions défavorables augmentent la mortalité des larves nouvellement écloses à la recherche de fruits (Geier, 1963 ; Jackson, 1979). Ce qui, par conséquent, réduit les taux d'infestation. Néanmoins, ceci peut changer au cours de l'année et disparaître au cours de la deuxième et de la troisième génération à mesure que les températures augmentent (Meni Mahzoum et al., 2017).

D'autre part, les taux d'infestation peuvent varier en fonction des générations et des variétés. En effet en Algérie, Chafaa (2008) a précisé, dans son étude, que les dégâts causés par la première génération de *C. pomonella*, dans la région de Ain Touta (Batna), sont de l'ordre de 4% pour la variété Starkrimson (non traitée) et 2% seulement pour la variété Golden Delicious. Selon le même auteur, en deuxième génération, les dégâts augmentent et atteignent 6% sur la variété Starkrimson et 7% sur la variété Golden Delicious. Alors que pour la troisième génération, et à la faveur des températures élevées, les dégâts sont importants et atteignent un taux de 45% et 26 % respectivement pour les variétés Starkrimson et Golden Delicious. Selon plusieurs auteurs, les dégâts de *C. pomonella* sur les fruits se subdivisent en trois catégories à savoir les dégâts actifs, les dégâts stoppés et les dégâts cicatrisés (Charmillot et Höhn, 2004) ; Hmimina, 2007 ; Pelletier et al. 2011). Les dégâts actifs se traduisent par la pénétration de la larve dans le fruit par l'œil ou à un point quelconque de sa surface, ensuite elle s'introduit sous l'épiderme, creusant une galerie en spirale dirigée vers le centre de fruit. Puis, elle s'attaque aux pépins et provoque la chute des fruits. Les excréments produits sont refoulés dans les galeries visibles au point de pénétration (Hariri, 1978 ; Linder et al., 2010) (Fig. 7 A, B).

Pour ce qui est des dégâts stoppés, l'activité de la larve s'arrête en phase de développement sub-épidermique (Audemard, 1976) et se traduit par des taches brunâtres de 2 à 3 mm sans galerie interne (Fig. 7 C, D) (Hmimina, 2007). Enfin, les dégâts cicatrisés correspondent à l'arrêt du développement de la larve au stade jeune fruit (Audemard, 1976). Les anciennes attaques stoppées permettent la formation d'un tissu cicatriciel (Fig. 7 E, F) (Hmimina, 2007 ; Ricci et al., 2007). L'estimation pratique des dégâts se fruit peut se faire en contrôlant visuellement un échantillon de 1000 fruits aléatoirement repartis au sein du verger (Ricci, 2009). Les dégâts ne se limitent pas qu'aux fruits sur l'arbre mais peuvent également atteindre les fruits durant le stockage (Suzette et al, 2018).

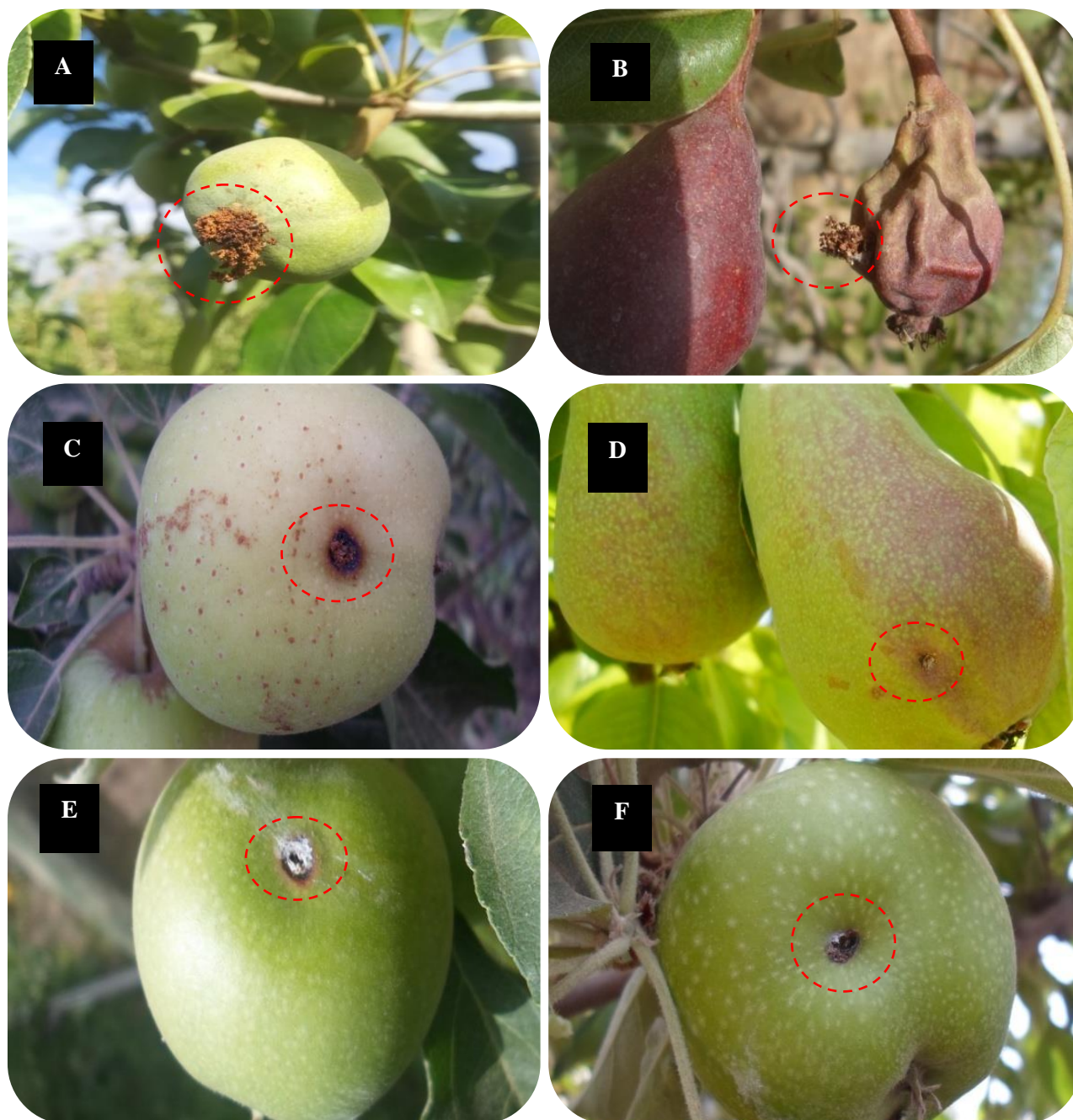


Figure 7. Différents aspects des dégâts causés par les larves de *C. pomonella* L.

(A) Dégâts actifs sur une pomme variété Golden Delicious dans la région de Sehala Thaoura, et (B) sur une poire variété Cascade dans la région de Tenira. (C) Dégâts stoppés sur une pomme variété Golden Smoothie dans la région de Sidi Lahcen, et (D) sur une poire variété Santa Maria dans la région de Tabia. (E) Dégâts cicatrisés sur des pommes variété Pink Gold et (F) Granny Smith dans la région de Tenira.

1.2.6. Méthodes de lutte et stratégie de protection intégrée

La lutte chimique est la méthode la plus fréquemment utilisée pour lutter contre le carpocapse des pommes et des poires dans le monde. En effet selon Sauphanor et al. (2019), la pomme est considérée parmi les fruits qui subit le plus de traitements phytosanitaires, avec plus de 28 traitements par an dans les vergers conventionnels.

D'après Sanchez et al. (2001) et Gautier (2001), cette lutte consiste principalement à détruire les œufs ou les larves néonates avant leurs pénétrations dans les fruits. Une fois dans les fruits, l'utilisation des insecticides de synthèse devient inutile et infructueuse. Pour le déclenchement des traitements, Adams et al. (2017), indiquent un seuil saisonnier, pour trois générations d'adultes de 12 captures par piège et par saison. Ils rajoutent cependant, que les seuils relatifs manquent souvent de précision et de fondement scientifique.

En Algérie, la lutte contre les populations de *C. pomonella* est exclusivement chimique, étant donnée qu'en y pratique une agriculture conventionnelle. Plusieurs spécialités chimiques (49 produits dont une biologique : *Bt*), de différentes familles, sont homologuées par l'institut national de la protection des végétaux (I.N.P.V). Les insecticides homologués figurent sur l'index phytosanitaire de l'année 2017 (voir Tab 1, annexe 2). Le déclenchement des traitements phytosanitaires contre les premières générations, s'effectue annuellement sur la base d'avertissement agricole établi par les différentes stations régionales de l'I.N.P.V. Ces derniers tiennent compte des seuils de captures de 6 adultes/pièges et par semaine. Les pièges à phéromones sont annuellement mis en place dans des vergers de références. L'indisponibilité de statistiques relative à l'intensité et aux fréquences des traitements insecticides utilisés rend difficile l'appréciation de cette utilisation exclusive des insecticides de synthèse, dans les vergers nationaux.

Néanmoins, l'utilisation intensive des insecticides chimiques est néfaste pour plusieurs espèces de la faune auxiliaire (Chouinard, 2001). Elle peut également engendrer des phénomènes de résistance à de nombreux insecticides appartenant à des groupes chimiques différents (Reyes et al., 2007 ; Voudouris et al., 2011). En effet, des cas de résistance ont été signalés dans presque toutes les principales régions pomicoles du monde (Sauphanor et al., 2000 ; Thwaie et al., 1993). Reyes et al. (2007) affirment que la résistance aux insecticides du carpocapse en Europe a été détectée pour la première fois vers 1990 au diflubenzuron (en Italie et dans le sud-est de la France).

De plus, le carpocapse a aussi développé une résistance aux néonicotinoïdes, à l'azinphos-méthyl et au tébufénozide, au stade larvaire post-diapause (Reyes et al., 2015). La résistance des papillons est en grande partie due à la détoxification des insecticides par l'activité enzymatique et la modification d'un groupe particulier de cibles insecticides (Rodriguez et al., 2011). La résistance est principalement associée avec les oxydases à fonctions mixtes (O.F.M) du système de détoxification, les glutathions-S-transférases (T.P.S) et les estérases (E.S.T) (Reyes et al., 2007 ; Buch et al., 1993). Bosch et al. (2018) ont déterminé l'efficacité des nouveaux et des anciens insecticides contre le carpocapse en Espagne. Dans leurs essais, des rapports de résistance élevés ont été détectés pour le méthoxyfénozide et la lambda-cyhalothrine, tandis que 50% de la population du carpocapse était résistante ou tolérante au thiaclopride.

En Chine, une insensibilité au chlorpyrifos-éthyl et au carbaryl a été mise en évidence par Yang et Zhang (2015). Une autre étude de résistance aux insecticides, menée en Grèce, a montré une sensibilité réduite aux principaux groupes d'insecticides qui ont fait l'objet d'essais biologiques (azinphos-méthyl, phosalone, deltaméthrine, thiaclopride, fenoxycarbe, tebufénozide, méthoxyfénozide et diflubenzuron) (Voudouris et al., 2011).

Pour y faire face, plusieurs méthodes alternatives, à la lutte chimique, ont été développées et/ou utilisées contre les populations de *C. pomonella*. A titre d'exemple, plusieurs agents entomopathogènes ont montré une efficacité remarquable vis-à-vis notamment des larves. Les agents les plus documentés sont la bactérie *Bacillus thuringiensis* (Lacey et Unruh, 2005), le champignon *Beauveria bassiana* (Charmillot et al., 1994), le virus de granulose (Viret et al., 2003 ; Charmillot et Pasquier, 2002) et les nématodes (*Steinernema feltiae*) (Lacey et Unruh, 2005). Cependant des phénomènes de résistances au champ ont été signalé pour le CpGV, notamment en Allemagne et en France (Sauphanor et al., 2006 ; Salamin et al., 2007 ; Sauer et al., 2014). Alors que l'utilisation du *Bt* est limité par l'improbabilité d'être ingéré par les larves néonates lors de la pénétration dans le fruit ((Lacey et Unruh, 2005). En Algérie, parmi les 49 insecticides homologués contre le carpocapse, figure un seul produit biologique à base de *Bt* (Dipel DF).

D'autre part, certains parasitoïdes ont également montré leur efficacité sur les différents stades biologiques de *C. pomonella*.

Parmi lesquels nous citons *Microdus rufipes* (Hymenoptera : Braconidae) efficace sur les larves, *Perilampus tristis* (Hymenoptera : Chalcidae) utilisé contre les larves et les chrysalides (Morel et al., 2013) et le parasite des œufs et des larves *Ascogaster quadridentata* (Hymenoptera : Braconidae) (Reed-Larsen et Brown, 1990).

L'utilisation des plantes à effet insecticides peut également être une solution alternative ou complémentaire à la lutte chimique contre les populations du carpocapse, mais elle demeure juste au stade d'investigation au laboratoire (Gökçe et al., 2018 ; Quiroz-Carreño et al., 2020). D'autres méthodes de lutte écologique ont également été développées, notamment la confusion sexuelle, la lutte attracticide et la lutte autocide. La confusion sexuelle est une méthode de lutte biotechnique qui consiste à perturber le comportement des adultes et limite ainsi le niveau de population. Elle ne s'utilise que lorsque la population initiale du carpocapse n'est pas trop élevée (Chouinard et al., 1996). Cette technique consiste à placer des diffuseurs de phéromones sexuelles au sein du verger afin que les mâles soient simultanément attirés dans plusieurs directions. Les mâles seront ainsi dans l'incapacité d'identifier les attractifs naturellement émis par les femelles, ce qui va empêcher l'accouplement et réduire ainsi la ponte (Cormier et Morin, 2008 ; Ricci, 2009).

La lutte attracticide consiste à mélanger l'hormone sexuelle (codlémone) avec un insecticide (ex : Cyperméthrine) et une substance collante. La pâte est déposée sur les branches du pommier ou du poirier à l'aide d'un pistolet. Les mâles attirés par l'attractif meurent sous l'action de l'insecticide (Cormier et al., 2005). Alors que la lutte autocide consiste à relâcher en masse des mâles stérilisés par irradiation gamma dans la nature afin d'empêcher les femelles de s'accoupler avec les mâles fertiles, ce qui aboutit à la réduction de la population (A.I.E.A, 2016 ; Bounfour, 2010).

Les pratiques culturales peuvent largement contribuer à la réduction des populations de *C. pomonella*. En effet, elles permettent non seulement de limiter la présence du ravageur au sein des vergers mais peuvent favoriser la présence des ennemis naturels. Le labour, par exemple, effectué en fin de saison peut limiter la population des larves diapausantes dans le sol et par conséquent réduit l'intensité du vol. Les mesures prophylactiques consistant, entre autres, à éliminer les écorces et recueillir les fruits endommagés dans les vergers juste après la récolte, contribuent à réduire les sources de chrysalides, de larves et d'œufs (Duval, 1994 ; Morel et al., 2013 ; Panneton et al., 2000).

A l'échelle du verger, l'installation des filets mono-rang (alt-carpo) ou mono-parcelle forme une barrière physique de protection des fruits contre les adultes du carpocapse (Lavigne et Romet, 2007) (Fig. 8).

Enfin l'aménagement paysager des vergers peut aussi réduire la densité du carpocapse au sein des vergers. En effet, une étude a montré qu'il était possible de réduire la population du ravageur en effectuant des hais aux bordures des vergers (Ricci, 2009). Cette étude reflète que la lutte contre le carpocapse peut être influencée par le contexte spatial autour des vergers de pommiers et de poiriers. Cet aspect sera traité, en détail, dans le chapitre II suivant.



Figure 8. Filet Alt'carpo dans deux vergers de pommiers (Sévrac, 2012).

Récemment, un nouveau concept de lutte à vue le jour dans les vergers fruitiers en Europe. Il s'agit du concept de la production fruitière intégrée ou PFI. La PFI vise la production économique de fruits de haute qualité qui donne la priorité à l'environnement dans un processus durable, en minimisant les effets secondaires nocifs. La PFI vise essentiellement à améliorer la sécurité environnementale et la santé humaine en adoptant plusieurs mesures intégrés et complémentaires (Aubertot et al., 2005 ; Borioli et al., 2013). Les producteurs fruitiers adhérents au concept de la PFI sont soumis à un cahier des charges détaillant l'ensemble des directives techniques, de la production à la commercialisation (Toubon et al., 2001). Cette spécification vise à développer la gestion et la traçabilité des produits. En somme, La PFI permet ainsi d'offrir un produit alimentaire de qualité, répondant aux exigences des consommateurs.

Elle permet également de répondre aux normes environnementales, de travailler dans un milieu sain et sécuritaire et de favoriser la pérennité de l'entreprise agricole (FPPQ, 2007). Synthétiquement, l'utilisation d'une ou de plusieurs méthodes de lutte, issue de l'agriculture biologique ou de l'agriculture conventionnelle doit permettre de maintenir les populations du carpocapse à un niveau économiquement acceptable, sans effet néfastes sur la biodiversité au sein du verger (van den Bosch et al., 1971 ; Sansavini, 1997). L'aménagement paysager des vergers, étant une composante de la PFI, peut aussi réduire la densité du carpocapse au sein des vergers. En effet, une étude a montré qu'il était possible de réduire la population du ravageur en effectuant des hais aux bordures des vergers (Ricci, 2009). Cet aspect sera traité, en détail, dans le chapitre II suivant.

A titre indicatif, le concept « PFI » fait l'objet d'un projet de recherche, au niveau de l'université de Mascara, depuis 2019. Il porte sur la conception de systèmes de Production Fruitière Intégrée (PFI) dans les vergers arboricoles du Nord-Ouest Algérien. Le présent travail de thèse, fait partie intégrante du projet dans lequel nous sommes membres.

CHAPITRE II.

**Dynamique spatiale des bioagresseurs à
l'échelle du paysage et des agrosystèmes**

CHAPITRE II. Dynamique spatiale des bio agresseurs a l'échelle du paysage et des agrosystèmes

Dans le chapitre précédent, nous avons indiqué qu'en protection et dans la perspective de la conception de système de production intégrée(PFI), l'aménagement du paysage à l'échelle du verger peut être défavorable aux populations de C. pomonella. D'où l'on conclue que la connaissance de la qualité de l'habitat peut être un déterminant de la dynamique des populations à l'échelle du verger, à laquelle doit être intégrer le fonctionnement écologique de l'agro-système.

Ainsi dans le présent chapitre, d'abord un état sur les connaissances de la dynamique spatiales des ravageurs est exposé. Puis il est question des facteurs influençant la dynamique spatiale des bio agresseurs, en insistons sur les mécanismes et paramètres qui la régit. Ensuite il est abordé le processus de dispersion des ravageurs et des déterminants environnementaux qui affectent leur dynamique, en insistons sur le système culture-bioagresseur, l'agro-système la notion du paysage et la conservation de la biodiversité. Enfin, un accent est mis sur la relation dégâts-effectifs des ravageurs et le principe de modélisation de la dynamique spatiale des populations.

2.1. Etat des connaissances sur la dynamique spatiale des bioagresseurs

Au cours des dernières décennies, et avec l'avancement de la géomatique, des recherches se sont intéressées à l'étude des populations par l'intégration des variables spatiales sur une plus ou moins grande échelle. En effet, des études ont abordées notamment la dynamique des populations des insectes (ravageurs/ennemis naturels) au sein d'un habitat. Ces études ont pris en considération l'influence des conditions locales (taux de croissance et de mortalité) et la dispersion entre les différents habitats (effet de disponibilité des habitats et la distance entre les tâches d'habitat) (Levin, 1969 ; Forman et Godran, 1986 ; Hanski, 1998). La prise en compte de l'écologie du paysage à l'échelle de l'agrosystème attache une importance au contexte spatiale. Elle établit des liens entre la structure du paysage et les processus écologiques souvent complexe. L'objectif étant de rechercher le ou les mécanismes de régulation naturelle et surtout de comprendre le processus de la dynamique des populations de bioagresseurs sur le terrain (Forman et Godran, 1986).

Dans ce contexte, une approche courante consiste à utiliser une technique de modélisation mathématique et d'avoir recours ensuite à une modélisation. Cette dernière se réfère à une image simplifiée de la dynamique des populations des ravageurs. Un certain nombre de programmes de modélisation ont été ainsi fournis avec des représentations spatiales variables, selon les objectifs et les intérêts de chaque discipline (Ricci et al., 2009).

La théorie des métapopulations prend en compte la probabilité d'extinction et de colonisation dans les habitats favorables dans le but de caractériser les espèces présentes ou absentes dans chaque site. Ainsi, l'espace peut être très simplement décrit, par exemple, par le pourcentage et la surface de sites favorables. De ce fait, le paysage est connecté à des variables globales qui définissent plusieurs de ses caractéristiques (Urban et Keitt, 2001).

Cette approche peut être mise à l'épreuve en simulant informatiquement l'évolution des populations sous les hypothèses formulées dans le modèle, tout en faisant des comparaisons avec des observations de terrain (Schröder et Seppelt, 2006). Cependant, il peut être difficile de déterminer les paramètres de la dynamique spatiale d'un ravageur, tels que la distance moyenne de dispersion, et d'évaluer le rôle du paysage dans cette dynamique. C'est le cas des petits organismes qui nécessitent un piégeage attractif et peuvent introduire un biais dans l'estimation de la dispersion par marquage-recapture (Ricci, 2009). Bien que la modélisation constitue un outil intéressant pour l'étude de l'effet du paysage sur la dynamique des populations de ravageurs, plusieurs aspects n'ont pas été élucidés à ce jour.

2.2. Facteurs influençant la dynamique spatiale des bio agresseurs

La conception de nouvelles stratégies pour la protection des cultures prévenantes de l'environnement exige de prendre en compte les facteurs qui influencent la dynamique des populations des ravageurs sur leur cycle de vie, même si leurs effets sont seulement temporaires. Parmi ces facteurs le paysage structurel, ou la structure de l'écosystème, pourrait avoir un effet sur la dynamique sur une grande échelle, comme cela a été précédemment rapportées par quelques auteurs. Ces derniers ont démontré que le paysage peut avoir une influence sur la dynamique des populations des abeilles (Holzschuh et al., 2008) et du carpocapse des pommes *C. pomonella* (Ricci, 2009).

L'étude de la dynamique spatiale des ravageurs, nécessite, entre autres, la prise en compte de l'impact des applications répétées d'insecticides visant à réduire les effectifs de

populations. En effet, une parcelle de culture hôte du ravageur, dans laquelle les traitements sont nombreux constitue un habitat de moindre qualité qu'une parcelle de la même culture dans laquelle le nombre de traitements serait plus faible (Ricci, 2009 ; Bianchi et al., 2006).

En général, les paysages agricoles forment des mosaïques d'habitats plus ou moins connectés et de qualité différente dans les déplacements des espèces de ravageurs à l'échelle du paysage (Dennis et al., 2003 ; Ricci, 2009). Les distributions spatiales de l'habitat affectent la dynamique des populations (Hiebeler et Morin, 2007). En effet, les habitats de bonne qualité favorisent la croissance de la population avec un taux de mortalité réduit, inversement aux habitats isolés (Ricci, 2009). De plus, les habitats non cultivés sont souvent considérés comme étant des réserves potentielles d'ennemis naturels (Thies et al., 2003 ; Tschardt et al., 2007). Les barrières naturelles à proximité des terres cultivées peuvent également freiner ou ralentir la dispersion inter habitat de ravageurs. C'est ce qui a été confirmé par les travaux de Wang et al. (2011) en Chine, qui ont rapportés que la présence des montagnes ralentit la dispersion d'une espèce exotique envahissante le charançon aquatique du riz *Lissorhoptrus oryzophilus* Kuschel (Coleoptera : Curculionidae).

D'autre part, les haies peuvent également affecter à la fois les flux physiques et biologiques et peuvent jouer ainsi un rôle majeur dans les paysages agricoles (Baudry et al., 2000). En effet, Miliczky et Horton (2005) précisent que la présence des haies en bordure des vergers, active la biodiversité et permet par conséquent la régulation des ravageurs par les auxiliaires. En effet d'après Bianchi et al. (2006), dans les paysages diversifiés la pression des ravageurs est moins importante et la présence d'auxiliaires plus forte notamment en vergers biologiques, ce fut le cas pour le carpocapse dont les œufs ont été parasités par plusieurs parasites (Pinto et al., 2002).

2.3. Mécanismes et paramètres de la dynamique des populations

La compréhension et l'identification des mécanismes et paramètres influençant la dynamique et la dispersion des populations de ravageurs constitue une étape importante dans la conception de solutions de protection intégrée. Ces dernières peuvent s'élaborer à des échelles diverses, d'abord à l'échelle de la parcelle (intra site) puis à l'échelle du groupe de parcelles ou inter site (contrôle des transferts de populations entre parcelles voisines) et enfin à l'échelle de la région (Meynard et al., 2003).

2.3.1. Dynamique intra-site

La dynamique des populations des bioagresseurs résulte des interactions dynamiques avec l'environnement, qui se produisent au cours du temps et dans l'espace, à l'échelle de la parcelle et du paysage (Gaba et al., 2014). La méthode la plus appropriée pour l'étude de la dynamique spatiale des larves diapausantes est l'utilisation des bandes pièges puisqu'elle garantit que les individus collectés proviennent du verger sur lequel a été effectué le prélèvement (Ricci, 2009).

Au sein du verger la répartition et la présence d'agrégation de larves diapausantes de *C. pomonella* peut se retrouver sur plusieurs années, parfois dans les mêmes zones du verger et parfois avec des déplacements des zones d'agrégation, toujours au sein du même verger. En effet, ce comportement agrégatif des larves a été mis en évidence par les travaux de Ricci (2009) et serait probablement induit par l'émission d'une phéromone (Landolt et al., 2000 ; Jumean et al., 2005). Les travaux de Decante et van Helden (2009) sur la répartition spatiale de la cicadelle verte *Empoasca vitis* (Göthe) (Hemiptera : Cicadellidae), au sein du vignoble, ont abouti aux mêmes conclusions de Ricci (2009).

Sur le plan écologique, cette agrégation de population de ravageurs, au sein d'un verger rend leur localisation aisée par les ennemies naturelles. En particulier par certains parasitoïdes ayant la capacité de détecter les phéromones d'agrégation, même s'il a été montré que le risque d'être parasité n'était pas plus élevé pour une larve de carpocapse située au sein d'un groupe (Ricci, 2009 ; Jumean et al., 2009).

La répartition intra-verger des populations de larvaires de *C. pomonella* peut-être influencé par le paysage et constitue une localisation plus efficace des sites de nymphose et une plus grande probabilité de rencontre d'un partenaire lors de la reproduction des adultes à l'émergence (Ricci, 2009).

D'autre part au sein du verger, les effets de l'environnement proche (tel que la présence de haies en bordure du verger) sur les effectifs du carpocapse peuvent être variables selon les années, mais demeurent conditionnés, entre autres, par la variabilité des conditions climatiques (Ricci, 2009). Les effectifs peuvent également être influencés par les différentes méthodes de protection, appliquée au sein du verger. En effet, un exemple de combinaison de méthodes, à effets partiels, pour lutter contre le carpocapse est donné par Judd et al. (2004). Ces auteurs, après avoir associé un piégeage des larves diapausantes par des bandes pièges associé à l'utilisation de la confusion sexuelle et la récupération des fruits attaqués après récolte, ont obtenu une réduction significative des dégâts. Alors qu'aucune de ces méthodes utilisées individuellement n'avait permis d'obtenir de tels résultats. En complément, et même si le niveau de complexité des systèmes étudiés devient important, des études multi-ravageurs doivent aussi être développées en intra site pour prendre en compte les interactions plurispécifiques au sein d'un même niveau trophique (Dunning et al., 1992).

L'environnement intra-verger et la matrice paysagère favorisent la présence d'une diversité d'arthropodes au sein d'un verger. Ces arthropodes utiles assurent non seulement un service de régulation biologique des ravageurs mais également les services de pollinisation et de recyclage des éléments nutritifs, favorables à l'agrosystème (Gurr et al. 2003). Cette régulation peut également se faire par des ennemis-naturels non-arthropodes comme les oiseaux et chauves-souris. Ainsi, la perte de la biodiversité à l'échelle d'un système agricole rend les cultures vulnérables au ravageurs (Cardinale et al. 2012).

2.3.2. Dynamique inter-sites

2.3.2.1. Effets du paysage sur la dispersion des ravageurs

Les ravageurs ont la capacité de se disperser de manière importante entre différentes parcelles ou même entre différentes régions. La dispersion leur permet de se déplacer entre différents sites de nourriture, quoi qu'aussi entre leurs sites d'hivernation et de reproduction.

Ce processus peut s'appliquer à plusieurs étapes du développement de leur cycle de vie (Stinner et al., 1983).

La dispersion palpable d'un organisme résulte de l'interaction entre ses capacités biologiques et les caractéristiques du paysage dans lequel il évolue (Ricci, 2009). Cependant, il est parfois difficile de mesurer directement la distance moyenne de dispersion d'un insecte et d'évaluer le rôle du paysage dans cette dynamique. C'est le cas des organismes de taille trop petite qui nécessitent un piégeage attractif pouvant engendrer un biais dans l'estimation de la dispersion par marquage-recapture par exemple (Ricci, 2009).

La compréhension de ces processus nécessite l'observation détaillée des mouvements individuels (Patterson et al. 2008). Plusieurs travaux portant sur la compréhension du comportement de dispersion des insectes ravageurs, ont eu lieu par l'utilisation de diverses techniques : capture-marquage-recapture, radiofréquence et marqueurs moléculaires.

En plus des exigences spécifiques, la variabilité du mouvement est généralement liée au sexe, l'âge et les potentialités intrinsèques des insectes, les distances parcourues peuvent ainsi varier de quelques mètres à des centaines voire des milliers de mètres. Muir et Kay (1998) rapportent une distance maximale de dispersion de 160 m pour les deux sexes de moustiques marquées et lâcher sur terrain. Ses auteurs ont conclu que les conditions climatiques, chaudes et sèches, étaient un facteur limitant la dispersion.

De leur côté, Vinatier et al. (2010), utilisant la technique de la radio- télémétrie (RFID : Radio Frequency Identification), trouvent une distance moyenne parcourue de 9 m pour les suivis adultes du charançon du bananier *Cosmopolites sordidus* (Germar) (Coleoptera : Curculionidae). D'autres méthodes génétiques ont été utilisées à l'aide de marqueurs moléculaires ou d'immunomarquage. Ces derniers ont permis d'inférer des pedigrees chez les espèces sauvages où les informations sur les relations sont impossibles à collecter par observation directes (Jones et Arden, 2003).

Ces méthodes ont été précédemment utilisées pour étudier la dispersion de *Pyrrhocoris apterus* L. (Hemiptera : Pentatomidae) dans les champs de soja (Bastola et Davis, 2018) et la distribution de *Halyomorpha halys* (Hemiptera : Pentatomidae) dans les vergers de pêcheurs (Brett et al., 2016).

2.3.2.2. Processus de dispersion des populations adultes de *C. pomonella*

Il est presque impossible de déterminer, par de simples observations la taille réelle de la population des adultes de carpocapse au sein d'un même verger, étant donnée la dispersion et la migration entre les vergers à l'échelle locale comme régional, par contre cela est possible pour les larves diapausantes étant donné qu'elles proviennent du même verger (Ricci 2009). C'est pourquoi l'utilisation de technique modernes est plus que nécessaire, si on veut garantir que les adultes du carpocapse proviennent bien du verger et par conséquent réaliser des études de dynamique spatiale des adultes mâle ou femelles. Pour ce faire, plusieurs techniques ont été développées.

La technique du marquage-recapture a largement été utilisée pour évaluer la dispersion du carpocapse à l'échelle du paysage (Mani et Wildbolz, 1977 ; Bloem et al., 1998 ; Keil et al., 2001 ; Jones et al., 2006). L'exploitation des marqueurs moléculaires a démontré que chez le carpocapse, la dispersion des adultes se produit sur des distances relativement courtes (400 à 800 m), mais des cas de dispersion des mâles sur de longue distance sont possibles (plus de 11 km) (Mani et Wildbolz, 1977 ; Franck et al., 2007).

Alors que les femelles adoptent plus tôt un comportement relativement sédentaire, malgré leur capacité de dispersion variant de 80 à 700 m pour pondre leurs œufs (Franck et al., 2008). Les caractéristiques et la structure du paysage constitue également un facteur déterminant dans la dispersion (Ricci, 2009).

A ce propos, les travaux de Basoalto et al. (2010) portant sur l'analyse de la dispersion spatiale du carpocapse au sein de deux agro écosystèmes hétérogènes, de 100 ha chacun (c-à-d., paysage hétéroclites composés de haies et de fruitiers hôte abandonnés, entourant les deux vergers de pommiers intensifs expérimentaux) ont mis en évidence, que la dispersion des adultes était limité entre les vergers, par la composante du paysage. En effet, l'utilisation des techniques de capture par pièges à phéromone et d'auto-marquage immunologique, a révélé que la dispersion des adultes de *C. pomonella* se faisait entre 150 et 300 m, au sein de chaque verger. Les résultats obtenus confirment que les paysages variés ou hétérogènes, entourant les vergers fruitiers, constituent une véritable barrière de dispersion du carpocapse et contribuent par conséquent à la réduction des infestations. De plus, Tyson et al. (2007) ajoutent que les haies, les brises vent et les grandes étendus de champ, séparant les vergers, constituent une barrière à la dispersion des adultes de *C. pomonella* entre les vergers.

La dispersion des femelles de leurs habitats naturels est un processus bien connu et a un impact sur la dynamique des populations à l'échelle spatiale des vergers (Knight et al., 1995 ; Trimble et Vickers, 2000 ; Tyson et al., 2007). Des études ont montré que les mâles de *C. pomonella* volent contre le vent en réponse à un signal de phéromone émis par une femelle (Cardé, 1984). Les mâles ont également la capacité de détecter les composés volatiles des plantes hôtes (pommier et poirier) (Ansebo et al., 2004).

Cette capacité de dispersion du carpocapse explique la colonisation rapide des nouveaux vergers plantés même s'il s'agit de zones éloignées des vergers hôtes (Dorn et al., 1999). En outre, les déplacements ne sont pas uniquement liés au vol des adultes, mais également à d'autres moyens de dispersion, tels que le transport de fruits contenant des larves ou de caisses en bois utilisées dans la récolte pouvant fournir des abris aux larves diapausantes (Higbee et al., 2001).

A défaut des techniques modernes de suivi de la dispersion des populations, le piégeage attractif des adultes semble être la méthode la plus appropriée pour étudier la dispersion du carpocapse et permet d'effectuer un suivi temporel des populations simultanément sur un grand nombre de vergers (Ricci, 2009 ; Franck et al., 2008).

Le piégeage peut se faire par l'utilisation de phéromones, de codlémone pour attirer les mâles ou kairomone qui attirent potentiellement à la fois les mâles et les femelles (Knight et Light, 2005, Ricci, 2009).

2.4. Les déterminants environnementaux

2.4.1. Le système culture-bioagresseur

Les bio-agresseurs des cultures font partie des agrosystèmes (Rabbinge et al., 1989). La coévolution des insectes et des différents groupes végétaux varie considérablement d'un groupe d'insectes à l'autre. Les insectes phytophages sont classés selon une échelle qui va des monophages, capables de se développer sur une seule plante hôte, aux polyphages, capables de se développer sur des centaines d'espèces végétales appartenant à différentes familles (Jermy, 1984). La majorité des insectes phytophages sont très sélectifs et se nourrissent sur seulement une petite fraction de plantes disponibles dans l'habitat, ce qui explique la diversité des insectes phytophages (Futuyma et Moreno, 1988 ; Jaenike, 1990 ; Schoonhoven et al., 1998).

Ces derniers sont déterminés par la capacité des femelles à identifier les plantes hôtes, par la physiologie des larves et par la présence d'ennemis naturels (Jaenike, 1990 ; Ravigné et al., 2009). En effet, les plantes libèrent des substances volatiles spécifiques qui attirent les insectes herbivores (Stotz et al., 1999). C'est le cas du carpocapse qui est attiré par l'acide acétique et l'éthyl-(E, Z) -2,4-décadiénoate, l'ester de poire (Landolt et al., 2007).

Les vergers sont des systèmes de culture potentiellement favorables, dans le temps et dans l'espace, au maintien des chaînes trophiques de prédateurs et parasitoïdes et d'organismes auxiliaires qui interviennent dans la régulation naturelle des ravageurs (Simon et al., 2015). Au sein de ces systèmes se produisent des interactions fonctionnelles entre la culture et les ravageurs, qui aboutissent souvent à des pertes de production importantes si des mesures adéquates ne sont pas prises. En effet, la limitation des risques de dégâts, nécessite la combinaison de différents leviers (choix variétale, pratiques culturales, méthodes de luttés) sans omettre les processus qui affectent les ravageurs (p.ex., ennemis naturels) et la plantes (p.ex., stress, besoins nutritifs) (Simon et Lesueur-Jannoyer, 2014). Toutefois, les interactions entre les ravageurs et leurs plantes hôtes impliquent souvent des mécanismes complexes qui n'ont pas encore été élucidés par la recherche. En effet, seule une approche multidisciplinaire peut élucider les causes physiologiques et les conséquences écologiques des interactions plantes-insectes herbivores.

2.4.2. Notions sur l'agroécosystème : le paysage

L'agroécosystème est défini comme un espace cultivé, inclus dans un ensemble agricole diversifié duquel la gestion reste davantage soumise aux lois de la nature, à savoir l'action des facteurs limitants susceptibles de diminuer la production (Morère et Pujol, 2003). Une simplification de cette définition consiste à appréhender l'agroécosystème comme un système hybride, englobant deux sous-systèmes en interaction (c-à-d., l'écosystème et l'agrosystème) (Tassin, 2012). L'écosystème est une « *manière simplifiée mais structurée d'envisager la nature* » (O'Neill, 2001), et contient plusieurs sous-systèmes qui varient selon les approches. De ce fait, la parcelle est considérée comme un écosystème (Gliessman, 2015). On distingue par exemple les sous-systèmes biodiversité - eau - air - climat et sol (Lecerf, 2008). Tassin (2012), précise que l'agrosystème peut être scindé en plusieurs sous-systèmes intervenant dans l'activité productive d'une région, chacun étant situé à une échelle spécifique de prise de décision (c-à-d., la parcelle, l'exploitation agricole, la région agricole).

Le terme de paysage n'est pas évident à définir et comporte plusieurs définitions. Par exemple, Turner et al. (2001) définissent le paysage comme étant une aire spatialement hétérogène à l'égard d'au moins un facteur d'intérêt.

Dans le cadre de cette étude nous nous intéresserons tout particulièrement au paysage agricole que l'on peut définir comme une aire, délimitée par un rayon dont le centre est une zone d'intérêt agricole, et dans laquelle interagissent l'homme, la faune et la flore. D'après Delattre et al. (2019), l'évaluation d'un paysage agricole peut se baser sur des critères écologiques, sociaux et économiques mis en interaction ou non, via l'utilisation de métriques paysagères de composition et de configuration. Le paysage et sa structure aura un impact très fort sur leur capacité à se déplacer et les décisions que vont prendre les insectes.

Les espèces végétales en bordure de vergers fruitiers font partie des composantes du paysage. C'est le cas des haies dont la composition peut être variée. En effet les haies sont utilisées comme des brises vent pour protéger les cultures contre le vent et les hautes températures, et crée par conséquent un microclimat. Elles permettent également de stabiliser les berges des rivières et ruisseaux, favorisent l'installation de nombreux auxiliaires (Earnshaw, 2004 ; Jose, 2009 ; Staley et al., 2012 ; Morandin et Kremen, 2013 ; Sutter et al., 2018 ; Baudry et Burel, 2019) et constituent un abri pour l'hivernation, entre autres, de nombreux oiseaux, dont certain peuvent être insectivores (Pywell et al., 2005).

2.4.2.1. Impact du paysage sur les ravageurs

Le paysage peut agir sur les populations des ravageurs. L'hétérogénéité du paysage et la proportion d'habitats semi-naturels proches aux parcelles cultivées semblent être des facteurs déterminants pour l'abondance et la diversité d'insectes dans les parcelles cultivées (Le Ralec et al., 2010 ; Thies et al., 2003). La composition du paysage influe sur la prévalence des plantes hôtes alternatives des ravageurs des cultures (Diab, 2012). Landis et al. (2000) rapportent que les zones non cultivées constituent des lieux d'hivernation pour de nombreux ennemis naturels, à l'exception de la coccinelle asiatique *Harmonia axyridis* (Pallas) (Coleoptera : Coccinellidae) qui passe l'hiver dans les habitations (Labrie et al. 2008).

Certains ravageurs utilisent des éléments du paysage autres que les parcelles (les habitats semi-naturels) pour hiberner ou pour se nourrir (Bianchi et al., 2006, Chaplin-Kramer et al., 2011 ; Pywell et al., 2005).

La majorité des espèces des arthropodes vivent dans différents habitats qui vont bien au-delà du niveau de la parcelle (Tschamtkke et al., 2007). Cependant, peu d'études ont été réalisées pour cerner l'ensemble des processus impliqués dans l'interaction du paysage et des habitats semi-naturels avec les ravageurs (Bianchi et al., 2006, Holland et al., 2017). L'identification des paramètres du paysage influençant la répartition et la dynamique des populations des ravageurs a par contre fait l'objet de quelques études antérieures par Delattre et al. (1996) et Millán de la Peña et al. (2003).

La complexité du paysage et la répartition des parcelles de mêmes types de cultures (agrégation ou isolement) sont considérées comme des facteurs déterminants majeurs de la répartition des insectes (Burel et Baudry, 1999). Schmidt et Tschamtkke (2005) ont montré que certaines araignées prédatrices sont plus nombreuses quand le pourcentage des habitats semi-naturels est élevé. Par contre, dans un paysage structurellement faible, Schmidt et al. (2003) ont confirmé que les densités des populations de pucerons, dans une parcelle de céréales, peuvent être élevées (plus de 70 %) en absence de prédateurs et parasitoïdes. À l'échelle du paysage, l'impact de la distribution des plantes hôtes par rapport aux plantes non-hôtes sur l'assemblage des communautés entières d'arthropodes (ravageurs/ et ennemis naturels) reste encore largement inconnu.

2.4.2.2. Paysage et biodiversité

On assiste depuis une cinquantaine d'années une forte érosion de la biodiversité, en particulier dans les systèmes agricoles, à cause de la destruction des habitats par notamment l'usage abusif des pesticides (Cardinale et al. 2012). Par conséquent, la conservation de la biodiversité étant un enjeu pour l'agriculture exige des solutions et des stratégies alternatives. Il est ainsi important de concevoir une stratégie phytosanitaire nouvelle, reposant d'abord sur la gestion agroécologique des populations et des peuplements avec une remise en cause des pratiques courantes, une adaptation des systèmes de cultures et une prise en considération rationnelle des problèmes environnementaux à l'échelle du paysage.

La lutte par conservation ou augmentation de la biodiversité (Conservation Biological control), s'intègre dans cette stratégie phytosanitaire nouvelle. Elle est un moyen capital pour limiter les effets pervers d'une agriculture intensive (Barbosa, 1998).

Le but de la lutte biologique par conservation est de réguler les populations des ravageurs présents sur la parcelle en interagissant avec leurs ennemis naturels (prédateurs et parasitoïdes) (Begg et al., 2017). Ces derniers sont maintenus ou augmentés dans un environnement donné, grâce à la création d'un environnement favorable à leur développement (Eilenberg et al., 2001).

De ce fait, l'implantation de structures écologiques au sein de la parcelle telles que les haies, les bandes fleuries ou les couverts végétaux spontanés, permet aux auxiliaires d'avoir un accès continu à des ressources nécessaires à leur développement (Jonsson et al., 2008 ; Ratnadass et al., 2012). Cet aspect est actuellement à l'étude au niveau de l'université de Mascara, dans le cadre du projet PRFU cité plus haut.

Josso et al. (2013) et Albert et al. (2017) ont démontré que les haies en bordure de vergers fruitiers influencent positivement les ennemis naturels et les ravageurs, notamment en ce qui concerne les conditions de développement et d'interactions inter spécifique. Néanmoins, l'implantation de bandes fleuries est assez répandues, mais elles sont encore au stade expérimental (Albert et al., 2017). A l'échelle du paysage, les écosystèmes semi-naturels tels que les zones forestières et les prairies peuvent également jouer un rôle dans ce processus (Ratnadass et al., 2012 ; Therond et al., 2017).

En effet le développement des écosystèmes semi-naturels est associée à une augmentation de l'abondance, de la diversité et du niveau de régulation des insectes ravageurs (Therond et al., 2017). Rusch et al. (2016) ont démontré que la simplification du paysage en grandes cultures conduit à une diminution de 46 % du potentiel de régulation naturelle des insectes ravageurs. Cependant, il est bien reconnu que les pullulations d'organismes nuisibles aux cultures sont réduites dans les agro-systèmes les plus diversifiés, alors qu'ils sont plus fréquents dans les monocultures (Andow, 1991). Dans les agro systèmes, la biodiversité peut être affectée, entre autres, par les pratiques culturales. Ces dernières diffèrent considérablement entre les cultures à l'échelle de la parcelle.

Le travail du sol n'est susceptible d'impacter que les organismes qui sont dans la parcelle au moment de l'opération culturale (Mesmi, 2018). Purvis et Fadl (2002) ont montré que les carabes hivernant au stade adulte sont moins impactés par le labour que les carabes hivernant au stade larvaire.

De plus, Frouz (1999) a montré que le labour diminue l'abondance des larves de diptères qui se développent dans le sol et a un effet négatif significatif sur les lépidoptères et les hyménoptères.

L'usage intensif des produits phytosanitaires, la disparition ou l'altération des habitats semi-naturels, le raccourcissement des rotations et les apports excessifs de fertilisants sont considérés comme étant les principaux responsables de la raréfaction voire du déclin de la biodiversité dans les agroécosystèmes (Ewald et Aebischer, 2000 ; Benton et al., 2003). L'utilisation intensive des insecticides, demeure, par contre, le premier facteur ayant des répercussions néfastes sur les auxiliaires à l'échelle de la parcelle, quel que soit le système de production (Monetti et Fernandez, 1995 ; Burn, 1988 ; Prokopy et al., 1995).

2.5. Relation dégâts-effectifs des ravageurs

L'intensité des pertes de récolte occasionnées par les bioagresseurs est souvent sous-estimée dans les différentes cultures. En effet, les données limitées disponibles indiquent que les arthropodes pourraient détruire environ 18 à 20 % de la production agricole annuelle dans le monde, dont les pertes économiques sont estimées à plus de 470 milliards de dollars américains (Sharma et al., 2017).

Dans un agrosystème donné, il est indispensable de déterminer les effectifs des espèces nuisibles et d'évaluer l'ampleur des dégâts qu'ils occasionnent. La nuisibilité d'un organisme peut être rattachée à sa biologie, et notamment au nombre de cycles successifs au cours d'une année : plus ils sont nombreux, plus les dégâts occasionnés sur le végétal hôte seront importants.

L'évaluation des effectifs du carpocapse consiste à utiliser des pièges attractifs des mâles par une phéromone sexuelle synthétisée (la codlémone) (Riedl et al., 1976). Il est notamment difficile d'avoir une idée précise du rayon d'action du piège et le lien entre le nombre d'adultes capturés dans un piège et la taille réelle de la population de carpocapse dans le verger où l'intensité des dégâts a souvent été discutée (Ricci, 2009). Malgré ces inconvénients, le piégeage attractif des adultes reste, par sa facilité de mise en œuvre, la méthode la plus appropriée pour effectuer un suivi temporel des populations de carpocapse simultanément sur un grand nombre de vergers, ce qui permet d'avoir une idée sur les risques (Ricci, 2009).

Par ailleurs, une autre méthode en supplément des suivis par piégeage des adultes, consiste à utiliser des bandes pièges autour des troncs, afin d'évaluer les densités des effectifs des larves diapausantes, et par conséquent de prédire les dégâts des futures générations. Contrairement aux pièges attractifs, cette méthode a pour avantage de garantir que les individus collectés proviennent bien du verger sur lequel a été effectué le prélèvement (Ricci, 2009).

2.6. Modélisation de la dynamique spatiale des populations

Une compréhension de base de la dynamique spatiale et de la dispersion des populations des ravageurs est nécessaire pour la mise en œuvre d'une stratégie de protection intégrée (Vreysen et al., 2007, Koul et al., 2008). Les paysages agricoles hétérogènes sont composés de parcelles hôtes convenables dont la taille, la forme, la composition des espèces et l'intensité de la gestion varient selon le ravageur (Ricci, 2009). Cette hétérogénéité du paysage, nécessite l'utilisation d'outils permettant, entre autres, d'élucider les interactions entre les ravageurs, la plante hôte et son environnement immédiat. Ainsi le passage de l'échelle verger à l'échelle du paysage, nécessite de faire appel à la modélisation spatiale reliant les observations et l'hétérogénéité spatiale du paysage, sous l'hypothèse d'une hétérogénéité explicative de la répartition des populations de ravageurs (Vinatier et al. 2012).

En effet ces dernières années, l'on assiste au recours aux approches de modélisation comme outil d'aide à la décision, dans la protection des cultures. Elles permettent, entre autres, de définir les périodes d'utilisation optimale des méthodes de protection afin de limiter les applications chimiques (Boivin et Sauphanor, 2007). Des études à l'échelle spatiale du paysage, ont constaté que certaines caractéristiques de l'habitat environnant (dont l'intensité de la gestion phytosanitaire et le réseau de haies faisant office de brise-vent) ont le potentiel de réduire significativement les densités de carpocapse dans certaines régions ou vergers (Ricci, 2009).

C'est pourquoi, la dynamique et la gestion des populations de carpocapse doivent être considérées à des échelles spatiales supérieures aux vergers (Knight, 2008 ; Ricci, 2009).

Des méthodes géostatistiques ont également été utilisés pour caractériser la variabilité spatiale de *C. pomonella* et de *Lobesia botrana* Denis et Schiffermüller (Lepidoptera : Tortricidae) dans des vergers de pommiers et des vignobles (Trematerra et al., 2004 ; Ifoulis et Savopoulou-Soultani 2006 ; Sciarretta et Trematerra 2006 ; Sciarretta et al., 2008).

La réalisation de modèle individuel, décrivant le mouvement des individus des ravageurs, considère des règles dépendantes des propriétés des éléments rencontrés à chaque étape (habitat, barrière, etc.). Ce type de modèle donne ainsi un aperçu de l'espace et des éléments du paysage dont la description est créée par le système d'information géographique (SIG (Herben et al., 2006).

CHAPITRE III.

**Présentation de la zone d'étude et
méthodologie**

CHAPITRE III- Présentation de la zone d'étude et méthodologie

Les différentes méthodes d'étude de la dynamique spatiale et des dégâts de C. pomonella dans la région de Sidi Bel Abbas sont exposées, dans un premier temps la présentation de la zone d'étude, en insistant sur les caractéristiques des sites expérimentaux et les paramètres climatiques. Puis il est question de la méthodologie d'étude. Les différentes méthodes d'étude utilisées sont largement présentées, telles que celles relatives au séquençage de l'ADN de C. pomonella, à la dynamique des populations des carapocapses dans les vergers étudiés et à l'évaluation des dégâts sur les fruits. Il est aussi question des méthodes d'étude des effets de l'huile essentielle de l'armoise blanche sur les populations larvaires. Enfin l'ensemble des méthodes d'analyses statistiques et d'exploitations des résultats y sont développées.

3.1. Présentation de la région d'étude

3.1.1. Situation géographique

La Wilaya de Sidi Bel Abbas borde la partie méridionale occidentale du Tell algérien, située à environ 420 Km au Nord-Ouest de la capitale Alger. Elle s'étend sur une superficie de 9150,63 Km² et compte actuellement 15 Daïras et 52 communes. Elle est limitée au Nord par la wilaya d'Oran, au Nord-Est par la wilaya de Mascara, au Nord-Ouest par la wilaya d'Ain Témouchent, A l'ouest par la wilaya de Tlemcen, Au Sud-Est par la wilaya de Saida et par les wilayas de Naama et El Bayed au Sud (Fig. 9).

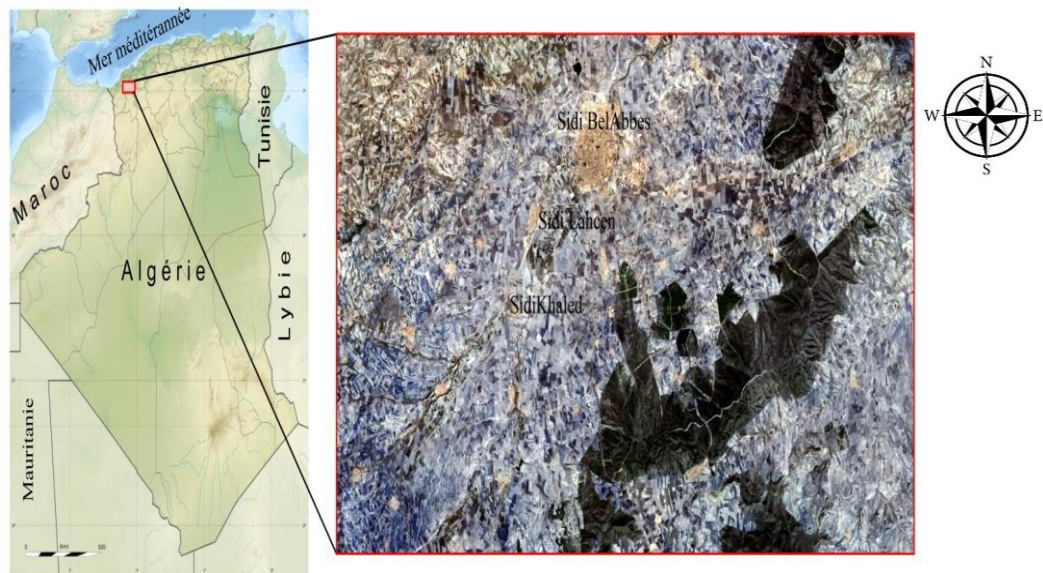


Figure 9. Localisation géographique de la wilaya de Sidi Bel Abbès.

3.1.2. Cartographie de la zone d'étude

Une base de données a été créée avec Arcview (version 10.2), pour représenter l'ensemble des éléments du paysage de la zone d'étude. Les éléments paysagers représentés dans cette base sont les forêts, les matorrals, les parcours, les vergers, les cultures annuelles, les sources d'eau, les réseaux routiers et les chemins de fer (Fig. 10).

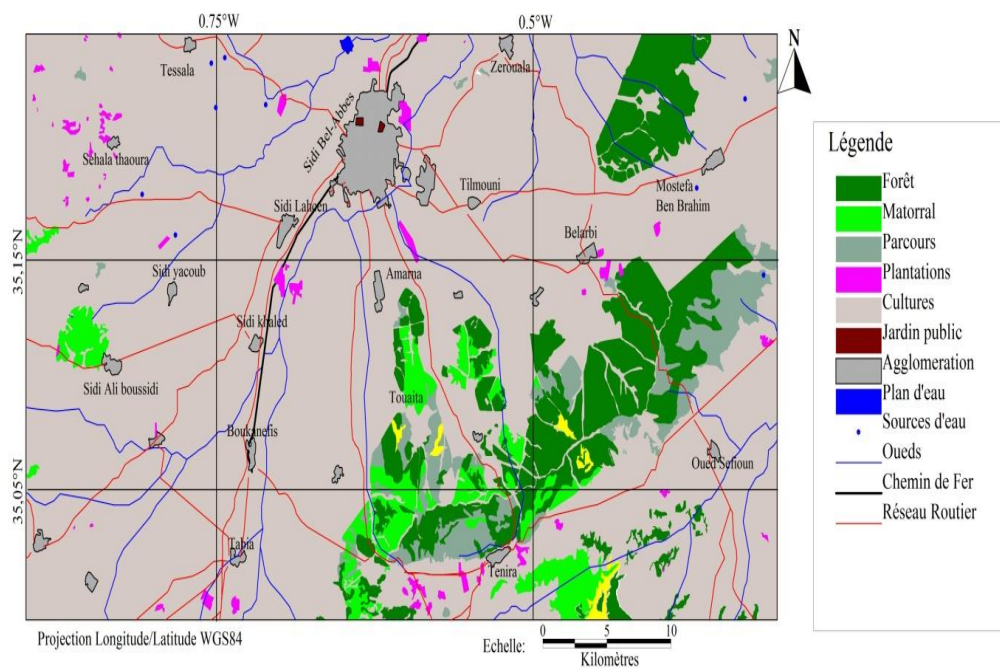


Figure 10. Cartographie de la zone d'étude effectuée avec Arcview.

L'examen de la carte ci-dessous révèle une répartition hétérogène des plantations fruitières à travers la zone. Aussi, une partie des vergers se situent dans la zone Sud là où le paysage forestier domine (Tenira). Pour les autres zones de plantation, le paysage est très peu diversifié et constitué, en plus des vergers fruitiers de cultures annuelles avec une dominance des céréales et des cultures légumières (Tabia, Sidi Lahcen et Sehala Thaoura).

3.1.3. Climat de la région d'étude

Le climat a un rôle primordial dans la distribution des espèces végétales et animales. La région de Sidi Bel Abbes subit des influences climatiques maritimes et sahariennes. Son climat est caractérisé par une saison chaude et sèche en été et une saison fraîche humide et froide en hiver. Ce sont les caractéristiques du climat méditerranéen surtout avec son régime de pluie très contrasté. Les données climatiques de la région d'étude sont obtenues à partir des relevées de la station météorologique de Sidi Bel Abbes pour une période s'étalant de 1994 à 2019, couvrant ainsi la période d'étude (2018 - 2019).

3.1.3.1. Températures

La température est un facteur climatique important pour la survie et la croissance des espèces fruitières à cause de leur sensibilité durant la période de floraison et de fructification. Elle a également une action directe sur le développement de *C. pomonella*. En effet les variations des températures entraînent des modifications de la durée de son développement. L'accouplement et la ponte ne se fait qu'à une température supérieure ou égale à 15°C (Bonnemaison, 1951). Les adultes peuvent mourir sans être reproduits si la température reste inférieure à ce seuil pendant deux semaines.

Seltzer (1943) a préconisé la réduction de 0,4°C à 0,7°C pour 100 m d'altitude à l'échelle de toute l'Algérie. Les valeurs des températures maximales, minimales et moyennes dans la région de Sidi Bel Abbes (en °C) enregistrées durant une période de 23 ans (1994 - 2017) et durant la période d'étude (2018 - 2019) sont présentées dans les tableaux 5 et 6 suivants.

Tableau 5. Variation des températures moyennes mensuelles, minimales et maximales (° C) dans la région de Sidi Bel Abbès. Période : 1994–2017(O.N.M, 2020)

T/mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T Max	9,71	10,4	12,72	15,79	19,65	25,07	28,65	29,12	24,26	20,48	14,07	10,85
T Min	-0,44	-0,09	1,58	2,38	5,88	11,14	15,11	16,38	12,03	8,12	3,14	0,19
T Moy	20,49	21,38	27,05	29,6	34,22	39,87	42,18	41,7	36,21	35,86	26,46	22,07

T° max : Température maximale mensuelle moyenne (°C) ; **T° min** : Température minimale mensuelle moyenne (°C) ; **T° moy** : Température moyenne mensuelle (°C).

Tableau 6.Températures mensuelles moyennes, minimales et maximales dans la région de Sidi Bel Abbès. Période :2018 - 2019(O.N.M, 2020).

T/mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T Max	15,7	16,5	18,75	21,6	26,15	30,6	35,4	36,15	31,3	25,7	18,65	18,3
T Min	2,05	1,5	5,5	7,5	9,65	13,6	18,65	18,25	16,65	10,85	7,85	3,9
T Moy	8,9	8,85	12,15	14,55	17,95	22,15	27	27,2	23,95	18,3	13,25	11,1

Les températures moyennes maximales les plus élevées sont enregistrées durant le mois d'août avec 29,12°C. Février est le mois le plus froid avec -0,09°C. La température moyenne annuelle est de 42,18°C (Tab. 6). La même tendance est constatée pour les deux années d'étude, mais avec un léger écart des températures enregistrées. En effet, août est le mois le plus chaud (36,15°C) et février le mois le plus froid (1,5°C).

3.1.3.2. Pluviométrie

Les précipitations constituent un facteur écologique d'importance fondamentale pour la production agricole et influencent l'activité reproductrice des êtres vivants (Ramade, 1984 ; Dajoz, 2006). Selon Colombin (1952), chez le carpocapse les précipitations et leurs intensité saffectent l'accouplement, la ponte et les larves néonates avant leurs entrées dans les fruits. Les précipitations mensuelles enregistrées durant les périodes 1994-2017 et 2018-2019 sont consignées dans les tableaux 7 ci-dessous.

Tableau 7. Variation des précipitations moyennes mensuelles (P, mm) dans la région de Sidi Bel Abbès. Périodes : 1994 - 2017 et 2018-2019 (O.N.M, 2020).

Périodes	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1994 - 2017	48,09	36,56	40,86	34,73	21,52	6,15	1,2	3,05	20,06	35,78	62,16	46,5
2018 - 2019	47,4	20,15	59,2	38,25	22,6	5,65	1,6	2,35	50,55	41,2	53,55	37,1

Pour la période 1994 – 2017, la pluviométrie moyenne annuelle est de 356,67 mm. La précipitation moyenne la plus élevée est enregistrée durant le mois de novembre avec 62,16 mm et la plus faible au mois de juillet avec 1,2 mm. Alors que durant la période d’étude, la moyenne annuelle était plus importante (397,6 mm). Le mois le plus pluvieux était mars (59,2 mm) alors que juillet était le mois le plus sec (1,6 mm).

3.1.3.3. L’humidité relative de l’air

L’humidité relative de l’air varie sensiblement en fonction des saisons (Moussi, 2012), elle augmente en saison de pluie et diminue en saison sèche. Elle peut provoquer une diminution du nombre d’individus d’une population animales, si les conditions sont défavorables (Dajoz, 2006). Un excès d’humidité dans le sol peut causer une asphyxie racinaire pour le pommier et le poirier.

L’humidité relative moyenne et mensuelle de l’air de la région de Sidi Bel Abbès pour les périodes 1994 - 2017 et 2018–2019, est consignée dans les tableaux 8ci-dessous.

Tableau 8. Variation de l’humidité relative (HR %) moyenne mensuelle dans la région de Sidi Bel Abbès. Périodes ; 1994 – 2017 et 2018-2019 (O.N.M, 2020)

Périodes	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1994 - 2017	71	70	66	62	58	50	44	47	57	62	68	71
2018 - 2019	67,3	67,35	67,45	61,95	51,55	48,95	41,4	43	59,25	57,55	71,55	70,45

L’humidité moyenne annuelle, pour la période 1994-2017, est de 60, 5%. Elle varie entre 44(juillet) et 71% (décembre et janvier). La tendance est assez similaire, pour la période d’étude. En effet, la valeur de l’humidité de l’air la plus élevée est enregistrée au mois de novembre avec 71,55%, et fût la plus basse au mois de juillet avec 41,4%.

Ce paramètre a un impact sur la consommation en eau des arbres, plus l'air est humide, plus l'évapotranspiration (ETP) est limitée et l'arbre consomme moins d'eau.

3.1.3.4. Vents et gelées

Dans la région de Sidi Bel Abbès, les vents dominants soufflent du nord-Ouest. Les vents du nord sont fréquents durant toute l'année et ils sont violents durant les mois d'Octobre et de Mars. La période estivale est caractérisée par des vents chauds et secs (sirocco), ils interviennent aux mois de Juillet et d'Août, avec une fréquence de 15 jours par année (Tab. 9).

Tableau 9. Vitesse moyenne des vents (m/s) dans la région de Sidi Bel Abbès. Périodes : 1994-2017 et 2018-2019 (O.N.M, 2020)

Périodes	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1994 - 2017	2,15	2,15	2,2	3,3	2,45	2,45	2,25	1,95	1,8	1,83	2,55	1,95
2018-2019	3,59	3,09	4,56	4,15	3,52	3,8	3,75	3,29	2,86	3,36	4,21	2,88

Durant la période d'étude, la vitesse moyenne maximale du vent est enregistrée au mois de mars avec 4,56 m/s alors que le minimum est noté au mois de septembre avec 2,86 m/s. Alors qu'a vitesse moyenne annuelle fût de 3,58 m/s. Quant-aux gelées, elles sont très fréquentes en automne et s'étalent jusqu'au printemps. En période printanière, elles peuvent causer d'importants dégâts aux cultures, au moment de la floraison.

3.1.3.5. Synthèse climatique

Le climat méditerranéen est caractérisé par un été sec et un hiver humide et froid (Estienne et Godard, 1970). Selon Lebreton (1978) et Dajoz (1996), les deux facteurs climatiques température et pluviosité sont les facteurs les mieux connus qui permettent de définir les limites climatiques d'une espèce donnée. Les diagrammes ombrothermiques de la zone d'étude ont été réalisés pour les périodes 1994 - 2019 (Fig. 11 A) et 2018-2019 (Fig. 11 B).

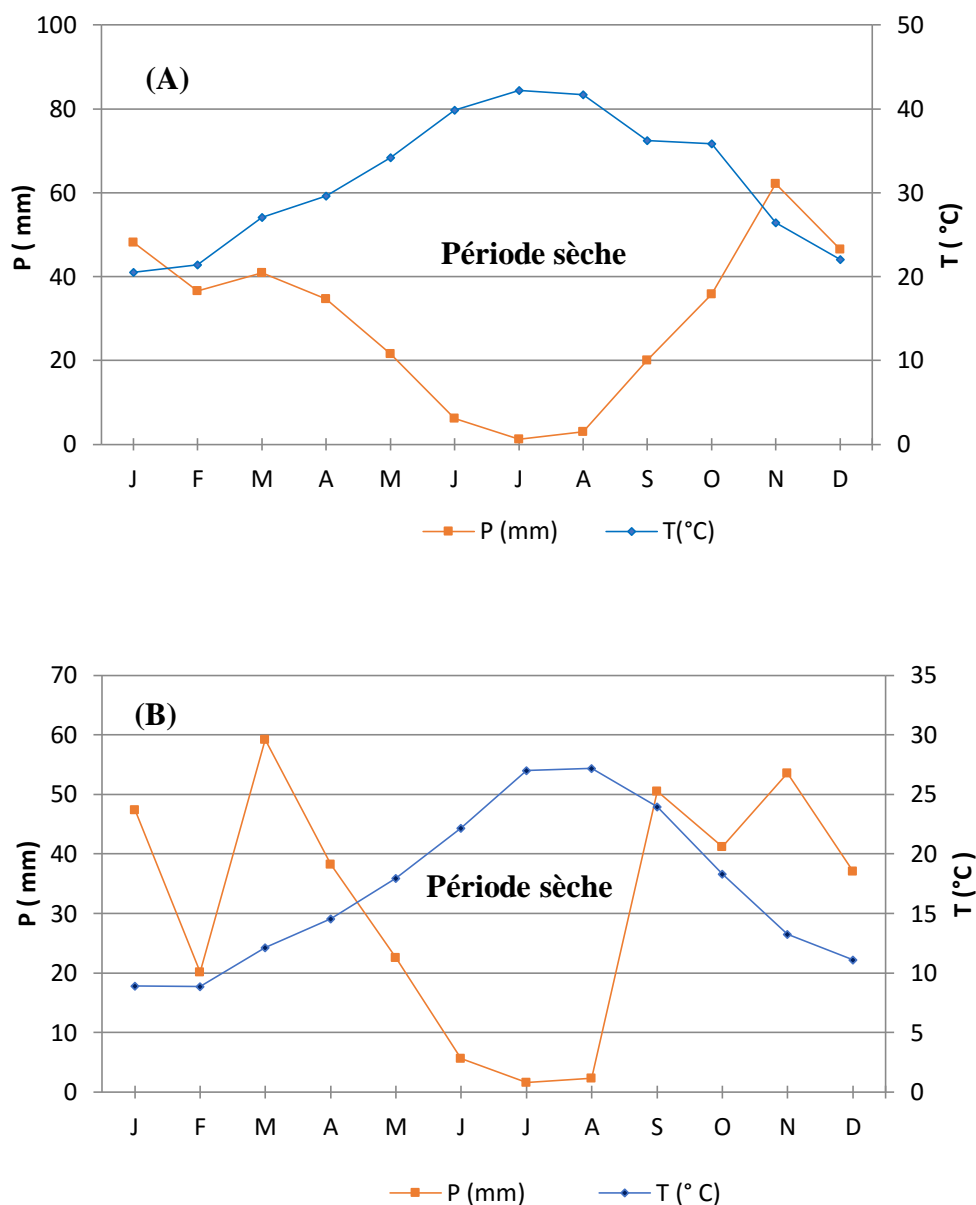


Figure 11. Diagramme ombrothermique de la région de Sidi Bel Abbès, période :1994-2019 (A) et 2018-2019 (B).

Dans la zone d'étude la période sèche s'étale du mois de février à novembre (10 mois) d'avril à septembre. A titre indicatif, durant la période d'étude la période sèche était courte et s'étaler du mois d'avril à septembre. Toutefois, la longue période sèche ne constitue pas une entrave majeure pour les cultures fruitières dont le déficit est comblé par les irrigations, exception faite pour les vergers menés sous les conditions pluviales (cas du site d'étude : Sehala Thaoura). D'autre part l'examen du climmagrame montre que la zone d'étude appartient à l'étage aride à hiver frais (Fig. 12) (voir calcul du Q_2 en annexe3).

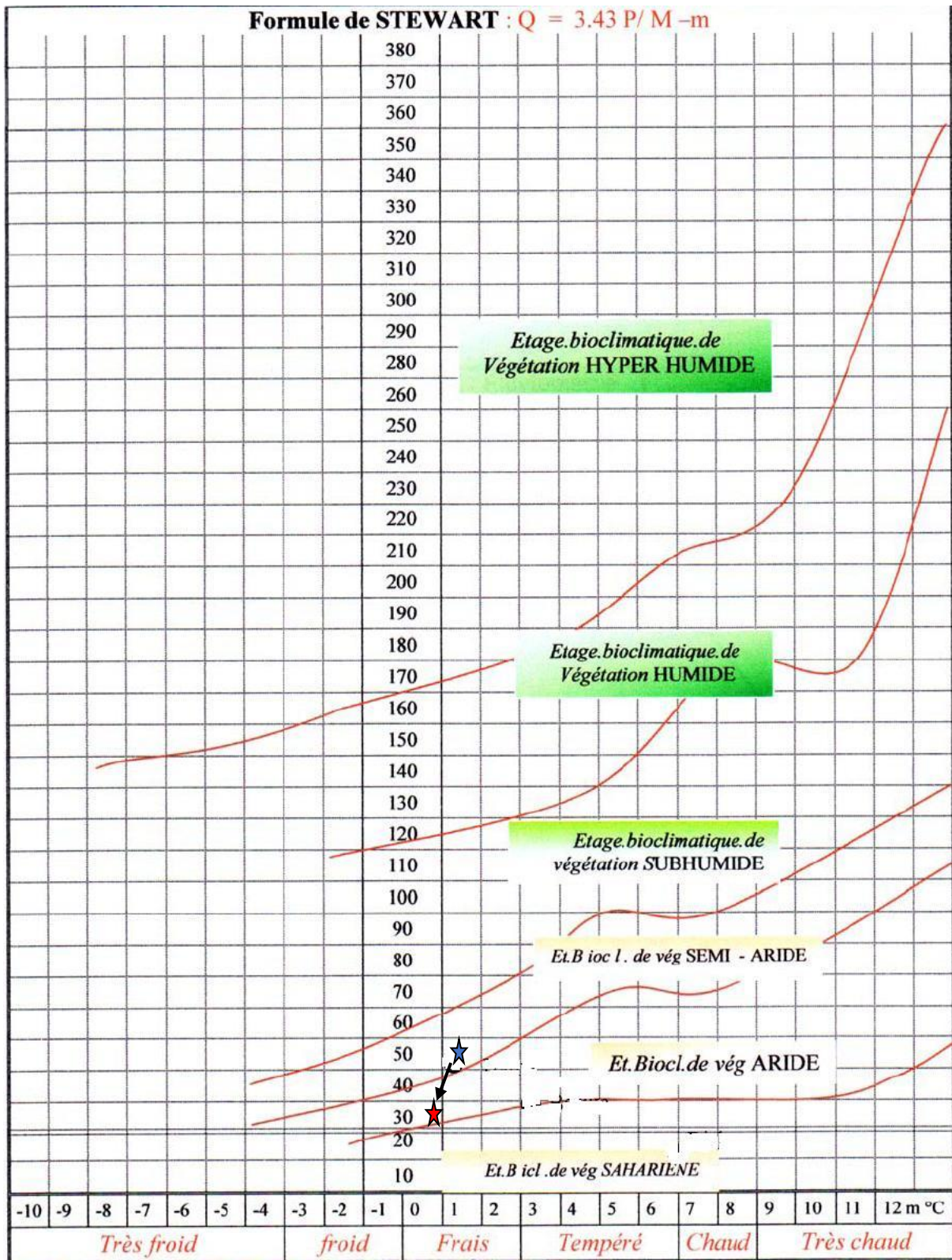


Figure 12. Etage bioclimatique de la région de Sidi Bel Abbès. Périodes : 1913 - 1938 ($Q_2 = 42,14$) et 1994- 2019 ($Q_2 = 29,06$).

3.2. Description des sites d'étude

Notre étude s'est déroulée au niveau de quatre communes potentielles de la wilaya de Sidi Bel Abbes : Sehala Thaoura, Tabia, Sidi Lahcen et Tenira, disposants de paysages diversifiés. Les quatre communes sont situées entre la latitude 35°01' et 35°12'N et les longitudes 0°31' et 0°49'W, avec des altitudes variant de 506(Sidi Lahcen) à 610 m(Tenira). Elles couvrent un rayon moyen de 50 km (Fig. 13). L'activité agricole y est prédominante avec notamment des céréales, du maraichage, des légumineuses alimentaires, des rosacées à pépins et à noyaux, de l'olivier et du vignoble. Le paysage de ces communes est marqué par un réseau de brise-vents (hais), essentiellement de casuarina, de cyprès et d'oliviers. Les vergers fruitiers conduits en intensifs sont dotés de système d'irrigation goutte à goutte, alors que les vergers extensifs, traditionnels, sont soit en condition pluviale (sans irrigation) soit irrigués par la méthode des cuvettes. Les caractéristiques des vergers de pommiers et poiriers, dans les sites d'étude, sont données dans le tableau 10 ci-dessous.

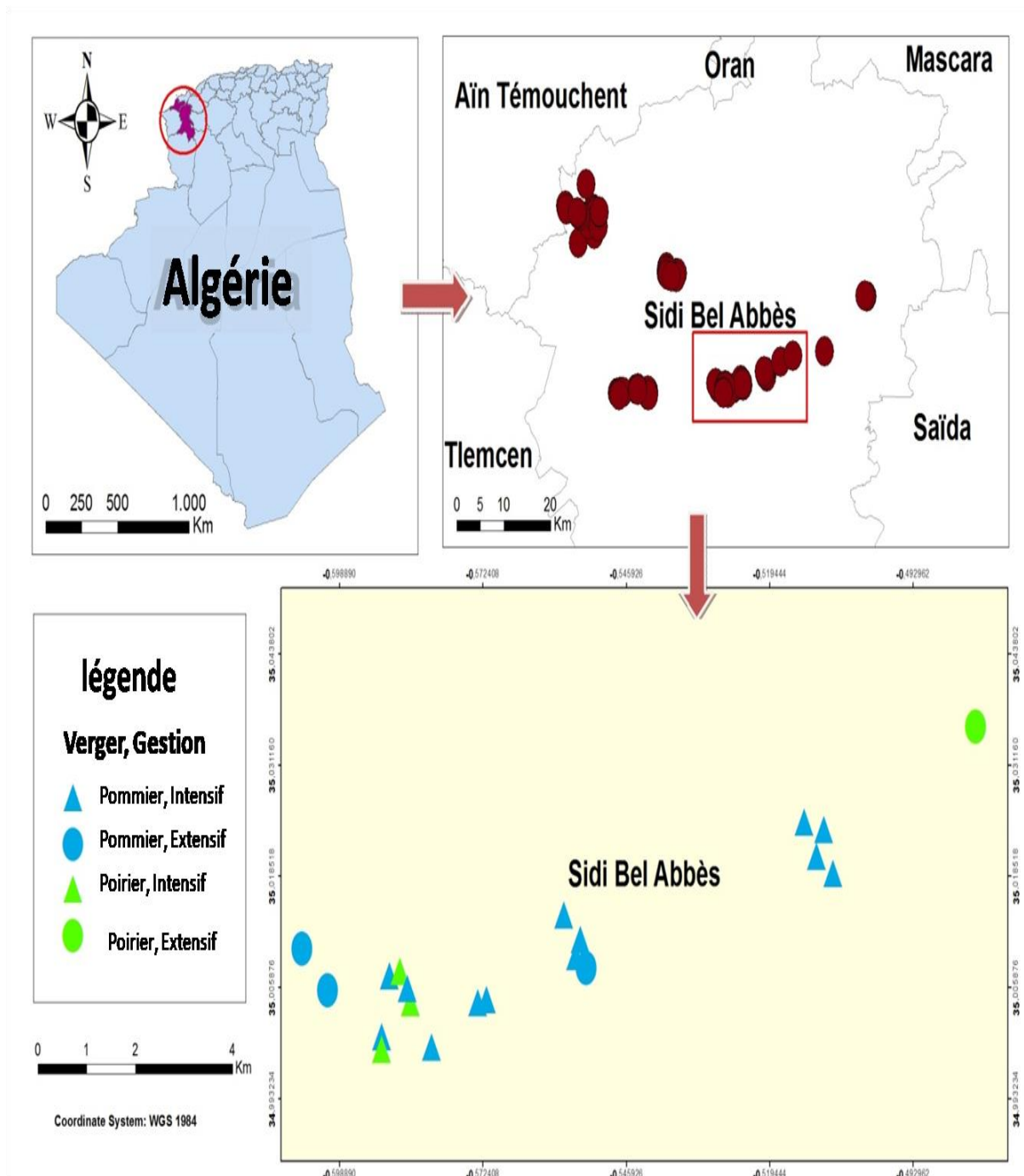


Figure 13. Géo-localisation et caractéristiques des vergers des sites d'étude dans la région de Sidi Bel Abbès, sous Arcview.

Tableau 10. Caractéristiques des vergers de pommiers et de poiriers dans les sites d'étude.

Site d'étude	Coordonnées géographiques	Pommier (ha)	Poirier (ha)	Système de conduite dominant et caractéristique
Sehala Thaoura	Lat: 35°12'4"N Long: 0°49'54" W Altitude :504 m	253	8	-15,8 km de Sidi Lahcen -26 km de Tabia- 37,7 km de Tenira. -Paysage assez escarpé, constitué des cultures fruitières et annuelles. -Vergers extensifs pluviales (non irrigués).
Sidi Lahcen	Lat :35°09'48"N Long :0°41'45" W Altitude :506 m	78	8	-15,8 km de Sehala Thaoura -15,9 km de Tabia-22,3 km de Tenira. -Paysage plat constitué par des cultures fruitières et annuelles. -Vergers intensifs irrigués
Tabia	Lat :35°01'04"N Long :0°44'02" W Altitude :616m	184	74	-26 km de de Sehala Thaoura – 15,9 km de sidi Lahcen-18,7 km de Tenira. -Paysage agricole diversifié constitué par des cultures fruitières et annuelles -Vergers intensifs et extensifs irrigués
Tenira	Lat :35°01'11"N Long :0°31'55" W Altitude : 610 m	174	80	-37,7 km de Sehala Thaoura – 22,3 km de Sidi Lahcen – 18,7 km de Tabia. - Paysage agro-forestier, constitué de forêt, matorral, cultures fruitières et annuelles -Vergers intensifs et vergers extensifs irrigués

Les quatre sites totalisent une superficie de 689 ha de pommiers (80,2 %) et 170 ha de poiriers (19,8 %), constituant 46 % de la superficie totale de la région de Sidi Bel Abbés (28 % pommiers et 18 % poiriers).

3.2.1. Echantillonnage des vergers

L'échantillonnage des vergers constitue une étape indispensable pour le suivi de la dynamique des populations du carpocapse. Ainsi nous avons retenue quatre principaux critères de choix des vergers cibles, au sein de chacun des quatre sites d'étude. Ses critères sont :

- Diversité et proportion des variétés de pommiers et de poiriers en production.
- L'accessibilité aux vergers et l'adhésion des arboriculteurs
- Le système de conduite des vergers (intensive ou extensive)
- Le mode d'irrigation et la distance inter vergers

Tous les vergers de pommiers et de poiriers cibles sont en production et conduit en agriculture conventionnelle. Aucun verger conduit en agriculture biologique ou abandonné n'a été trouvé au niveau des différents sites d'étude. En effet dans la région de Sidi Bel Abbes, la stratégie de lutte contre le carpocapse, se base sur la l'utilisation exclusive des insecticides chimiques.

En 2018, l'utilisation des critères de choix, nous ont permis de retenir un échantillon de 72 vergers dont 52 de pommiers et 20 de poiriers (Tab. 11). Les coordonnées géographiques de chaque verger ont été relevées. Les vergers retenus ont fait l'objet de suivi durant deux années d'étude (2018 et 2019). La taille moyenne des vergers cibles varie de 0,5 ha à 4 ha. La figure 14 ci-dessou sillustre la position géographique de l'ensemble des vergers cibles, à travers les quatre sites d'étude. Les 72 vergers cibles appartiennent à 28 exploitants agricoles dont les caractéristiques sont présentées en annexe 4.

Tableau 11. Vergers de pommiers et de poiriers cibles retenus par site d'étude, en 2018.

Site d'étude	Pommier			Poirier			Nombre d'exploitants
	Intensif	Extensif	Sup (ha)	Intensif	Extensif	Sup (ha)	
Sehala Thaoura	-	20	31,95	-	2	6	12
Sidi Lahcen	9	-	22,25	-	2	2	2
Tabia	4	1	15	8	-	13,5	4
Tenira	16	2	30,75	6	2	14,25	10
Total (72)	29	23	99,95	14	6	35,75	28
Proportion (%)	40,29	31,94	73,65	8,33	8,33	26,35	-

Sur les 72 vergers retenus, 72,23 % sont constitués de pommiers dont 40,29 % en intensif et 31,94% en extensif. Les vergers de poiriers quant à eux représentent un taux de 27,77 % dont 19,44 % en intensif et 08,33 % en extensif. Les vergers cibles totalisent une superficie de 135,7 ha dont 73,65 % de pommiers et 26,35 % de poiriers. Cette superficie constitue 7,3 % du potentiel en rapport de toute la région de Sidi Bel Abbés. (1400 ha pommier et 469,50 ha de poirier ; voir chapitre II plus haut). Pour ce qui l'hétérogénéité du nombre d'exploitants (28) par site d'étude, elle est essentiellement fonction du degré d'acceptation du déroulement des travaux expérimentaux au sein des vergers.

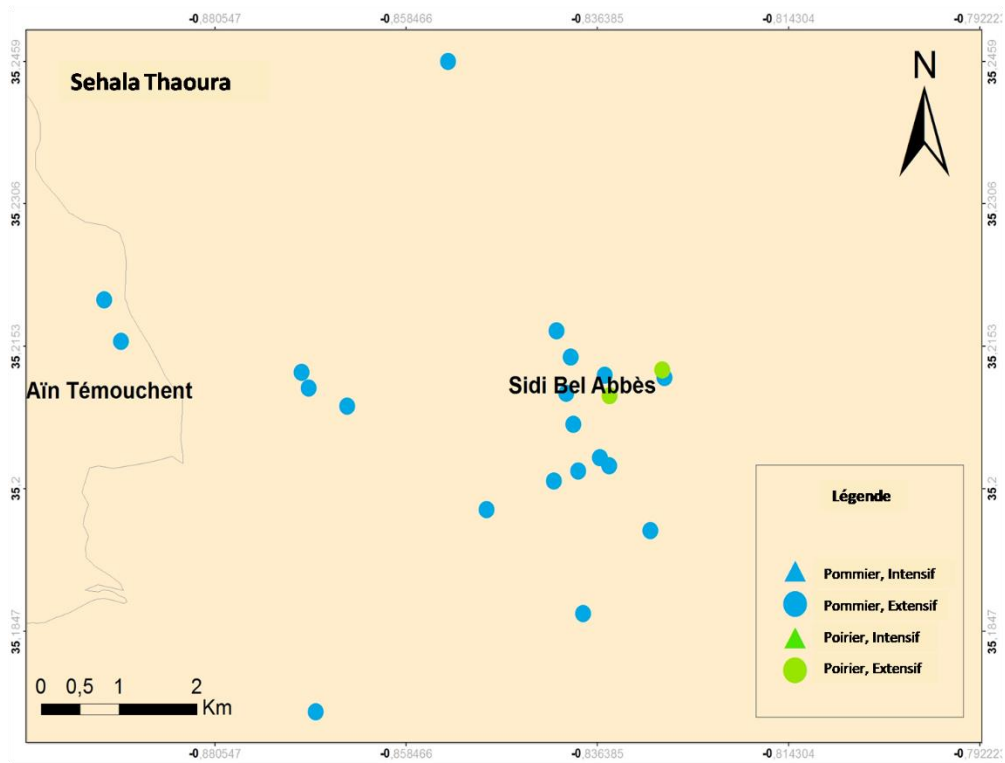


Figure 14(A). Géolocalisation des vergers cibles, en 2018, dans le site de Sehala Thaoura, représentée sous Arcview.

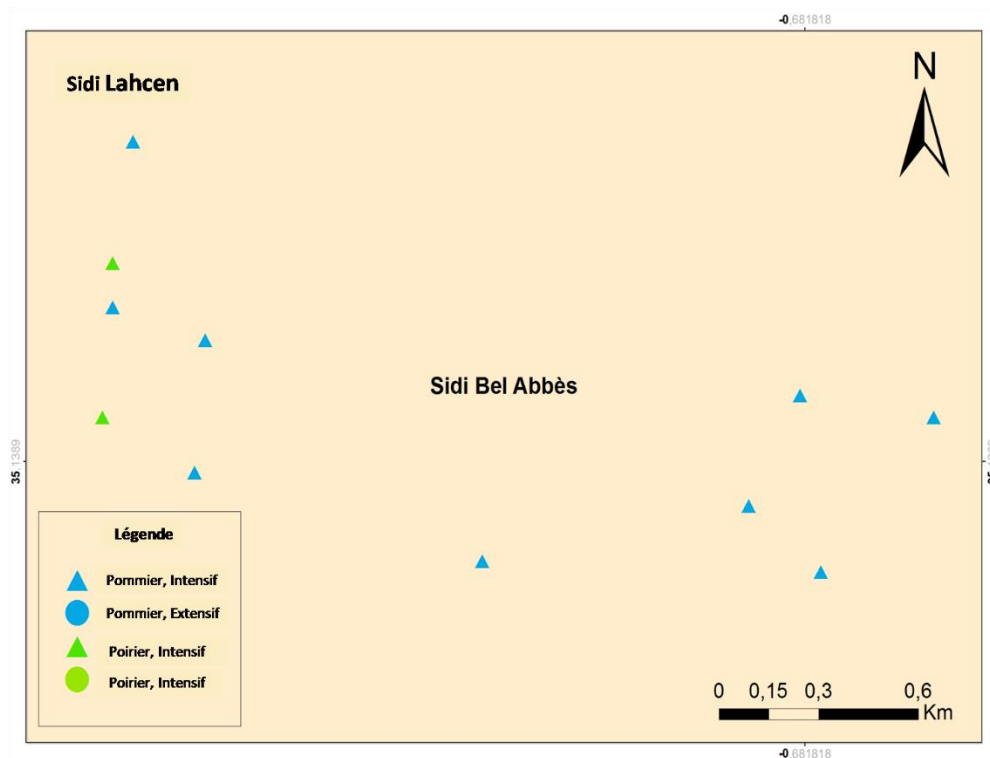


Figure 14(B). Géolocalisation des vergers cibles du site de Sidi Lahcen en 2018, représentée sous Arcview.

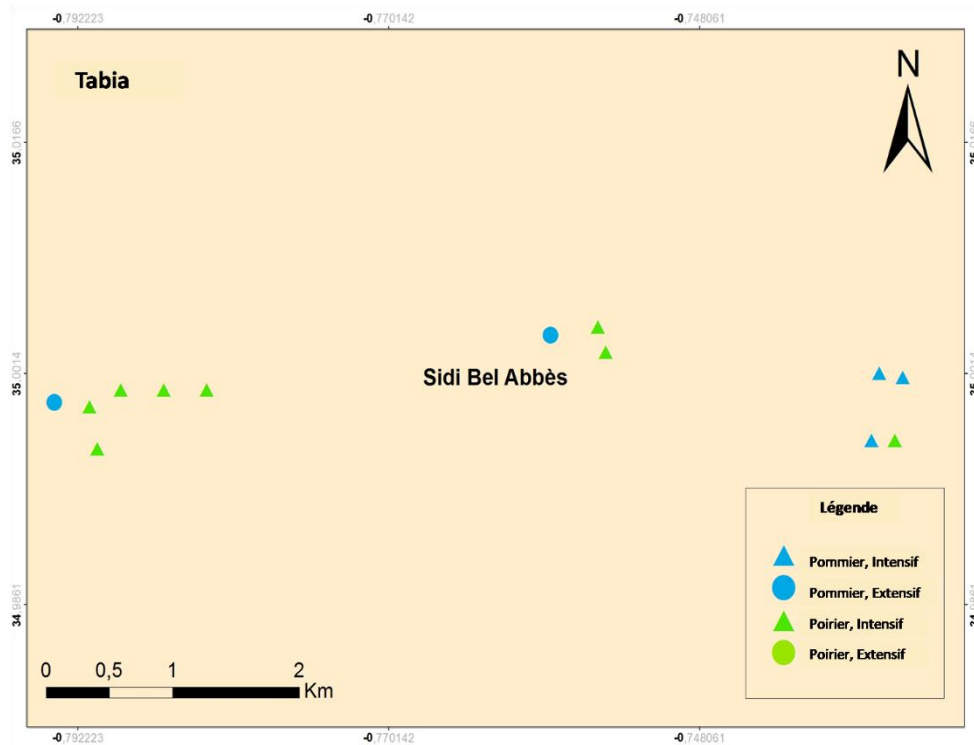


Figure 14(C). Géolocalisation des vergers cibles du site de Tabia en 2018, représentée sous Arcview.

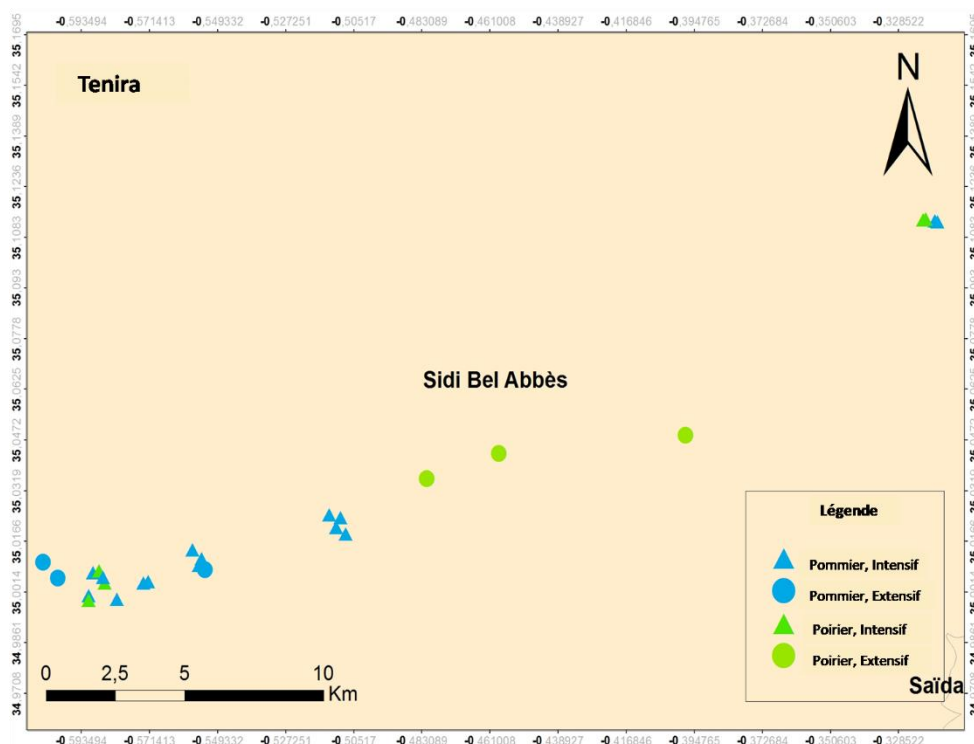


Figure 14(D). Géolocalisation des vergers cibles du site de Tenira en 2018, représentée sous Arcview.

3.2.2. Synthèse des pratiques culturales réalisées dans les vergers cibles

Les différentes pratiques agricoles réalisées par les exploitants retenus dans cette étude, ont été identifiées durant les deux années d'étude. Nous avons en particulier, insisté sur le calendrier des traitements phytosanitaires entrepris contre le carpocapse. Les pratiques entreprises par chaque exploitant sont présentées dans les tableaux 12, 13, 14 et 15 ci-dessous.

3.2.2.1. Travaux du sol, taille et fertilisation minérale

Ainsi durant la période d'étude, des opérations de labours superficielles ont été réalisées en automne, au printemps et eu début d'été dans les vergers cibles situés au niveau du site de Sehala Thaoura. Alors qu'au niveau des trois autres sites, les exploitants n'ont effectué aucun labour, mais juste un broyage mécanique du bois de taille et la destruction mécanique des mauvaises herbes.

Les techniques de taille sont maîtrisées par la plupart des arboriculteurs. Pendant la dormance hivernale, la taille est pratiquée de la fin du mois de décembre au mois de février. Elle consiste à éliminer les gourmands ainsi que les branches mortes considérés comme abri pour divers insectes ravageurs. Deux types de taille sont pratiqués : une taille de formation qui favorise la croissance végétative de l'arbre tout en limitant la production fructifère et la création de la forme fruitière désirée. Puis la taille de fructification qui favorise le développement de la structure fructifère (lambourde, coursonne) tout en limitant la croissance végétative de l'arbre.

Au niveau des sites de Tabia, Sidi Lahcen et Tenira, les arboriculteurs utilisent des engrais chimiques, par fertirrigation, dont les apports sont fonction des analyses de sols. Les applications d'engrais sont fractionnées au cours de la saison. En hiver, les apports de fond s'effectuent par des engrais N.P.K (20 - 20-20, 17,44-00 et 12 - 61-00) à raison de 100 kg à 200/ha. En cours de saison, les engrais de couverture sous forme d'urée 46 % sont apportés à raison de 100 kg/ha. D'autres applications sont également effectuées à base d'engrais riche en nitrate de potasse (13-00-46) et de sulfate de potasse (00-00-50) à raison de 120 à 160 kg/ha. Pour ce qui du site de Sehala Thaoura, dont la conduite extensive se fait en condition pluviale, l'ensemble des exploitants utilisent entre 5 à et 100 kg de super phosphate triple, comme engrais de fond, augmentée par des apports d'engrais liquides riches en potasse, en application foliaire en cours de saison.

3.2.2.2. Eclaircissage et traitements phytosanitaires

L'éclaircissage est une opération qui consiste à réduire le nombre des fruits, durant la phase de nouaison et permet d'améliorer la qualité, le rendement et la régularité de la production. Elle s'effectue soit chimiquement soit manuellement. Dans la zone d'étude, cette opération est effectuée chaque année dans les vergers de pommiers en intensifs. Certains exploitants utilisent un éclaircissage chimique et manuel et d'autres uniquement manuel. L'éclaircissage chimique se fait par des traitements à base d'hormones autour de la floraison dans l'objectif de ne garder qu'un fruit par bouquet (Trillot et al., 2002).

Des traitements phytosanitaires ont été réalisés durant notre période d'étude au niveau des vergers cibles pour lutter contre le carpocapse (Fig. 15). Le nombre de traitements et les types des produits utilisés varient d'un exploitant à l'autre (voir Tab 1, annexe 5). On note que les exploitants de la région de Sehala Thaoura ne traitent que par des produits génériques souvent moins chers et peu efficaces. 20 à 30 applications chimiques sont réalisées par année pour les vergers intensifs et moins de 20 pour les vergers extensifs, pour le contrôle de l'ensemble des bio agresseurs.



Figure 15. Application phytosanitaire contre le carpocapse en verger de pommiers intensifs dans le site de Sidi Lahcen (variété Jérôme).

Tableau 12. Pratiques culturales réalisées dans les vergers cibles du site de Sehala Thaoura.

Verger	Système de conduite	Pratique culturale réalisée
Pommier et poirier	<p>Extensif non irrigué, forme libre avec pour le :</p> <p>-pommier : densité de 500 plants/ha</p> <p>-poirier : densité de 625 plants/ha</p>	<p>-Labour en automne, printemps et été.</p> <p>-Taille de fructification et de rajeunissement.</p> <p>-Fertilisation avec un engrais de fond en hiver (super phosphate triple) avec une dose comprise entre 50 et 100 kg/ha + apports d'engrais liquides riche en potasse par application foliaire.</p> <p>-L'éclaircissage, chimique ou manuel, n'a pas été pratiqué.</p> <p>-Des applications phytosanitaires ont été réalisées durant notre période d'étude, contre les ravageurs et les maladies fongiques. Pour le carpocapse, les traitements phytosanitaires se font contre les adultes vers la fin mai (en moyenne 7 applications dans la saison).</p>

Tableau 13.Pratiques culturales réalisées dans les vergers cibles du site de Tabia.

Vergers	Système de conduite	Pratique culturale réalisée
Pommier et poirier	- Pommier intensif, irrigué, forme palissée avec une densité de 2083 plants/ha (haute densité).	-Labour réalisé en automne, printemps et été au niveau du verger du pommier en extensif.
	-Pommier extensif, irrigué, forme libre avec une densité de 500 plants/ha.	-Broyage réalisé après la taille, puis à la récolte et lorsque les mauvaises herbes ont moins de 30 cm dans les vergers de pommiers et de poiriers en intensifs.
	-Poirier intensif, irrigué, palissée avec une densité de 1666 plants/ha.	-Taille de fructification et de rajeunissement.
	-Poirier intensif, irrigué non palissé avec une densité de 1250 plants/ha.	-Fertilisation avec le MAP ou bien le 30 - 10-10 (100 et 150 kg/ha) + des engrais riches en potasse (120 à 160 kg : nitrate de potasse 13 - 00-46 et sulfate de potasse 00 - 00-50) dans les vergers de pommiers et de poiriers, parfois avec apport d'urée 46% (50 à 90 kg/ha).
		-L'éclaircissage chimique et mécanique est pratiqué par les exploitons de cette station pour les vergers de pommiers en intensifs et un éclaircissage mécanique dans quelques vergers de poiriers de la variété Santa Maria et Passe Crassane.
		-Des traitements phytosanitaires ont été réalisés contre les insectes nuisibles, les maladies fongiques et les mauvaises herbes. Pour le carpocapse, les traitements phytosanitaires se font contre les œufs et les larves L1 et les adultes vers le début mai (en moyenne 10 à 14 applications durant la saison).

Tableau14.Pratiques culturales réalisées dans les vergers cibles du site de Sidi Lahcen.

Verger	Système de conduite	Pratique culturale réalisée
Pommier et poirier	<p>- Pommier intensif, irrigué, forme palissée avec une densité de 2083 plants/ha.</p> <p>-Poirier intensif, irrigué, forme palissée avec une densité de 1666 plants/ha, et non palissée avec 1250 plants/ha.</p>	<p>-Un broyage après la taille, puis à la récolte et lorsque les mauvaises herbes ont moins de 30 cm.</p> <p>-Une taille de fructification et rajeunissement.</p> <p>- Fertilisation avec le MAP ou bien le 30 - 10-10 (100 et 150 kg/ha) + des engrais riches en potasse (120 à 160 kg : nitrate de potasse 13 - 00 - 46 et sulfate de potasse 00 - 00 - 50) dans les vergers de pommiers et de poiriers, parfois avec apport d'urée 46% (50 à 90 kg/ha).</p> <p>- L'éclaircissage chimique et mécanique est pratiqué dans les vergers de pommiers en intensifs et un éclaircissage mécanique dans les vergers de poiriers pour la variété Santa Maria.</p> <p>- Des traitements phytosanitaires ont été réalisés contre les insectes nuisibles, les maladies fongiques et les mauvaises herbes. Pour le carpocapse, les traitements phytosanitaires se font contre les œufs et les larves L1 et les adultes vers le début mai (en moyenne 10 à 14 applications durant la saison).</p>

Tableau 15. Pratiques culturales réalisées dans les vergers cibles du site de Tenira.

Verger	Système de conduite	Pratique culturale réalisée
Pommier et poirier	<p>Pommier et poirier intensifs irrigués et palissés</p> <p>+</p> <p>02 vergers de pommier en extensif avec une densité de 500 plants/ha</p>	<p>-Un labour a été réalisé en automne, printemps et été.</p> <p>-Taille de fructification et de rajeunissement</p> <p>-Fertilisation avec le MAP ou bien le 30 - 10 - 10 (100 et 150 kg/ha) + des engrais riches en potasse (120 à 160 kg : nitrate de potasse 13 - 00 - 46 et sulfate de potasse 00 - 00 - 50) dans les vergers de pommiers et de poiriers, parfois avec apport d'urée 46% (50 à 90 kg/ha).</p> <p>-L'éclaircissage chimique et mécanique est pratiqué pour les vergers de pommiers en intensifs et un éclaircissage mécanique dans les vergers de poiriers pour les variétés Santa Maria et Passe Crassane.</p> <p>-Des traitements phytosanitaires ont été réalisés contre les insectes nuisibles, les maladies fongiques et les mauvaises herbes. Pour le carpocapse, les traitements phytosanitaires se font contre les œufs et les larves L1 et les adultes vers le début mai (en moyenne 10 à 14 applications durant la saison).</p>

3.3. Matériels et méthodes d'étude

Les observations et expérimentations portant sur les populations de *C. pomonella*, se sont déroulées en deux grandes étapes :

- La première, réalisée sur terrain, porte sur l'étude de la dynamique des populations, l'étude de la répartition spatiale intra-verger des larves diapausantes et l'évaluation des dégâts sur pommes et poires, dans les 72 vergers cibles.
- La seconde, au laboratoire, porte sur l'identification moléculaire du carpocapse, l'extraction et l'identification par GC-MS de l'huile essentielle d'une plante médicinale « *Artemisia herba alba* » ainsi que les tests de toxicités contre les larves L5 du carpocapse.

3.3.1. Identification moléculaire de *C. pomonella*

3.3.1.1. Extraction et séquençage de l'ADN

En Octobre 2019, des larves diapausantes (40 larves) ont été collectées à partir des bandes pièges installées autour des troncs d'arbres de pommiers au niveau des trois stations : Sehala Thaoura (35°12'09"N, 0°50'07"W ; 14 larves), Sidi Lahcen (35°08'17"N, 0°41'00"W ; 13 larves) et Tenira (35°00'27"N, 0°35'25"W ; 13 larves). Ces larves ont été conservées dans des flacons contenant de l'alcool pur à 96% dans un réfrigérateur à -4°C.

L'identification moléculaire des larves a été réalisée au niveau du laboratoire de biologie moléculaire de l'école des ingénieurs et des forêts à Plasencia, en Espagne. L'ADN a été extrait en utilisant un kit d'extraction commerciale approprié (EZNA® Tissue DNA Kit) conformément aux instructions du fabricant. Il s'agit d'un kit qui propose un protocole spécifique pour l'extraction d'ADN génomique des insectes.

Nous avons amplifié deux fragments du gène mitochondrial Cytochrome oxydase I (COI) de chaque individu. Le premier fragment (ci-après le COI de Folmer) a été amplifié à l'aide de la paire d'amorces standard pour le codage à barres de l'ADN LCO1490/HCO2198 (voir Folmer et al., 1994, pour plus de détails sur les séquences d'amorce et les protocoles de PCR). Pour le second (ci-après COI de Pat et Jerry). Nous avons utilisé les amorces C1-J-2183 (Jerry) et L2- N-3014 (Pat) (amorce et détails PCR à Hughes et Vogler, 2004).

Le séquençage a été réalisé à l'aide de la technologie Big-Dye (Perkin-Elmer) et d'un séquenceur ABI3700. Nous avons assemblé, inspecté et édité les chromatogrammes à l'aide de Séquenceur 4.6 (Gene Codes Corp., Ann Arbor, MI, USA), obtenant des séquences d'ADN de bonne qualité de 37 individus pour le fragment de COI de Folmer et de 39 individus dans le cas de celui de Pat et Jerry. Les séquences ont été réduites à 620 et 790 paires de base respectivement pour réduire la proportion de données manquantes. Nous avons traduit toutes les séquences en acides aminés à l'aide du logiciel MacClade (Maddison et Maddison, 2005) pour assurer qu'il n'y avait pas d'insertions mitochondriales nucléaires (numts) ou de codons stop (car l'ADN mitochondrial doit être exempt d'introns) (Bonal et al., 2018).

3.3.1.2. Alignement de la base de données d'ADN

Nous avons cherché tous les codes-barres d'ADN disponibles pour *C. pomonella* dans le système Barcoding of Life Data –BOLD (Ratnasingham et Hebert, 2007). Le terme code-barres de l'ADN est utilisé pour désigner un fragment du gène mitochondrial Cytochrome oxydase I (ancien fragment de *s*) qui montre peu de variabilité intra spécifique et est utilisé comme une étiquette spécifique pour l'identification des spécimens qui ne peuvent être déterminés morphologiquement (Hebert et al., 2003). Le moteur de recherche des systèmes de données sur la vie (<https://www.boldsystems.org/>) contient la plus grande base de données de codes-barres d'ADN au monde. Il comprend tous ceux qui sont téléchargés directement par les chercheurs de cette base et les séquences soumises à GenBank et plus tard exploitées par BOLD.

Au total, 284 codes-barres d'ADN ont été téléchargés à partir de BOLD, y compris des séquences provenant d'Europe, d'Amérique, d'Australie et d'Asie. Ces séquences ont été regroupées avec les codes-barres d'ADN d'Algérie (fragments de Folmer) séquencés par nous-mêmes. Nous les avons alignés tous ensemble en utilisant le logiciel MUSCLE (Edgard, 2004) tel qu'implémenté dans MEGA 7 (Kumar et al., 2016 ; valeurs par défaut). Nous avons écarté toutes les séquences inférieures à 600 paires de base et celles avec un faible chevauchement (inférieur à 85%) avec les séquences de référence de nos sites d'étude à Sidi Bel Abbes. Une fois ces séquences éliminées, nous avons obtenu une base de données finale de 176 séquences qui ont été regroupées en haplotypes uniques à l'aide du système en ligne Fasta séquence toolbox FaBox (Villesen, 2007).

3.3.1.3. Reconstruction phylogénétique et relations évolutives entre les haplotypes

Nous avons évalué les relations phylogénétiques entre les haplotypes disponibles de *C. pomonella* (fragment de COI de Folmer) à l'aide des analyses d'inférence bayésienne mises en œuvre dans le logiciel M. Bayes 3.2 (Ronquist et al., 2012). Pour ce faire, nous avons sélectionné une séquence de chaque haplotype et une séquence d'une autre espèce du même genre (*Cydia fagiglandana*) en tant que sous-groupe. Le modèle de substitution des nucléotides utilisé dans la reconstruction phylogénétique était GTR + I + Gamma.

Les paramètres de l'inférence bayésienne ont été configurés jusqu'à deux séries parallèles de 5 millions de générations chacune, réalisées à l'aide d'une chaîne de Markov froide et de deux chaînes de Markov réchauffées par incréments ($\Lambda=0,2$), échantillonnant toutes les 5000 étapes. Nous avons examiné les diagnostics de convergence standard mis en œuvre dans Mr Bayes et l'écart-type moyen des fréquences fractionnées pour évaluer que la chaîne de Markov avait atteint la stationnarité. Après 1 250000 générations, l'écart-type moyen des fréquences fractionnées s'est stabilisé en valeurs proches de zéro (0,001), et les arbres phylogénétiques ont été synthétisés à l'aide de la commande consensuelle tout-compatible avec 25% de burn-in.

En plus des arbres phylogénétiques, nous avons utilisé le logiciel POPART (Leigh et Bryant, 2015) pour construire des réseaux de parcimonie statistique parmi tous les haplotypes distincts de *C. pomonella* pour évaluer leurs relations évolutives (Templeton et al., 1992). De ce fait, nous pourrions également évaluer les séquences de mutations ainsi que leur propagation dans le monde à partir de leur aire de répartition européenne natale.

3.3.1.4. Génétique des populations de *C. pomonella* de la région d'étude

Nous avons calculé les paramètres génétiques de base de la population pour les trois sites d'échantillonnage de la région de Sidi Bel Abbes. A savoir la diversité génétique (H) et la diversité nucléotidique (π). Nous avons également testé les signaux de goulots d'étranglement ou d'expansion récents de la population locale au moyen des tests D de Tajima (Tajima, 1989) et FS de Fu (Fu, 1997). Nous avons également évalué l'existence d'une structure génétique parmi les trois populations au moyen d'analyses de la variance moléculaire (AMOVAs) mises en œuvre dans ARLEQUIN version 3.0 (Excoffier et al., 2005).

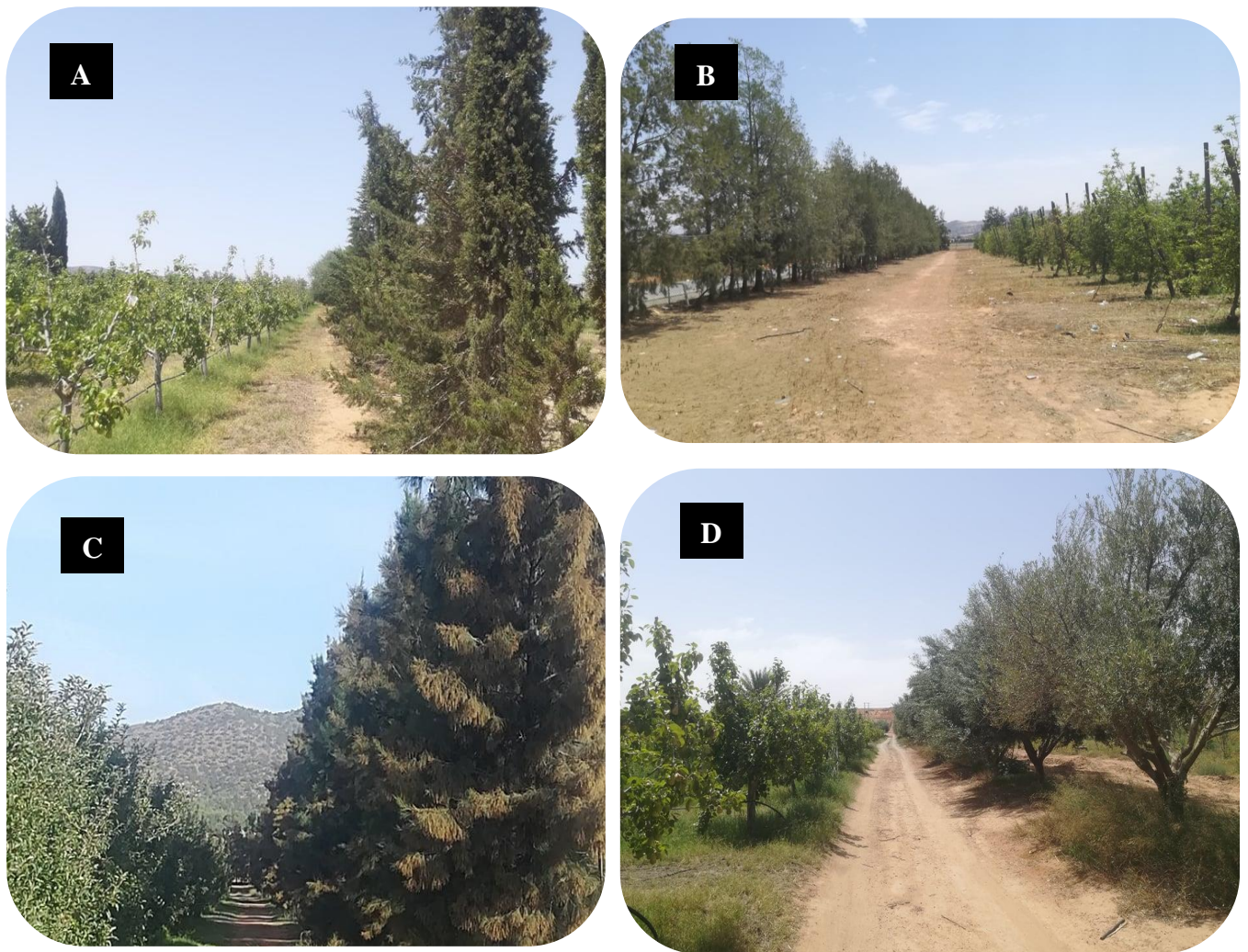
Pour toutes les analyses génétiques de population avec de nos échantillons algériens, nous n'avons pas seulement utilisé le fragment de Folmer de Cytochrome oxydase I, mais nous avons ajouté le fragment de COI de Pat et Jerry pour obtenir une séquence finale de 1410 paires de base pour chaque individu.

3.4. Étude de la dynamique des populations du carpocapse dans les vergers cibles

3.4.1. Description des haies situées en bordure des vergers

Pour la caractérisation du paysage environnant des vergers cibles, nous avons réalisé une description des haies arbustives et arborescentes situées en bordure des vergers de pommiers et de poiriers. Quatre-vingt-cinq haies ont été ainsi décrites. La composition en espèces végétale a été relevée sur toute la longueur des haies (Fig. 16). Pour ce faire nous avons utilisé la méthode du relevé linéaire. Cette méthode recommandée par Le Floch, (2008) est la plus utilisée pour les estimations quantitatives de la végétation sur la longueur. De plus, elle est considérée comme le moyen le plus efficace pour étudier l'évolution de la couverture végétale lorsqu'il s'agit d'une ligne permanente, comme c'est le cas en verger (Long, 1958 ; Gounot, 1969 ; Aidoud, 1983).

Ainsi durant l'année 2018, du mois de janvier à février, nous avons réalisé des relevés de la végétation le long de chaque haie située en bordure de chaque verger cible. Ainsi, un parcours sur le long de haies est découpé en tronçon de 10 mètres à l'aide d'une ficelle reportée autant de fois que nécessaire. Dans chaque relevé, toute espèce végétale (arbustive et arborescente) rencontrée une fois par tronçon est notée présente une fois, quel que soit le nombre d'individus présents. L'abondance relative de chaque espèce (%) correspond au rapport du nombre d'individu de l'espèce considérée et du nombre de relevés. Pour les besoins de modélisation chaque haie a été géoréférencée à l'aide d'un GPS. L'ensemble de ces données serviront à la modélisation de la dynamique spatiale des effectifs de larves diapausantes et à étudier l'effet du paysage sur leur répartition au sein du verger.



A : Haie de cyprès, **B** et **C** : Haie de casuarina, **D** : Haie d'olivier.

Figure 16. Différents types de haies en bordures des vergers de pommiers et de poiriers cibles.

3.4.2. Étude de la dynamique spatio-temporelle des adultes

Le suivi temporel des effectifs des populations adultes du carpocapse a été réalisé par la méthode du piégeage attractif des adultes. Elle consiste à utiliser des pièges attractifs à usage unique ou mixtes composés de phéromones et de kairomones. Cette méthode est, entre autres, fortement recommandée pour l'étude de la phénologie du vol. Les pièges delta vert (20 x 15 cm) sont placés au centre des vergers de pommiers et des poiriers, à raison d'un piège par verger (1 piège pouvant couvrir 4 hectares).

Les pièges sont accrochés par des fils de fer à la frondaison des arbres à une hauteur de 1,5 m pour faciliter le relevé (Fig. 17A). Chaque piège est appâté par une capsule de caoutchouc contenant la phéromone sexuelle de la femelle de *C. pomonella* L., qui est la codlémone (E, E) -8,10-dodecadien-1-ol, une phéromone qui attire les mâles (phéromone sexuelle commercial, PH-227-1 RR, RUSSEL IPM). Dans le même piège, on ajoute 2 ml d'ester de poires (E, Z) -2,4-decadienoate (voir annexe 6), contenu dans un tube en verre (5 ml) recouvert de gaz pour faciliter la diffusion. L'ester de poires est une kairomone dérivée de la poire, utilisé comme attractif des mâles et femelles de cet insecte (Light et al., 2001 ; Knight et Light, 2005) (Fig. 17B). Ces derniers ont été déposés sur une plaque engluée. Le changement des phéromones est fait toutes les 4 semaines pour la codlémone et chaque semaine pour l'ester de poire. Les plaques engluées sont remplacées quand c'est nécessaire (1 à 3 semaines, en fonction de l'intensité de capture ou autre).

L'installation des pièges est effectuée du stade phénologiques C à C3 (éclatement des bourgeons - oreille de souris), dans les 72 vergers cibles, afin de déterminer la date d'apparition du premier vol. L'installation des pièges au niveau du verger tient compte de la phénologie de la variété qui le compose. Le nombre total de relevé effectué s'élève à 60. En 2018, les relevés de capture ont été effectués toutes les semaines du 28 mars 2018 au 17 octobre 2018 (30 relevés) et entre le 27 mars 2019 au 16 octobre, en 2019 (30 relevés). La date et le nombre d'adultes capturé par piège sont mentionnés à chaque sortie.

En 2019, les différents relevés ont été effectués sur les mêmes vergers qu'en 2018 à l'exception de deux vergers de pommier situés dans le site de Sehala Thaoura. En effet deux vergers ayant été arraché en 2019 ont été remplacé par deux autres vergers de pommiers situés non loin des vergers arrachés (300 m) et appartenant à d'autres exploitants.

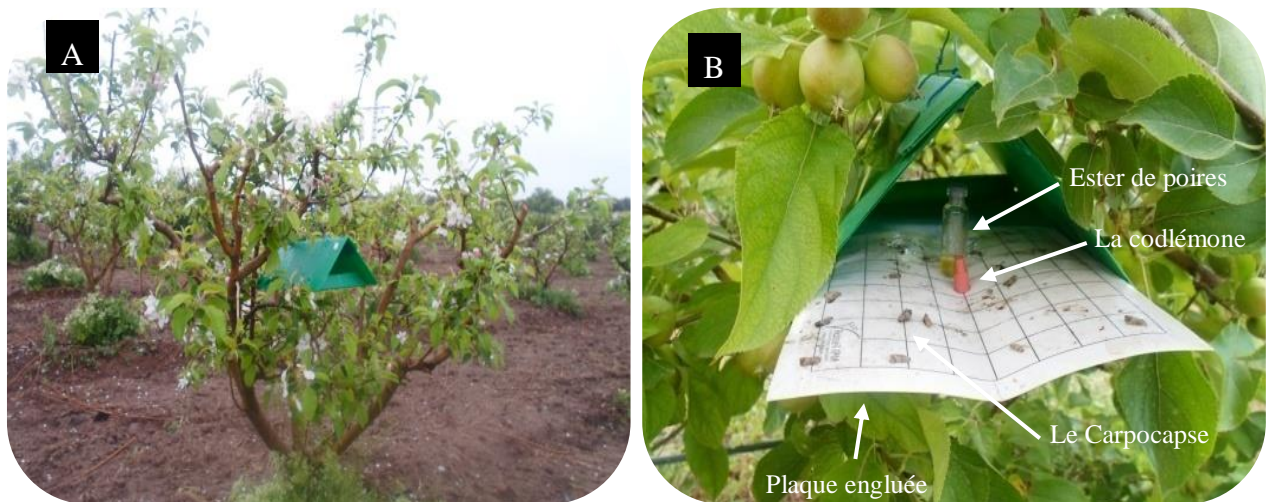


Figure 17. Piège attractif mixte à phéromone type Delta utilisé pour la capture des adultes mâles et femelles de *C. pomonella* (variété Golden Delicious). **A** : mis en place du piège delta. **B** : plaque engluée contenant la codlémone et l'ester de poires

3.4.3. Estimation du nombre de génération par la méthode des degrés-jours

Parallèlement à la mise en évidence du nombre de générations par les relevés de capture, nous avons estimé le nombre de génération sur la base des degrés-jours, par le modèle. La simulation permet de comparer les mouvements de captures des adultes observés annuellement à ce qui est attendu par le modèle théorique fondé sur l'accumulation des degrés-jours (DD). Selon Wildbolz (1965), le carpocapse exige une quantité d'énergie de 550 DD pour développer une génération, en fixons 10°C comme base thermique et le 1^{er} avril quantième du début du calcul calorifique (biofix).

Les degrés-jours sont calculées à l'aide d'équations appropriées aux trois situations susceptibles de se présenter (Sevacherian et al., 1972 ; Hmimina, 1986 ; Zalom et al., 1983) :

Si T_{max} et $T_{\text{min}} < 10^{\circ}\text{C}$:

$$\text{DD} = 0 \text{ (pas de gain énergétique chez l'insecte) ;}$$

Si $T_{\text{max}} > 10^{\circ}\text{C}$ et $T_{\text{min}} < 10^{\circ}\text{C}$:

$$\text{DD} = (T_{\text{max}} - 10^{\circ}\text{C}) \times \frac{2}{4} (T_{\text{max}} - T_{\text{min}});$$

Si T_{max} et $T_{\text{min}} > 10^{\circ}\text{C}$:

$$\text{DD} = (T_{\text{max}} + T_{\text{min}}) - 2 \times (10^{\circ}\text{C}) / 4.$$

Les données des températures de l'air quotidiennes maximales et minimales, nécessaires pour les calculs, ont été obtenues à partir de la station météorologique de Sidi Bel Abbès (35°10'26"N 0°35'43"W) (voir Tab 1, annexe 6).

3.4.4. Étude de la répartition spatiale intra-verger des larves diapausantes

En complément des suivis par piégeage attractif des adultes, nous avons mesurés les effectifs des larves diapausantes capturées par l'utilisation de la technique des bandes pièges. Ces dernières sont des bandes cartonnées disposées autour des troncs, au pied des arbres (Fig.18 A et B). Elles permettent de capturer les larves lorsqu'elles quittent les fruits en descendant le long du tronc à la recherche d'un abri. L'utilisation des bandes pièges permet non seulement de capturer et dénombrer les effectifs de larves diapausantes (Fig. 18 C), mais permet aussi de prévoir le risque de l'année suivante. Cette technique permet également l'étude de la répartition spatiale intra-verger des larves diapausantes de *C. pomonella*.

En 2018 et 2019, et en accord avec le protocole recommandé par l'ACTA (1974), 30 bandes pièges ont été mis en place par verger, à raison d'un piège par arbre. Au sein de chaque verger, 10 pièges sont placés en bordure et 20 autres à l'intérieur des vergers. Ainsi, 2160 pièges ont été installés pour l'ensemble des vergers cibles (72). Les bandes pièges ont une largeur de 25 cm et une longueur de 30 cm.

Pour les besoins de modélisation de la répartition spatiale des effectifs de larves, nous avons relevé la position géographique de chaque bande piège. Les bandes pièges ont été installées chaque année du début Juillet (à la fin de la 1^{er} génération) et dénombrées début de novembre.

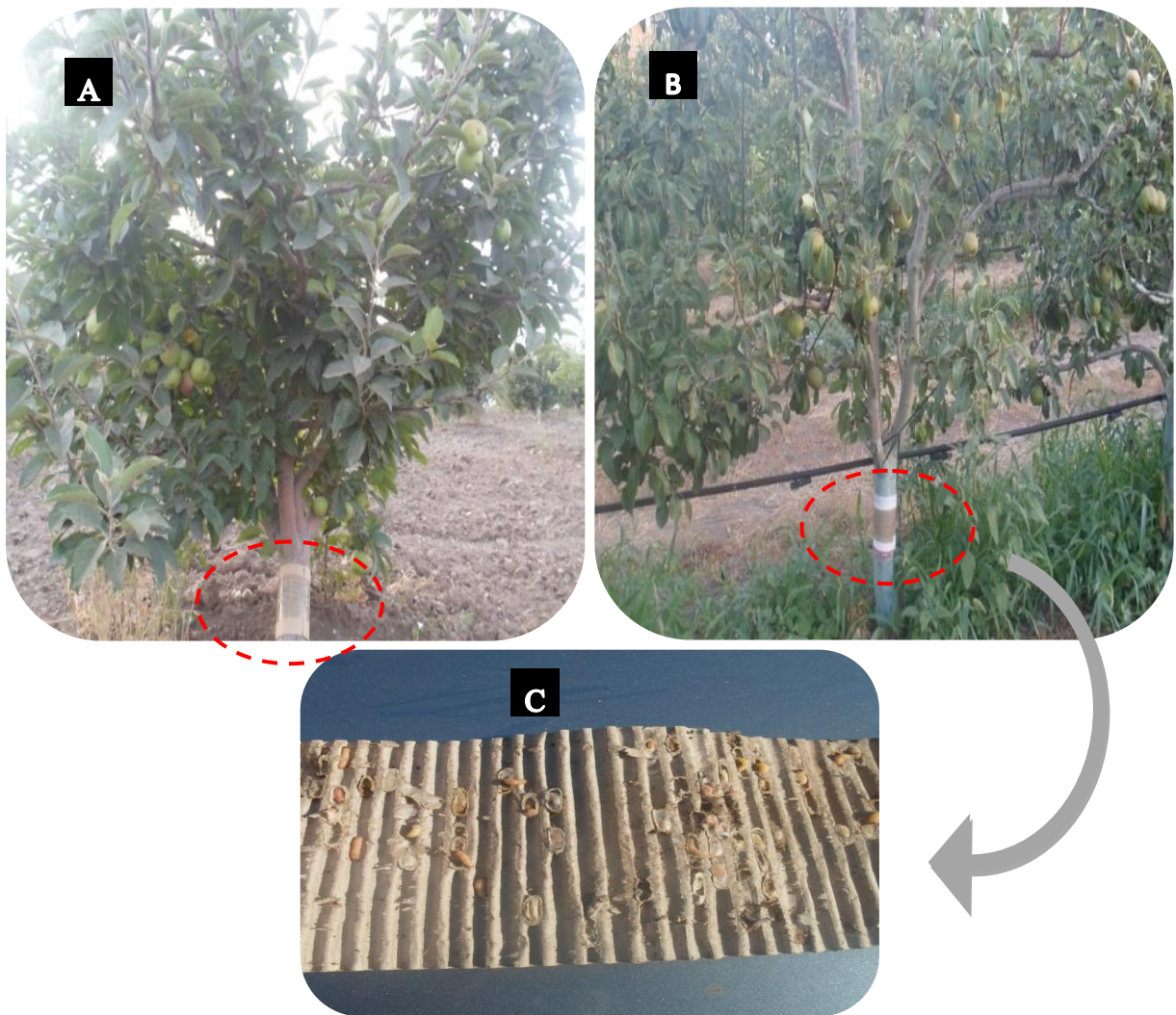


Figure 18. Bande piège disposée au pied d'un pommier (A) (variété Golden Delicious) dans la station de Sehala Thaoura et d'un poirier (B) (variété PasseCrassane) dans la station de Tabia. (C) larves de *C. pomonella* capturées dans une bande piège ondulé.

3.4.5. Étude des dégâts des larves sur les fruits

Le carpocapse effectue tout son développement larvaire à l'intérieur du fruit, excepté le premier stade. Le début d'infestation se traduit par l'obturation du trou de pénétration. L'évaluation des dégâts sur fruits s'est faite pour l'ensemble des vergers cibles et pour chacune des années d'étude (2018 et 2019). Les dégâts pris en considération sont ceux causés par les larves de la première génération, à la fin juin, lors de la fin du 1^{er} vol des adultes (Fig. 19). Les dégâts tardifs dans la saison, engendrés par les générations suivantes, sont difficiles à évaluer (chutes de fruits).

L'estimation des dégâts sur fruits s'est faite au stade phénologiques J (croissance des fruits), correspondant au grossissement des fruits. A ce stade les fruits ont un calibre compris entre 20 et 35 mm. La proportion de dégâts a été estimée en observant 1000 fruits par verger (Ricci,2009), à raison de 50 fruits par arbre sur 20 arbres choisis aléatoirement. Au niveau de chaque arbre, 10 fruits ont été considéré par orientation (nord, sud, est, ouest et centre). L'infestation par *C. pomonella* peut être vérifiée facilement d'une manière visuelle, car les pommes attaquées présentent une cicatrice (trou d'entrée larvaire) masquée par les excréments produits par la larve à l'intérieur du fruit.

Les taux d'infestation (%) des fruits correspondent au rapport du nombre de fruits infestés avec le nombre total de fruits observés par arbre (50). Les taux ont été évalués la dernière semaine de juin, lorsque le premier vol des adultes a pris fin et que la plupart des larves de la première génération ont terminés leur développement. A cette date, presque toutes les pommes infestées sont toujours dans la canopée et nous en avons rarement vu sur le sol. Dans le cas des arbres échantillons, nous pourrions voir une ou deux pommes tombées par terre. Cela n'a pas biaisé ou sous-estimé taux d'infestation, car tous les arbres produisaient au moins 150 pommes. Aussi l'éclaircissage manuel des fruits (y compris l'élimination des pommes infestées), dans certains vergers a débuté la première semaine de juillet, et n'a donc pas affecté notre évaluation des taux d'infestation.

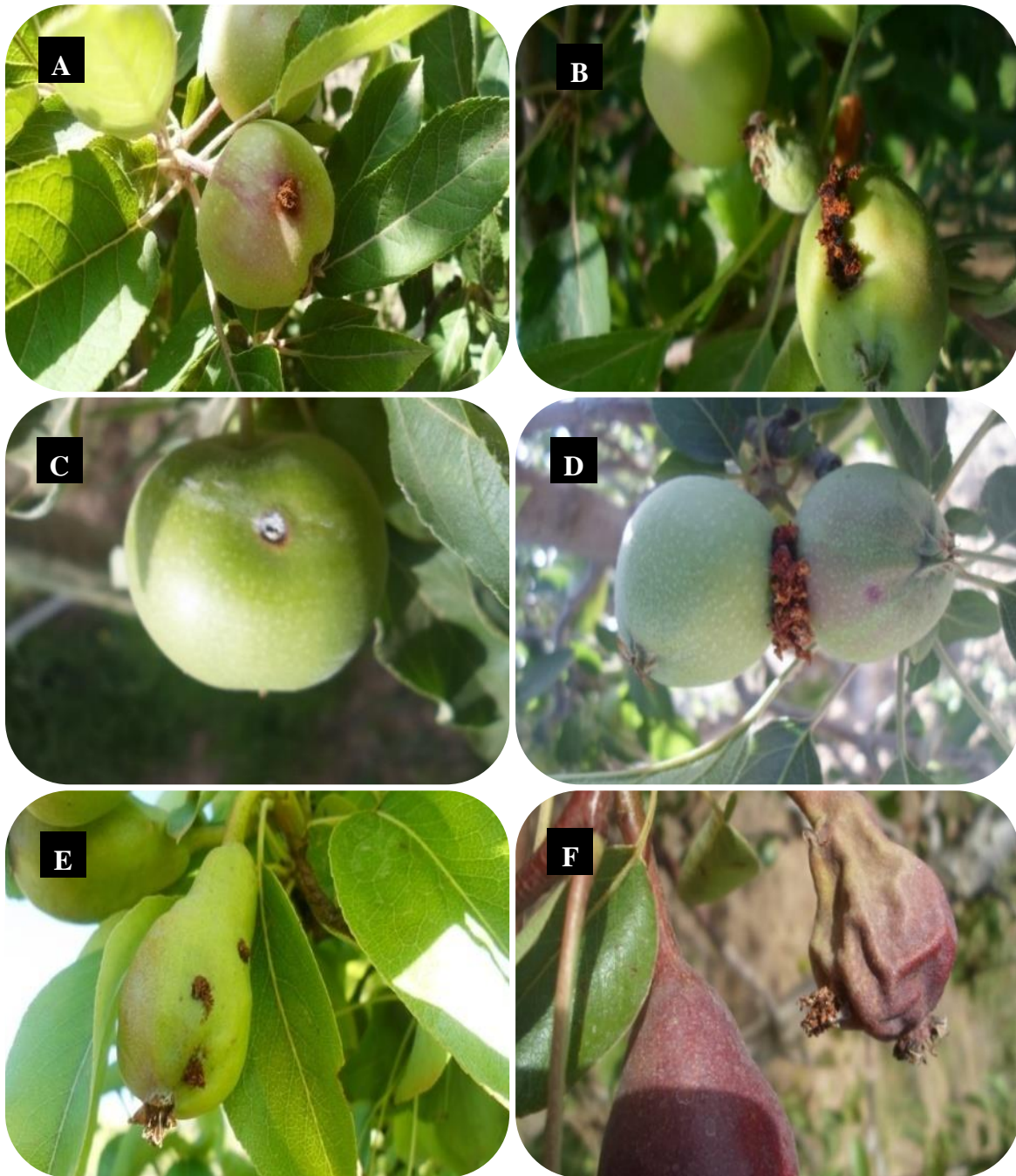


Figure 19. Dégâts de larve du carpocapse sur quelques variétés de pomme (A : Golden Reinders, B : Gala Galaxy, C : Granny Smith et D : Golden Smoothie) et de poire (E : Santa Maria et F : Cascade).

A : dégât stoppée ; B, D, E, F : dégât active ; C : dégât cicatrisée.

3.4.6. Essai de lutte contre le carpocapse par l'utilisation de l'huile essentielle de l'armoise blanche

3.4.6.1. Justification et objectifs

Le travail expérimental de cet essai s'est déroulé au niveau du laboratoire d'Agronomie de la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'université Djilali Liabes de Sidi Bel Abbes. Il porte sur l'étude de la toxicité, par fumigation, de l'huile essentielle d'une plante médicinale, largement répandue en Algérie, *Artemisia herba alba* (armoise blanche) sur les larves L5 diapausantes de *C. pomonella*. L'étude comporte également la détermination de la composition chimique de l'huile essentielle, par GC-MS.

L'efficacité insecticide de l'huile essentielle d'*A. herba Alba* a déjà été démontrée contre les insectes des denrées stockés tels que *Plodia interpunctella* (Hübner 1883) (Lepidoptera : Pyralidae) (Bouzeraa et al., 2018), *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera : Dermestidae) et *Tribolium castaneum* (Herbst 1797) (Coleoptera : Tenebrionidae) (Ben Slimane et Baouindi, 2016). Elle est également efficace contre les ravageurs de plein champ tels que *Aphis gossypii* Glover (Homoptera : Aphididae), *Thrips tabaci* (Lindeman) (Thysanoptera : Thripidae) et *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptères : Aleyrodidae) (Soliman, 2007).

D'autre part, le choix de ce stade biologique L5, du carpocapse, se justifie par le fait que les autres stades larvaires, passant leur développement à l'intérieur des fruits, sans difficulté à atteindre par les insecticides. Alors que le stade L5 est une cible facile étant donné qu'elle quitte le fruit pour hiverner sous l'écorce des arbres, au sol mais également dans les fruits récoltés et les palettes de récolte. C'est ainsi, qu'elles peuvent endommager le fruit lors du stockage empêchant ainsi sa commercialisation (voir chapitre II plus haut).

Lors de nos expérimentations de terrain, nous avons eu parfois à observer des larves L5 accrochées aux bordures des palettes de récolte (notamment de pommes) avant leur stockage au froid. A titre indicatif, les arboriculteurs disposant de moyens de stockage frigorifiques, entreposent les pommes à une température de 3 à 5°C selon les variétés, pendant 12 semaines. Cette température convient aux larves diapausantes puisque les larves hivernantes ont une capacité de survie à des températures inférieures à -15°C (voir chapitre II plus haut).

Afin d'empêcher la propagation du carpocapse, les pays importateurs exigent un traitement post-récolte des pommes par fumigation au bromure de méthyle (Wang et al. 2004), néanmoins l'usage de ce produit chimique est limité en raison de ses effets phytotoxiques sur la pomme (Moffitt et al. 1989, Hansen et al. 2000). D'autres produits de désinfection par fumigation des fruits sont également utilisés notamment le gaz phosphine (Rogers et al. 2013) et l'oxyde nitrique dont les coûts sont assez élevés (Liu et al. 2016). C'est pourquoi, nous avons mené cet essai préliminaire afin de fournir une solution biologique de traitement par fumigation des fruits récoltés et éventuellement des palettes afin de préserver la production lors du stockage.

3.4.6.2. Matériels biologiques

Des parties aériennes d'*A. herba-alba* (2 kg) ont été récoltées en été (juin 2019) dans la forêt de Tenira (Sidi Bel Abbès) (35°01'48"N, 0°30'06"W) (Fig. 20). L'authenticité de l'espèce a été confirmée par le Pr. Hadjadj-Aoul Seghir, écologiste au département de Biologie, de l'université Ahmed Ben Bella d'Oran 1 et par le Dr. Sekkal F.Z, écologiste au département de Biologie, de l'université Abd Elhamid Ibn Badis de Mostaganem, Algérie (UMAB). Un spécimen de référence (SAD.2888) a été déposé à l'herbier du département de Biologie de l'université Ahmed Ben Bella Oran 1 (Algérie). Les parties aériennes ont été séchées à l'air à température ambiante, pendant deux semaines, puis stockées dans des sacs en tissu jusqu'à l'extraction de l'huile.



Figure 20. L'armoise blanche *Artemisia herba alba*.

Quant aux larves L5 de *C. pomonella* utilisées dans l'essai, elles proviennent des bandes pièges installés à l'automne (octobre 2019) sur les troncs des pommiers (en dehors des périodes des traitements chimiques), dans la région de Sidi Bel Abbès. Les bandes contenant les larves ont ensuite été placés dans des boîtes en plastique (60 x 30 x 20 cm) recouverts de moustiquaire pour l'aération. Les larves ont été ainsi maintenues dans les conditions standards du laboratoire à : 18 ± 2 °C, 60 ± 5 % H.R et une photopériode de 16 :8 (L : D) (Fig. 21).



Figure 21. Larve L5 de *Cydia pomonella* L

3.4.6.3. Préparation de la poudre végétale

La partie aérienne est lavée puis séchée à l'abri de l'humidité et à température ambiante pendant 15 jours. La plante a été broyée dans un broyeur électrique jusqu'à l'obtention d'une poudre fine. Cette dernière a été ensuite conservée au réfrigérateur à 4°C dans un récipient hermétiquement fermé, pour un usage ultérieur.

3.4.6.4. Extraction de l'huile essentielle et analyse GC-MS

L'extraction de l'huile essentielle a été réalisée au laboratoire de chimie de l'université de Sidi Bel Abbès. L'huile essentielle d'*A. herba alba* a été obtenue en utilisant un hydro distillateur de Type Clevenger. Au cours de cette procédure, une quantité de 50 g de poudre d'*A. herba alba* a été ajoutée à 500 ml d'eau distillé dans un ballon de 1000 ml. L'ensemble a été porté à ébullition dans un chauffe-ballon, pendant 3 heures à une température de 100°C. La vapeur produite entraîne les constituants volatils qui, après condensation et refroidissement dans le réfrigérant, sont recueillis dans un récipient de collecte afin d'éliminer toute trace d'eau. L'huile récupérée est ensuite conservée à une température de 4°C dans un petit flacon

hermétiquement fermé jusqu'au moment de l'analyse GC-MS. Le rendement en huile essentielle d'*A. herba alba* a été exprimé en g pour une biomasse totale de 100 g de matière végétale selon l'équation suivante (Pharmacopée européenne, 2005) :

$$\mathbf{Rd} = (m - m_0/mv) \times 100$$

Avec : **m** : masse de flacon remplis ; **m₀** : masse de flacon vide ; **mv** : masse initiale de la matière végétale ; **Rd** : rendement.

Quant- à la chromatographie en phase gazeuse-spectrométrie de masse (GC-MS), elle a été réalisée au laboratoire d'analyses élémentaires et moléculaires de l'Université d'Estrémadura (Espagne). Elle a été effectuée sur un spectromètre de masse Agilent simple-quadruple avec un détecteur sélectif de masse (5977E MSD) couplé directement à un chromatographe en phase gazeuse Agilent 7820A, équipé d'une colonne capillaire DB-WAX (60 m x 250 µm, épaisseur de film de 0,5 µm). Le programme a démarré à 50°C (maintenu pendant 5 minutes), puis la température a augmenté à un taux de 5 °C/min jusqu'à 100°C (puis maintenue pendant 10 minutes). Enfin, elle a continué à augmenter à la même vitesse qu'auparavant (5°C/min) jusqu'à 240°C (cette température a été maintenue pendant 8 minutes de plus). Les températures de l'injecteur et du détecteur étaient respectivement de 250°C et 280°C. 20 µL d'huile essentielle ont été dilués dans 1 mL de dichlorométhane. 1 µL d'échantillon a été injecté en mode fractionné (50 : 1), en utilisant de l'hélium (1mL/min) comme gaz porteur. L'identification des composés a été effectuée à l'aide des résultats fournis par le NIST2.

3.4.6.5. Essai *in vitro* de l'activité insecticide de l'huile essentielle

L'activité insecticide d'*A. herba-alba* via vis des L5 a été déterminée par des tests de toxicité par fumigation. Pour ce faire, des essais préliminaires ont été effectués pour déterminer la gamme de concentration des essais de toxicité. Ainsi des L5, maintenues dans les conditions de laboratoire standard (comme indiqué plus haut), ont été exposées à une série de concentrations de : 0,05, 0,1, 0,2, 0,4, 0,8, 1,6 µl, pour la détermination de la CL50 (afin que le pourcentage de mortalité varie entre 0 et 100). Chaque lot de L5, constitué de 10 larves, est soumis à une concentration à tester, avec 2 répétitions. La CL50 approximative à 24h et son intervalle de confiance (IC à 95 %) était de 0,510 µl (0,372 – 0,748). Ainsi et en accord avec la méthode décrite par WHO (World Health Organization), deux concentrations avant et après

la valeur calculée de la DL50, ont été considérées (facteur 2). Les concentrations suivantes d'huile essentielle ont été retenues pour les tests définitifs : 0,1 ; 0,25 ; 0,50 et 1 μ l. Des bandes de papiers filtres (2 cm, Whatman n°1) ont été traitées séparément avec les différentes concentrations et puis fixées aux bouchons à vis d'une boîte en plastique transparent de 55 ml (0,1 ; 0,25 ; 0,50 et 1 μ l pour un volume de 55 ml correspondent à 1,81 ; 4,54 ; 9,09 et 18,18 L⁻¹ air). Dix larves ont été placées au fond de la boîte. Les bouchons des boîtes sont ensuite hermétiquement fermés. Chaque expérience a été répétée cinq fois pour chaque concentration (200 larves au total).

Un lot de 50 larves témoins a été maintenu dans les mêmes conditions (papiers filtres traités à l'eau distillée). Le dispositif a été mis dans des conditions de laboratoire à : 27 ± 2 °C, 60 ± 5 % HR et une photopériode de 16 :8 (L : D). La mortalité des larves a été enregistrée après 1, 3, 6, 24, 48, 72, 96, 120, 144 et 168 heures d'exposition. Étant donné qu'aucune mortalité n'a été réenregistrée pour les larves témoins, le taux de mortalité des larves exposées à diverses concentrations n'a pas été corrigé par la formule d'Abbott.

3.4.7. Méthodes d'analyses statistiques et d'exploitations des résultats

L'ensemble des méthodes d'analyse statistiques et d'exploitations des résultats utilisées dans la présente étude y sont exposés. Il est question d'abord de celles relatives à l'étude de la dynamique des adultes. Ensuite il sera question des méthodes et techniques exploitées pour l'étude de la dynamique spatiale intra-verger des larves diapausantes. Il est aussi question des méthodes utilisées pour l'estimation des dégâts sur fruit de la première génération sont exposés. Enfin il sera question des analyses statistiques exploitées pour l'essai de lutte biologique contre les larves diapausantes de *C. pomonella*. En ce qui concerne les analyses statistiques utilisées dans l'identification moléculaire de *C. pomonella*, étant étroitement liées aux techniques utilisées, elles ont été précédemment indiquées (point 3.3.1).

3.4.7.1. Étude de la dynamique spatio-temporelle de *C. pomonella*

Pour analyser l'effet de différents facteurs sur le nombre d'adultes piégés, nous avons utilisé le modèle linéaire mixte généralisé (GLMM). Le nombre d'adultes capturés par chaque piège était la variable dépendante (Poisson distribué) et la variété, alors que la période de vol et l'année constituées les facteurs indépendants. Le verger cible a été inclus comme facteur aléatoire. Les GLMM (s) ont été réalisés avec le programme d'analyse statistique R Coré

Team (2016) dans les bibliothèques suivantes : multi comparaison (Hothorn et al., 2008), lme4 (Bates et al. 2015) et ggplot2 (Wickham, 2016).

3.4.7.2. Étude de la répartition spatiale des effectifs de larves diapausantes dans les vergers cibles

Nous avons réalisé un modèle linéaire mixte généralisé (GLMM) dans lequel le nombre de larves était la variable dépendante, l'année et la position de l'arbre dans « l'extrémité/centre » du verger étaient les facteurs indépendants. L'identité du verger était le facteur aléatoire.

Les GLMM (s) ont été réalisés avec le programme d'analyse statistique R Coré Team (2016) dans les bibliothèques suivantes : multi comparaison (Hothorn et al., 2008), lme4 (Bates et al., 2015) et ggplot2 (Wickham, 2016). Pour cartographier les vergers cibles et la répartition spatiale des effectifs à l'intérieur des vergers de chaque site d'étude, nous avons utilisé l'interface ArcMap du logiciel : ARCGIS (10.2). On a utilisé le même système de projection des coordonnées originales (WGS84) pour les images et pour les données GPS obtenues sur le terrain pour la visualisation et le traitement des images. La longueur des haies et la distance des bandes pièges par rapport aux haies ont été calculées toujours à l'aide du logiciel ARCGIS (10.2).

3.4.7.3. Étude des dégâts du carpocapse sur les fruits : pommes et poires

Nous avons analysé l'effet de la variété de pommes sur les taux d'infestation à l'aide d'un modèle GLMM. Le taux d'infestation était la variable dépendante (distribution binomiale, nombre de pommes infestées versus non infestées), tandis que la variété de pommes et l'année étaient les facteurs indépendants. Dans un second GLMM, nous avons recherché si l'orientation de la canopée de l'arbre (facteur indépendant) avait un effet sur les taux d'infestation, après le contrôle de l'année et de la variété de pommes. Nous avons également utilisé un modèle GLMM pour vérifier si la variété et l'année (facteurs indépendants) avaient un effet sur le nombre de larves récoltées pour chaque arbre (variable dépendante distribuée selon la loi de Poisson).

Les mêmes analyses ont été effectuées pour examiner la relation entre le nombre moyen de larves par arbre. Dans tous les GLMM (s), les identités des arbres et des vergers ont été incluses comme facteurs aléatoires, avec le premier imbriqué dans le second modèle

linéaire mixte (MLM), nous n'avons utilisé qu'un facteur aléatoire (identité du verger), car les variables dépendantes ont été moyennées par verger. Dans les GLMM (s), nous utilisons les fonctions Logit-link lorsque la variable dépendante était binomiale et logarithmique pour Poisson.

La signification des variables dépendantes a été évaluée par le biais du test du rapport de vraisemblance (LRT : Likelihood-Ratio Test). Des tests de comparaisons Post Hoc (comparaisons multiples par paires entre les différents niveaux de signification des facteurs indépendants, ont été évalués à l'aide des tests post-hoc de Tukey.

Tous les modèles GLMM(s) ont été réalisés avec le programme d'analyse statistique R Core Team (2016), utilisant les références suivantes : multi comparaison (Hothorn et al., 2008), lme4 (Bates et al., 2015) et ggplot2 (Wickham, 2016). Tous les modèles linéaires mixte ont été effectués avec le logiciel STATISTICA 7.0 (Statsoft. Ltd, Suède).

3.4.7.4. Essai de lutte contre le carpocapse par l'utilisation de l'huile essentielle de l'armoise blanche

Les essais biologiques de toxicité par fumigation ont été effectués selon un plan randomisé complet. La toxicité des différentes concentrations d'huiles essentielles a été analysée à l'aide d'une ANOVA à mesures répétées. Ce test est très approprié pour analyser les effets d'un traitement expérimental dans le temps (c'est-à-dire des observations répétées). Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du pack logiciel Statistica (Statsoft. Ltd, Suède). Les données de mortalité cumulées ont été soumises à une analyse des probits, en utilisant le logiciel SPSS. Cette analyse permet le calcul de la concentration létale (CL50 : concentration médiane pour tuer 50 % des larves) et du temps léthal (LT50 : temps léthal médian pour tuer 50 % des larves) associé à des intervalles de confiance à 95 %.

L'évolution de la survie des larves en fonction du temps d'observation a été analysée à l'aide de la méthode de Kaplan-Meier (Kaplan et Meier 1958), avec en ordonnées la probabilité cumulée de survie comprise entre 1 et 0 et en abscisses la durée du suivi en unités de temps (heure). La valeur 1 correspond à la survenue de l'évènement (mortalité larvaire) alors que la valeur 0 correspond aux données censurées (larve vivante). Cette méthode permet l'estimation de la probabilité de survie au cours d'un suivi, définie par la fonction de survie $ST(t) = P(T > t)$ (avec P : probabilité de survie ; T : temps de réel de l'évènement et t : temps

donné). Le cumul de la probabilité de la survie de chaque individu donne la probabilité de survie du groupe. Les courbes de survie ont ainsi été obtenues pour les différentes concentrations d'huile essentielle et pour le témoin.

Chaque courbe de concentration a été comparée à celle du témoin en utilisant le test statistique du log-rank, pour vérifier les différences significatives ($P = 0.05$). Les courbes ont été générées à partir de la proportion de larves survivants du début à la fin de l'expérience.

CHAPITRE IV.

Résultats

CHAPITRE IV. Résultats

Les résultats obtenus sont exposés, d'abord ceux relatifs à l'identification moléculaire de C. pomonella. Il est ensuite question des résultats de l'étude de la dynamique des populations. D'abord ceux relatifs à la dynamique spatio temporelle des adultes et à la détermination des générations du carpocapse par la somme des degrés-jours. Ensuite seront présentées les résultats de la répartition spatiale des effectifs de larves diapausantes dans les vergers de pommiers et de poiriers cibles. Ensuite sont exposés les résultats relatifs aux dégâts des larves du carpocapse sur les pommes et les poires, en insistant sur l'effet de l'exposition des arbres, des variétés et du mode de conduite. Enfin, il sera question des résultats de l'étude de la toxicité de l'huile essentielle de l'armoise blanche sur les larves L5 diapausantes de C. pomonella, la composition chimique et l'huile et l'efficacité insecticide de l'huile essentielle y sont exposés.

4.1. Identification moléculaire de C. pomonella

Nous avons récupéré, au total, 34 haplotypes distincts, en joignant les séquences de nos sites d'étude et celles téléchargées du Barcoding of Life Data system BOLD. Nous en avons retiré deux (téléchargés de BOLD) en raison de leur grande divergence génétique par rapport au reste, probablement en raison d'une mauvaise identification taxonomique. Dans les échantillons algériens, originaire de la région de Sidi Bel Abbès (africains), nous avons obtenu des séquences COI de bonne qualité (fragment de Folmer) pour 36 des 40 chenilles et nous avons récupéré un total de 7 haplotypes distincts. Deux de ces haplotypes sont exclusifs à l'Algérie et n'ont été retrouvés dans aucune autre des 140 séquences (celles provenant d'Amérique, d'Europe, d'Australie ou d'Asie) téléchargées à partir des systèmes de codage à barres du Life Data system (Tab.16).

L'haplotype le plus abondant en Algérie (numéro 10) est également très abondant dans le reste des continents (Europe et Amérique) et a également été enregistré dans les chenilles interceptées à la frontière des États-Unis. D'autres haplotypes communs en Afrique et en Algérie se trouvaient également en Australie, en Amérique et en Europe (p. ex. numéros 7 ou 20) (Tab.16, Fig. 22). Cela montre que les haplotypes les plus répandus en Algérie sont assez cosmopolites.

Les haplotypes exclusifs d'Algérie ont été récupérés chez un seul individu et sont étroitement apparentés (une seule mutation) à l'haplotype le plus commun (Fig. 22). La présence d'haplotypes exclusifs s'est également produite en Europe, en Amérique et en Australie (voir Tab.16). Ils ont été trouvés principalement dans un ou deux individus et sont aussi étroitement liés aux haplotypes communs à chacun de ces continents. La seule exception est l'Asie, car les 30 échantillons prélevés en Inde correspondent au même haplotype (voir Fig.22).

L'Europe a le nombre d'haplotypes le plus élevé concernant le nombre de séquences. En outre, en dehors du cas exceptionnel indien, l'Europe a également affiché le pourcentage le plus élevé d'haplotypes exclusifs (53%). Ces haplotypes européens occupaient également une position basale dans l'arbre phylogénétique (Fig. 23) ; ils ont tous été récoltés sur ce continent (exclusivement en Europe et ailleurs). L'arbre phylogénétique montre deux amas distincts (support le plus fort, PP = 1, haplotype 22 à la base de la seconde), mais dans les deux cas, il y a des haplotypes d'Europe (origine de *C. pomonella*), et des continents où il a été introduit (Amérique, Afrique et Australie).

Dans la figure 22 ci-dessous, chaque cercle représente un haplotype différent (numéro haplotype indiqué à côté). La taille du cercle est proportionnelle au nombre d'individus le portant selon la proportion indiquée dans la légende en bas à droite. Le nombre de mutations parmi les haplotypes est indiqué sur les lignes de connexion. La correspondance des couleurs est : jaune pour l'Algérie (Afrique), bleu pour l'Amérique, orange pour l'Asie (Inde), vert pour l'Australie, rouge pour l'Europe et rose représente la quarantaine ou individus interceptés aux frontières américaines.

Tableau 16. Rapports entre le nombre d'haplotypes et les séquences totales et entre les haplotypes exclusifs et les haplotypes totaux, avec chaque continent.

Haploype	Afrique	Amérique	Asie	Australie	Europe	Quarantaine
1				2		
2					2	
3						1
4		3		1		
5		1				
6			30			
7	7	6		4		
8					2	
9		1				
10	12	6			5	5
11						1
12						1
13		9		3	1	
14						1
15					1	1
16		3			1	
17					2	
18	1					
19	1					
20	9	6			4	2
21						4
22	3				6	
23					1	
24		1				
25				2	1	3
26					1	
28		1				
30					1	
31	3			3	2	1
32						1
33				4		
34					1	
Nombre de séquences	36	37	30	19	31	21
Nombre d'exclusifs	2	4	1	2	8	
Nombre d'haplotypes	7	10	1	7	15	
Ratio haplotypes / séquences	0.19	0.27	0.03	0.37	0.48	
Ratio exclus. haplo/ tot. haplo.	0.29	0.40	1.00	0.29	0.53	

* Nombre d'échantillons de chaque type (27 et 29 exclus) dans chaque environnement et interceptés à la frontière (quarantaine). Les chiffres en caractères gras correspondent à l'haploype enregistré en permanence.

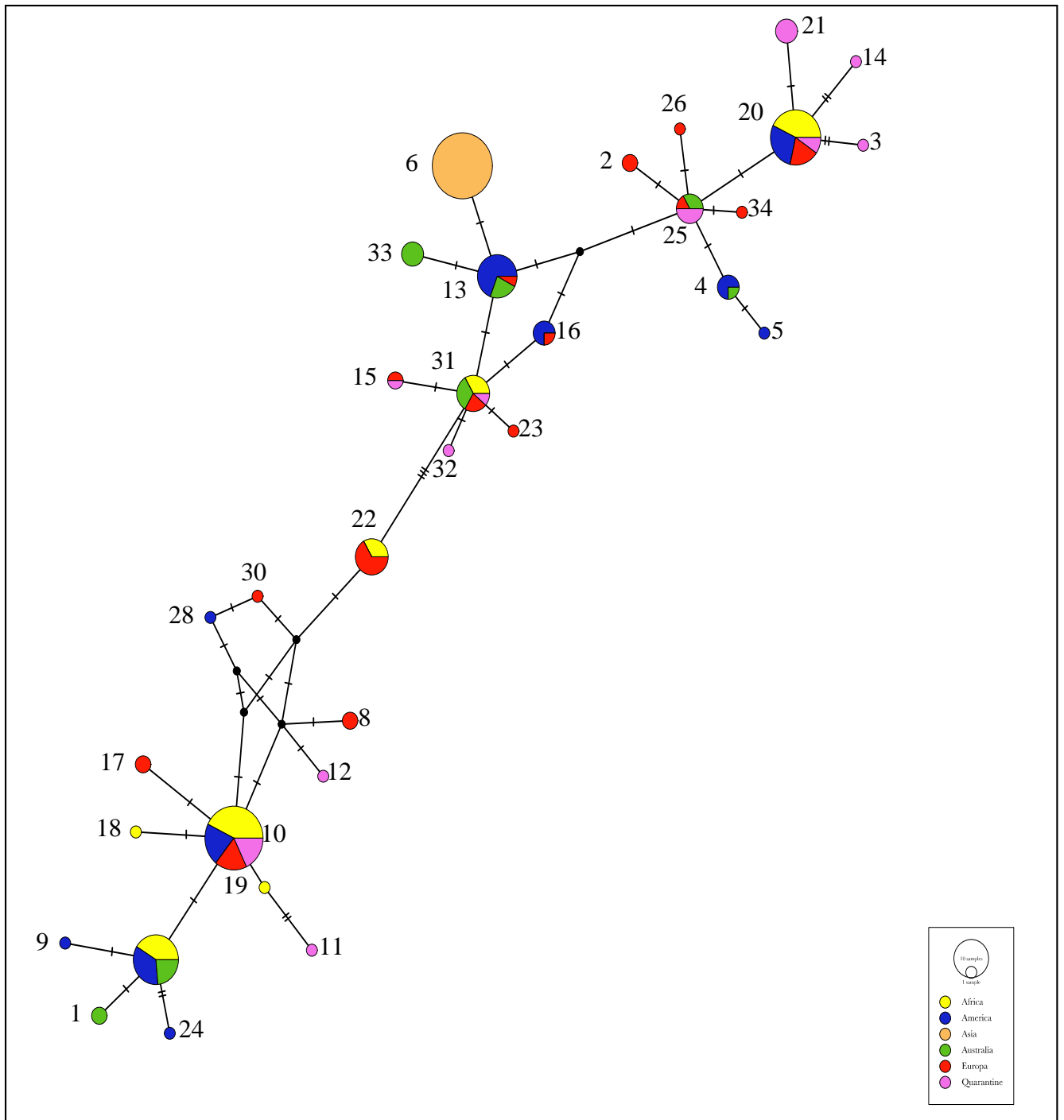


Figure 22. Réseau de parcimonie statistique des haplotypes de l'ADNmt (fragment de COI de Folmer, 620 paires de bases) de *Cydia pomonella*.

Dans la figure 23 ci-dessous, la topologie des arbres a été déduite par inférence bayésienne (modèle de substitution GTR + I + Gamma). Un support pour chaque absence de désir est présenté par la valeur de probabilité bayésienne (sous la branche). L'espèce congénère *Cydia fagiglandana* a été utilisée comme groupe de départ. Chaque terminal de branche correspond à un seul haplotype. L'étiquette indique le numéro haplotype et les initiales du lieu où il a été enregistré : Afrique (Algérie) (AF), Amérique (AM), Australie (AUS), Europe (EU), ou intercepté à la frontière américaine-quarantaine (CU).

Les analyses au niveau de la population effectuées uniquement avec les échantillons africains - algériens- ont montré qu'il y a une grande similitude génétique entre les trois localités. Les analyses de la structure moléculaire des populations (AMOVA : Analysis of Molecular Variance) ne sont pas significatives ($P = 0,78$). Il n'y a pas eu de différenciation génétique entre les sites d'échantillonnage, toute la variabilité génétique a été expliquée «au sein de la population » (Tab.17). Le nombre d'haplotypes distincts extraits des séquences contenant les deux fragments du gène COI est de 11, mais la plupart d'entre eux étaient partagés entre les localités. L'un des sites (Tenira) affiche le plus grand nombre d'haplotypes et la plus grande diversité génétique (0,92, Tab.17). La diversité nucléotidique est similaire parmi les trois sites (Tab. 18).

Tous les tests de neutralité (tests de Tajima D et de Fu) ont montré qu'aucune des trois populations ne s'est nettement écartée de l'équilibre. Nous avons résumé dans le tableau 19 ci-dessous les informations génésiques relatives au site d'échantillonnage dans la région d'étude, comprenant le nombre total d'individus séquencés, le nombre d'haplotypes, la diversité des gènes et des nucléotides (moyenne \pm SE) et les résultats de la probabilité associée aux tests de neutralité (Tajima s D et Fu s F).

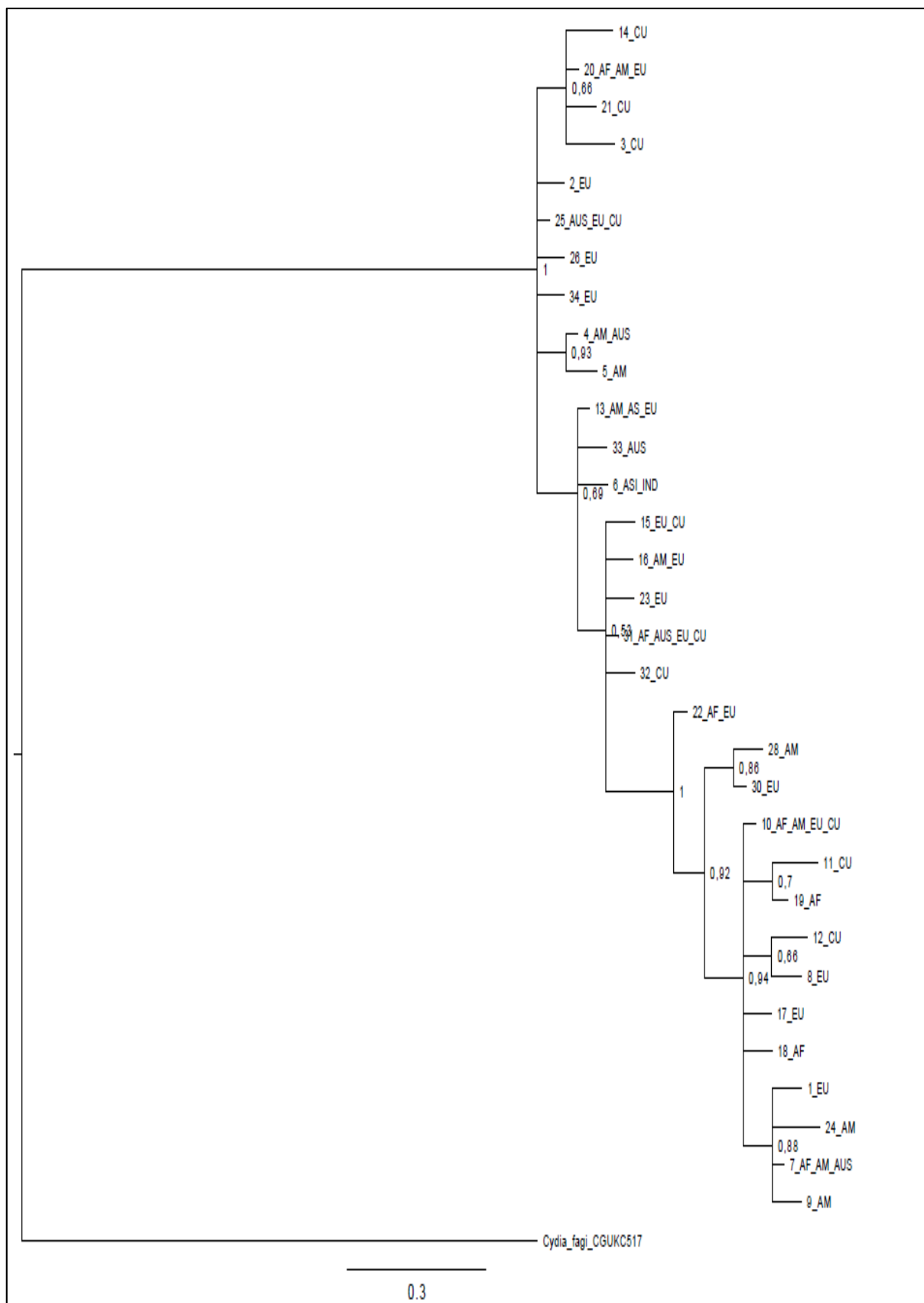


Figure 23. Phylogénie de l'ADN de tous les haplotypes d'ADNmt (fragment de Folmer IOC, 620 paires de bases) de *Cydia pomonella*.

Tableau17. Résultats des analyses AMOVA intra spécifiques montrant la répartition de la variance génétique totale entre les populations locales.

Source de variation	ddl*	Somme des carrés	Pourcentage de variation
Entre populations	2	4.14	0
Au sein des populations	32	163.77	100

*ddl : degré de liberté.

Tableau 18. Nombre d'échantillons de chaque haplotype dans chaque site d'échantillonnage des larves de *C. pomonella* de la région d'étude.

Haplotypes	Sehala Thaoura	Sidi Lahcen	Tenira
1	3	5	3
2	4	2	2
3			1
4			1
5	1		1
6	1		
7	1		
8			1
9	2	4	1
10		1	
11			1

Tableau 19. Résumé des informations génésiques relatives au site d'échantillonnage dans la région d'étude (SBA), comprenant le nombre total d'individus séquencés, le nombre d'haplotypes, la diversité des gènes et des nucléotides (moyenne \pm SE) et les résultats de la probabilité associée aux tests de neutralité (Tajima s D et Fu s F).

Site d'échantillonnage	Sehala Thaoura	Sidi Lahcen	Tenira
Nombre des individus	12	11	11
Nombre des haplotypes	6	4	8
Diversité du genre	0.84 \pm 0.07	0.74 \pm 0.08	0.92 \pm 0.06
Diversité du nucléotide	0.0071 \pm 0.003	0.0076 \pm 0.004	0.0069 \pm 0.003
Tajima's D	1.41 ($P = 0.94$)	2.42 ($P = 0.99$)	0.50 ($P = 0.72$)
Fu's F	3.16 ($P = 0.92$)	7.15 ($P = 0.99$)	0.22 ($P = 0.54$)

4.2. Étude de dynamique de *C. pomonella* au niveau de la zone d'étude

4.2.1. Étude de la dynamique spatio-temporelle des adultes de *C. pomonella*

Pour l'étude de la dynamique spatio-temporelle des adultes de *C. pomonella* dans la région de Sidi Bel Abbes durant les deux années d'études (2018 - 2019) et pour des besoins d'analyse statistique, notamment en ce qui concerne l'homogénéité des variables, nous avons pris en considération les résultats obtenus pour 15 vergers sur les 72 vergers cibles. Ainsi, nous avons récapitulé les résultats du piégeage des mâles et des femelles de six vergers de pommiers en intensifs (3 variétés : Golden Reinders et 3 Gala Galaxy), trois vergers de poiriers (variété Santa Maria) dans les sites de Tabia, Tenira et Sidi Lahcen et six autres vergers de pommiers en extensifs (3 variétés : Golden Delicious et 3 Gala Royal) dans la région de Sehala Thaoura. Au sein des vergers précités, nous avons effectué des suivis hebdomadaires des populations adultes par le biais des pièges attractifs mixtes phéromone-kairomone, du 29 mars 2018 et 28 mars 2019 (dates d'installation des pièges) au 25 octobre 2018 et 24 octobre 2019 (soit 30 relevés/ année).

4.2.1.1. Dynamique du vol dans les vergers intensifs

La figure 24 ci-dessous illustre la courbe de vol des adultes (mâles et femelles) dans les vergers de pommiers intensifs (variété : Golden Reinders, Gala Galaxy) et de poiriers (variété : Santa maria) dans les sites de Sidi Lahcen, Tabia et Tenira, en 2018 et 2019.

Les résultats de la dynamique du vol révèlent l'existence de trois générations complète et d'une quatrième partielle par an. Dans les vergers intensifs, la première génération s'étale du début avril jusqu'à la fin du juin avec un pic de vol enregistré en mai. La deuxième s'étend de la fin juin jusqu'à la fin juillet avec un pic enregistré en juillet. La troisième va du début août et s'achève à la fin août avec un pic enregistré en août et la quatrième génération partielle s'étale du début septembre jusqu'à la mi-octobre avec un pic enregistré en septembre (Fig. 24, voir Tab 1, annexe 7). Aussi, il y avait plus d'adultes au cours de la première moitié de la saison (vols 1 et 2) qu'au cours de la deuxième moitié (vols 3 et la moitié du vol 4). Nous avons remarqué que le nombre des adultes capturés (mâles et femelles) est plus élevé lors de la première génération que la deuxième, troisième et la quatrième génération partielle en 2018 qu'en 2019, dans tous les vergers de pommiers et de poiriers en intensifs (Fig. 25, voir Tab 2, annexe 7).

Les résultats de l'analyse GLMM, incluant toutes les variétés ensemble, montrent que le nombre d'adultes recueillis différait selon les vols ($\chi^2 = 1917$; $ddl = 3$; $P < 0,001$). Des différences significatives ont été observées entre les années d'étude ($\chi^2 = 141$, $ddl = 1$; $P < 0,001$). Le nombre d'adultes capturés en 2018 est beaucoup plus élevé qu'en 2019, mais les différences entre les vols n'ont pas varié au cours des deux années. Le nombre total d'adultes piégés différait selon les variétés, étant significativement plus élevé chez les pommiers Golden Reinders ($\chi^2 = 3227$; $ddl = 2$; $P < 0,001$). Il est intéressant de noter que le profil temporel susmentionné de l'abondance des adultes est différent parmi les principales variétés, car l'interaction entre les facteurs « vol » et « variété » était importante ($\chi^2 = 226$; $ddl = 6$; $P < 0,001$). Chez Golden Reinders, le nombre d'adultes diminue beaucoup lors du vol 1 et 2 à 3 et lors de la moitié du 4^{ème} vol. Chez Gala Galaxy, en revanche, il y a encore une augmentation du nombre d'adultes lors de la moitié du 4^{ème} vol, légèrement supérieur à celui du vol 3.

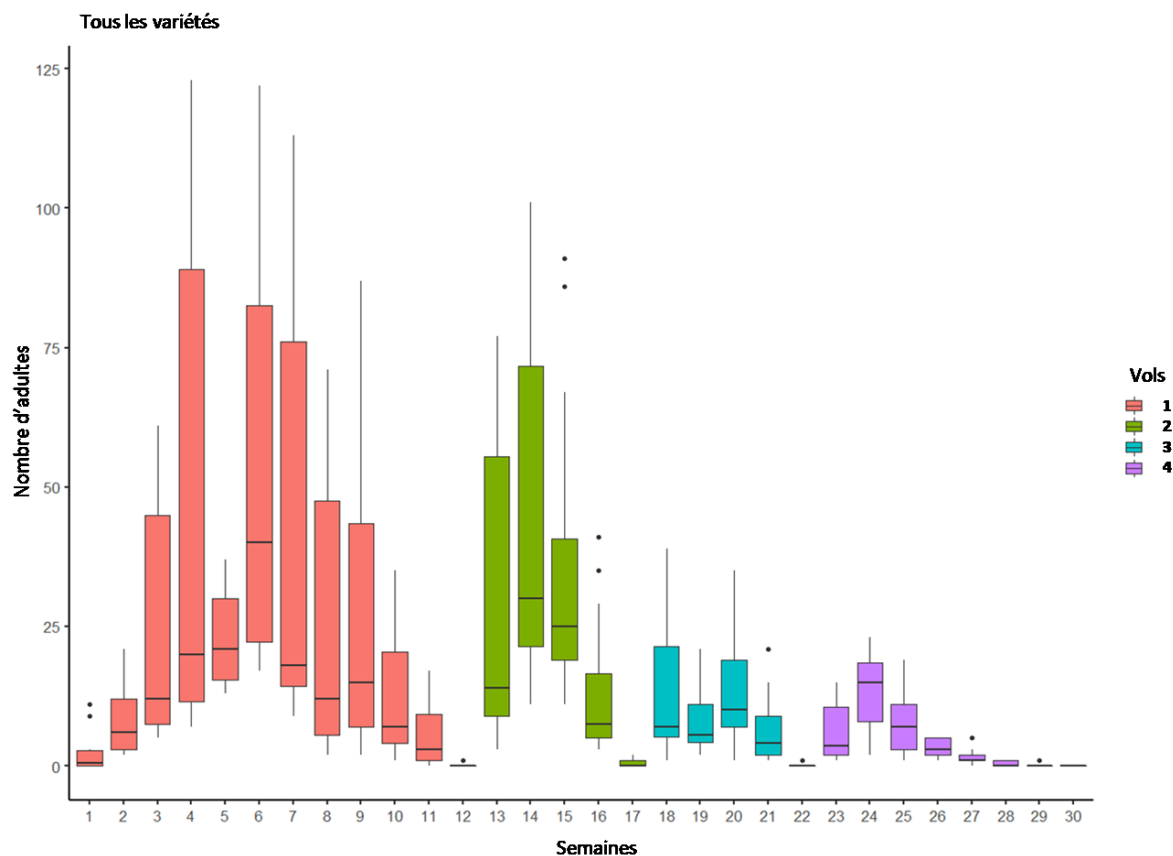


Figure 24. Courbe de vol des adultes de *C. pomonella* (mâles et femelles) dans les vergers de pommiers (variété : Golden Reinders, Gala Galaxy) et de poiriers (variété : Santa maria) des sites de : Sidi Lahcen, Tabia et Tenira (nombre moyen d'adultes \pm SE), pour les deux années : 2018 et 2019.

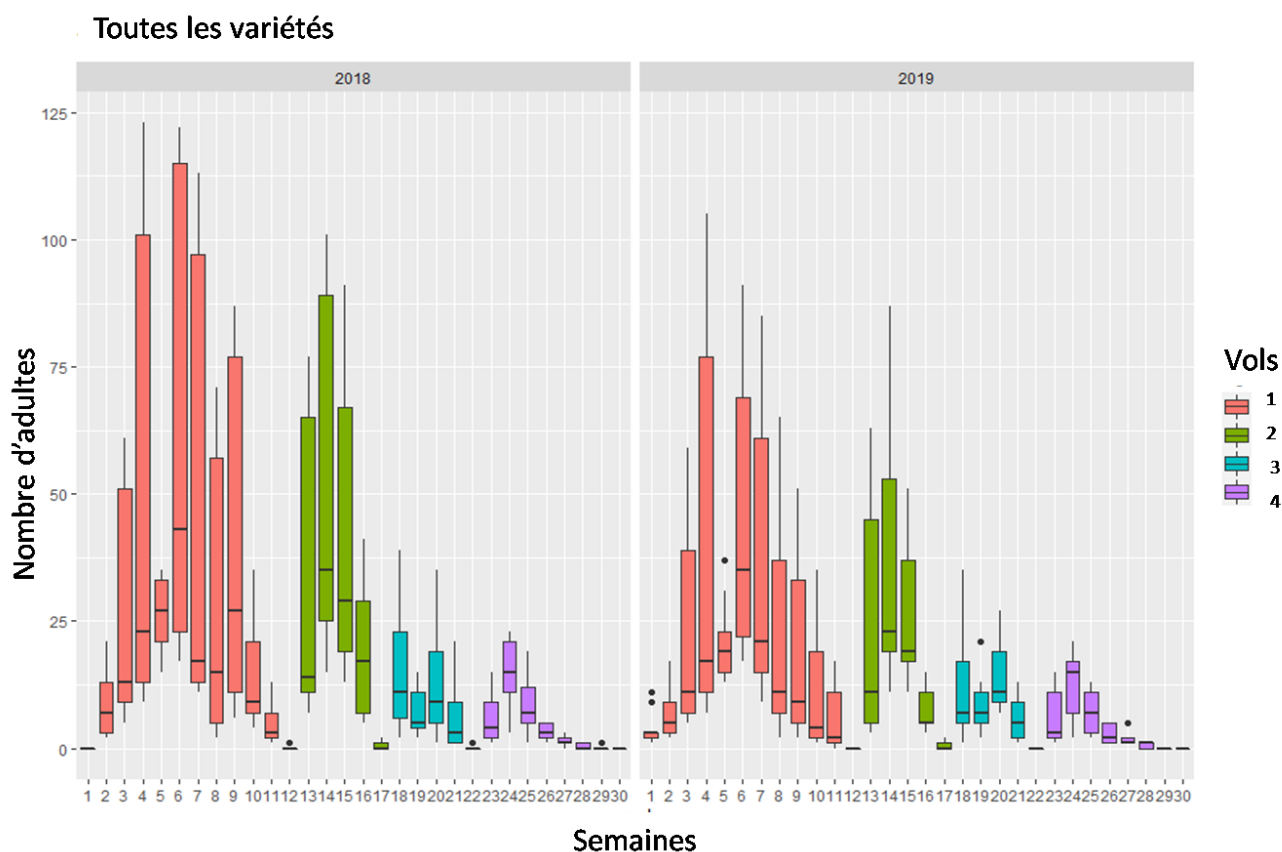


Figure 25. Activité de vol de *C. pomonella* dans les vergers de pommiers (Golden Reinders et Gala Galaxy) et de poiriers (variété : Santa maria) des sites de Tenira, Sidi Lahcen et Tabia (nombre moyen d'adultes \pm SE), par année d'étude : 2018 et 2019.

4.2.1.1.1. Dynamique du vol pour le pommier : variété Golden Reinders

Au niveau des vergers de pommiers de la variété Golden Reinders situés dans les régions de Tenira, Sidi Lahcen et Tabia, la première génération s'étale du début d'avril jusqu'à la fin juin, avec un pic d'adulte capturés de 118 papillons enregistré le mois de mai. La deuxième s'étale de la fin juin à la fin juillet avec un pic de 87 papillons capturés le mois de juillet, alors que la troisième débute en août et s'étale jusqu'à la fin du mois avec un pic de 35 papillons et la moitié de la quatrième génération commence au début de septembre jusqu'à mi-octobre avec un pic de 23 papillons enregistrés le mois de septembre (Fig. 26, voir Tab 3, annexe 7). L'examen de la figure 26, montre que le nombre d'adultes capturés lors de la première génération est plus élevé que la deuxième, la troisième et la moitié de la quatrième génération, durant les deux années d'études (2018 - 2019). Nous observons aussi que le nombre d'individus capturés est beaucoup plus élevé en 2018 qu'en 2019 (Fig. 27, voir Tab 4, annexe 7).

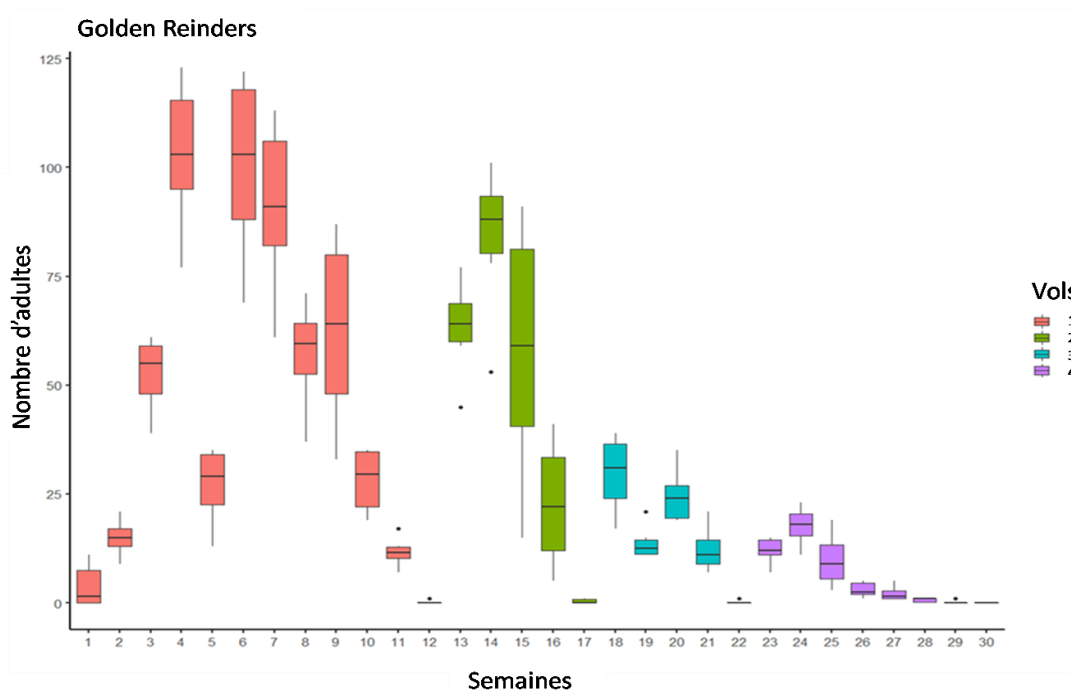


Figure 26. Activité de vol de *C. pomonella* dans les vergers de pommiers de la variété Golden Reinders des sites de Sidi Lahcen, Tabia et Tenira (nombre moyen d'adultes \pm SE), pour les deux années d'étude :2018 et 2019.

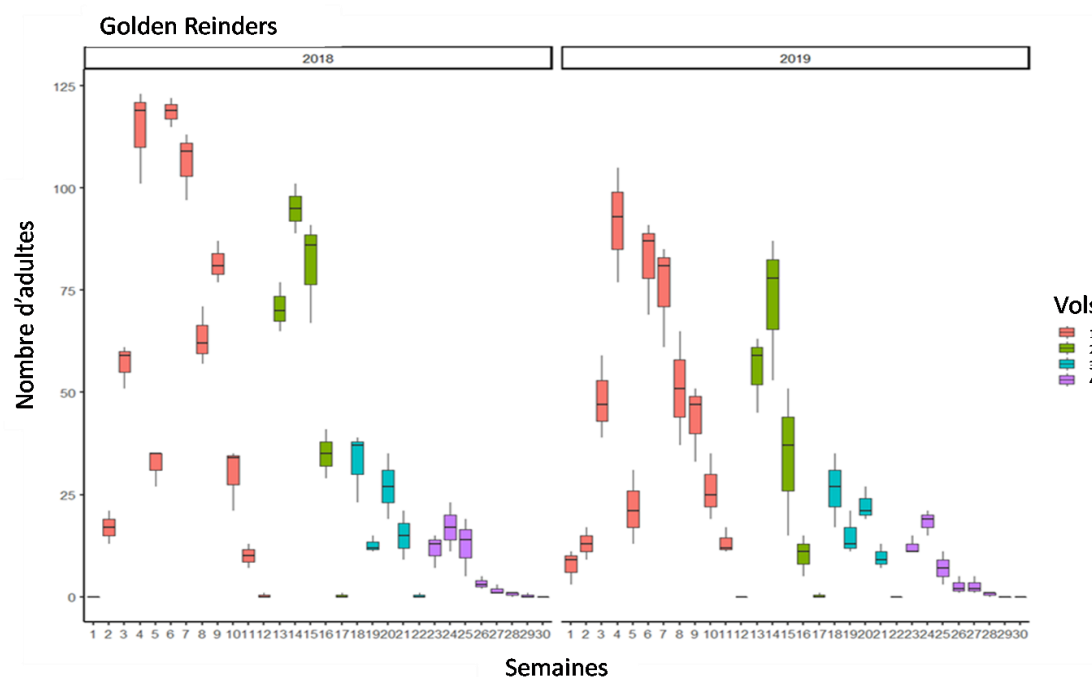


Figure 27. Activité de vol de *C. pomonella* dans les vergers de pommiers de la variété Golden Reinders des sites de Tenira, Sidi Lahcen et Tabia (nombre moyen d'adultes \pm SE), pour les deux années d'étude : 2018 et 2019.

4.2.1.1.2. Dynamique du vol pour le pommier : variété Gala Galaxy

Au niveau des vergers de pommiers de la variété Gala Galaxy, situés dans les sites de Sidi Lahcen, Tabia et Tenira, la première génération débute en avril et s'étale jusqu'à la fin juin, avec un pic de 24 adultes capturés, enregistré au mois de mai. La deuxième génération s'étale de la fin juin à la fin juillet avec un pic de 23 papillons au mois de juillet. Tandis que la troisième commence début août et s'achève à la fin du même mois avec un pic de 10 papillons capturés. La quatrième génération partielle débute en septembre et s'achève à la mi-octobre, avec un pic de 20 papillons capturés au mois de septembre (Fig. 28, voir Tab 5, annexe 7). Par ailleurs l'examen de la figure 29, révèle que le nombre des effectifs capturés en première génération est plus élevé que la deuxième, la moitié de la troisième et quatrième génération durant les deux années d'études (2018 - 2019). Nous avons observé aussi que le nombre des individus capturés de carpocapse est plus élevé en 2018 qu'en 2019 (Fig. 29, voir Tab 6, annexe 7).

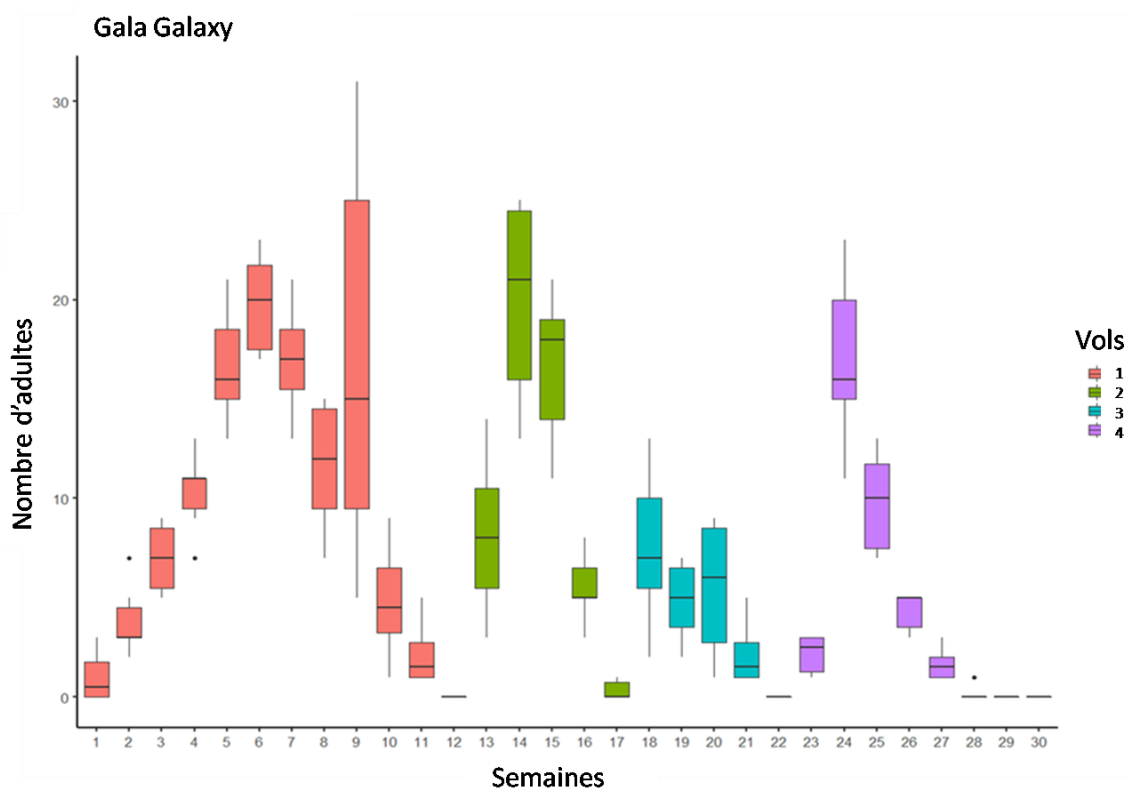


Figure 28. Activité de vol de *C. pomonella* dans les vergers de pommiers de la variété Gala Galaxy des sites de Sidi Lahcen, Tabia et Tenira (nombre moyen d'adultes \pm SE), pour les deux années d'étude : 2018 et 2019.

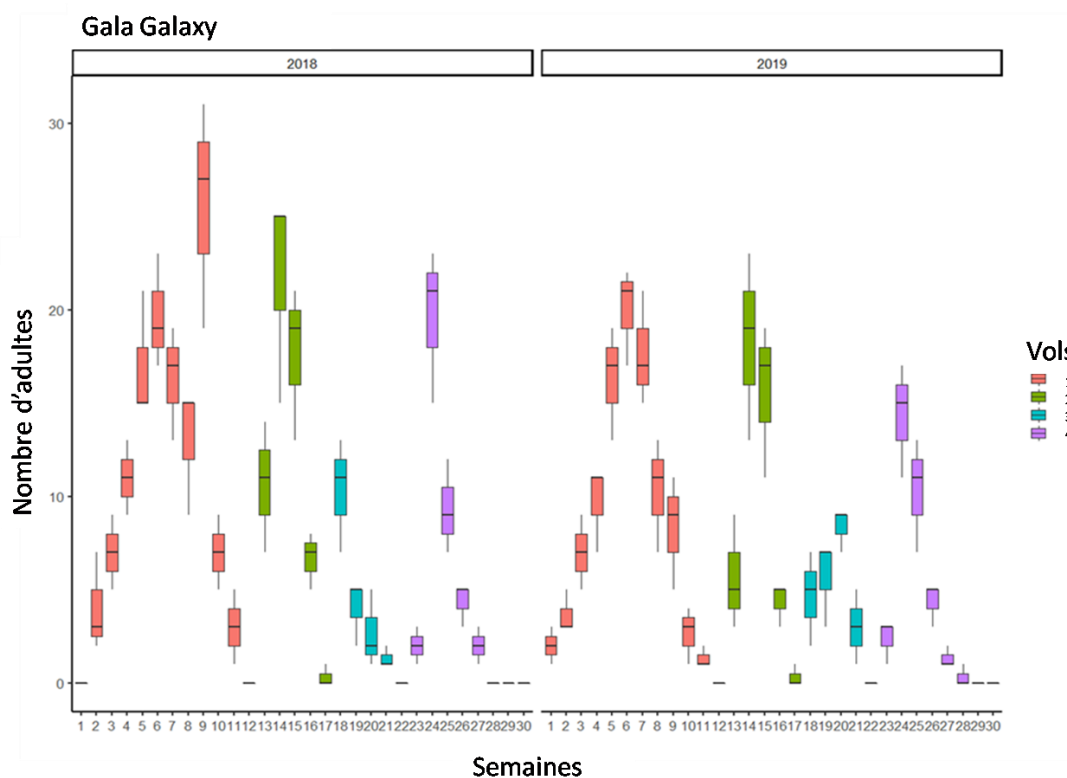


Figure 29. Activité de vol de *C. pomonella* dans les vergers de pommiers de la variété Gala Galaxy des sites de Sidi Lahcen, Tabia et Tenira (nombre moyen d'adultes \pm SE), par année d'étude : 2018 et 2019.

4.2.1.1.3. Dynamique du vol pour le poirier : variété Santa Maria

Au niveau des vergers de poiriers de la variété Santa Maria, situés dans les sites de Sidi Lahcen, Tabia et Tenira, la première génération débute en avril et s'achève à la fin juin, avec un pic de 47 adultes capturés au mois de mai. La deuxième génération s'étale de la fin juin à la fin de juillet, avec un pic de 35 papillons enregistré le mois de juillet. Tandis que la troisième s'étale du début d'août à la fin du même mois avec un pic de 13 papillons capturés. La quatrième génération partielle débute en septembre jusqu'à mi-octobre avec un pic de 8 papillons enregistré le mois de septembre (Fig. 30, voir Tab 7, annexe 7).

L'examen de la figure 31 ci-dessous, montre que le nombre d'adultes capturés en première génération est plus élevé que la deuxième, la troisième et la moitié de la quatrième génération, durant les deux années d'études (2018 - 2019). Comme pour les deux autres variétés de pommiers, nous observons également que le nombre des individus capturés est plus important en 2018 (Fig. 31, voir Tab 8, annexe 7).

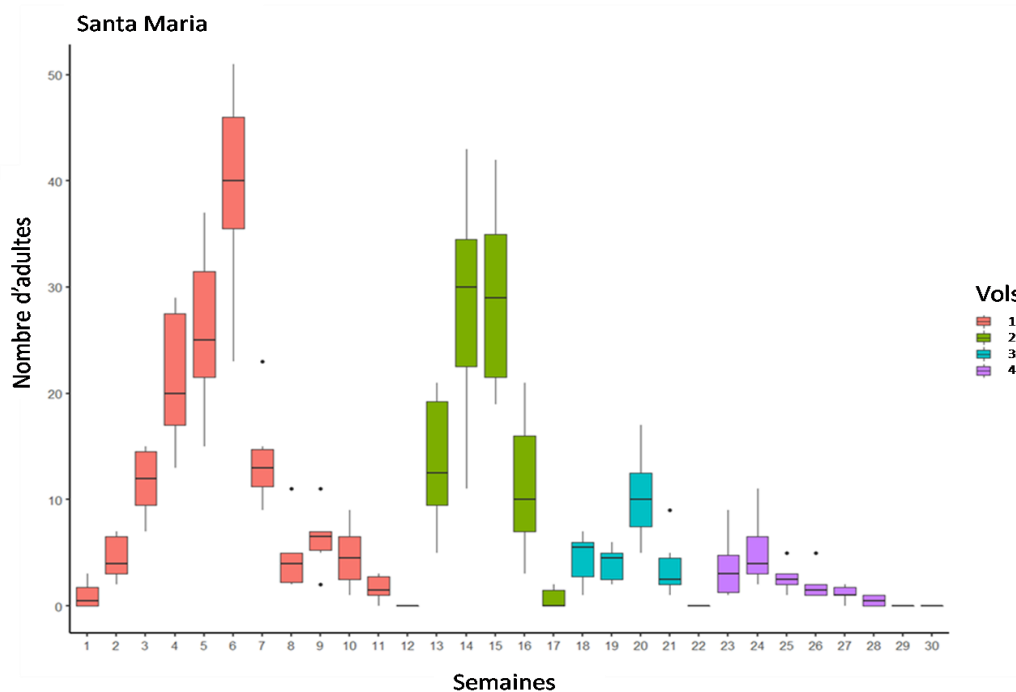


Figure 30. Activité de vol de *C. pomonella* dans les vergers de poiriers (variété Santa maria) des sites de Sidi Lahcen, Tabia et Tenira (nombre moyen d'adultes \pm SE), pour les deux années d'étude :2018 et 2019.

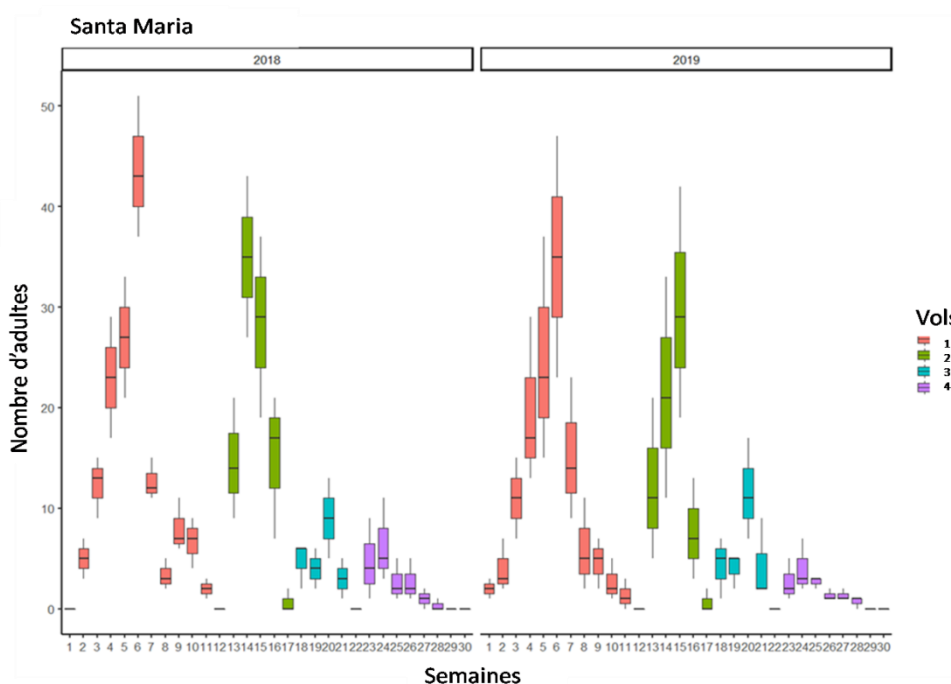


Figure 31. Activité de vol de *C. pomonella* dans les vergers de poiriers (variété Santa Maria) des sites de Sidi Lahcen, Tabia et Tenira (nombre moyen d'adultes \pm SE), par année d'étude : 2018 et 2019.

4.2.1.2. Dynamique du vol dans les vergers de pommiers extensifs

Dans les vergers de pommiers extensifs (variétés Golden Delicious et Gala Royal) localisés dans le site de Sehala Thaoura, la première génération s'étale du début avril à la fin juin, avec un pic d'adulte (93) capturés au mois de mai. La deuxième génération s'étale de la fin juin à la fin juillet avec un pic (83) au mois de juillet. Alors que la troisième génération intervient du début août et s'achève la fin du mois avec un pic de capture (31) au mois d'août. La moitié de la quatrième génération se produit du début septembre à la mi-octobre, avec un pic d'adultes capturés (17) au mois de septembre (Fig. 32, voir Tab 9, annexe 7). L'examen des figures 33 et 34 ci-dessous, montre que le nombre d'adultes capturés en première génération est plus élevé que la deuxième, la troisième et la moitié de la quatrième génération. Aussi, le nombre d'individus capturés en 2018 est plus élevé que celui de l'année 2019 (voir Tab 9. et 10, annexe 7).

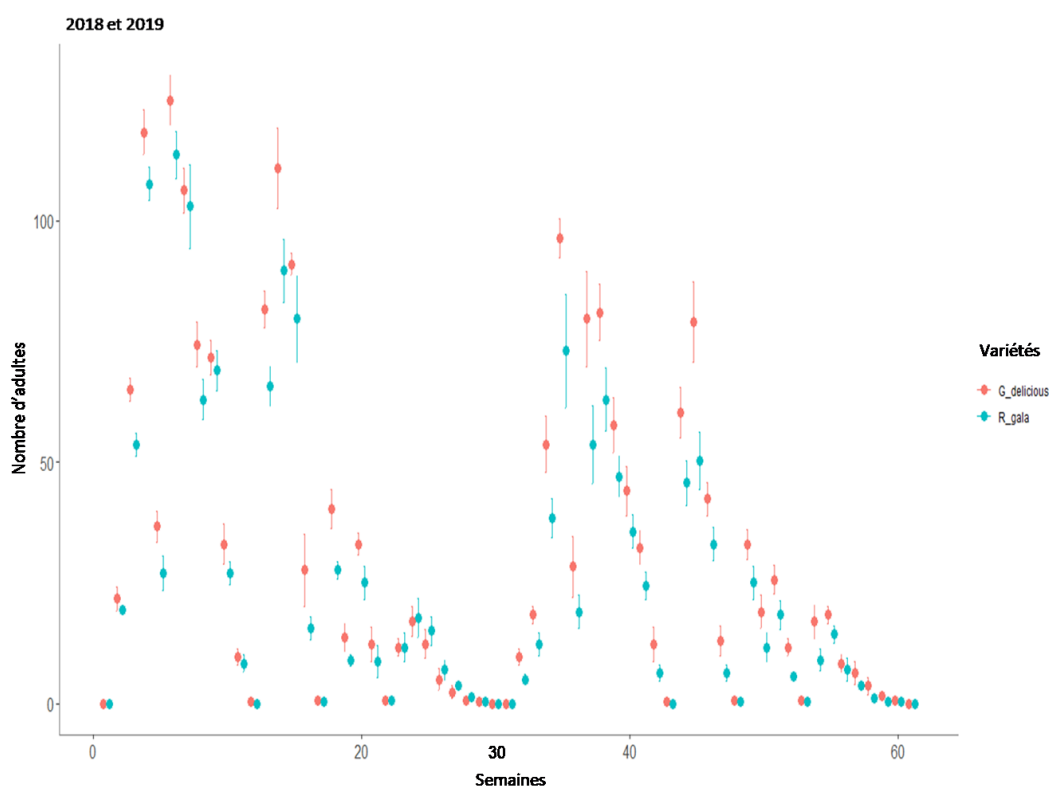


Figure 32. Activité de vol de *C. pomonella* dans les vergers de pommiers extensifs (variétés : Golden Delicious et Gala Royal) du site de Sehala Thaoura (nombre moyen d'adultes \pm SE), pour les deux années d'étude : 2018 et 2019.

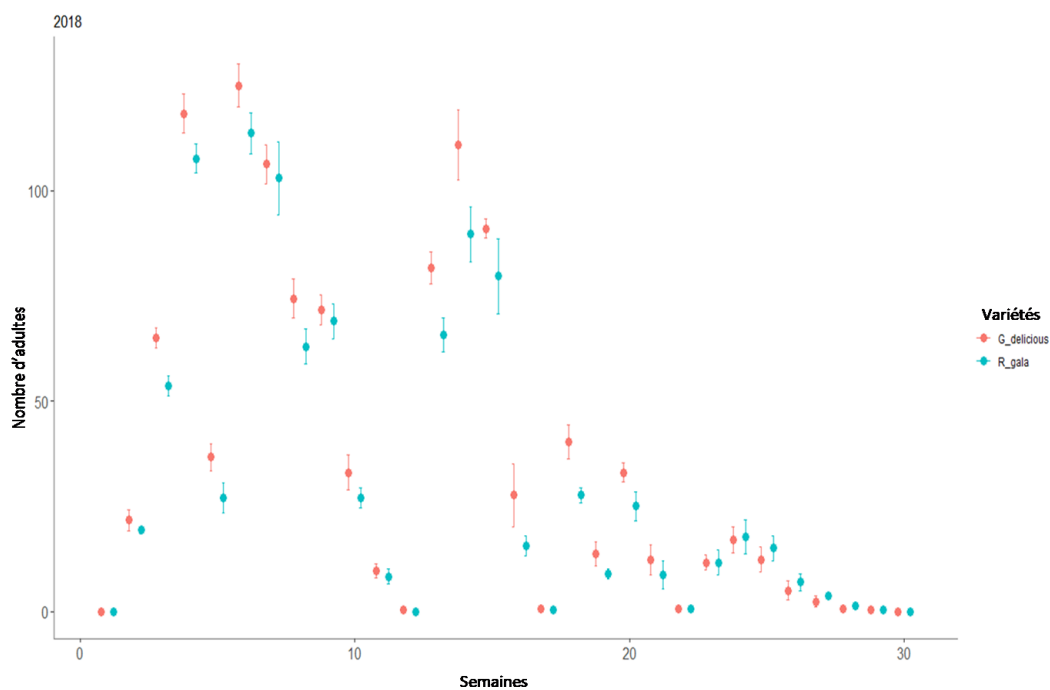


Figure 33. Activité de vol de *C. pomonella* dans les vergers de pommiers (variétés : Golden Delicious et Gala Royal) du site de Sehala Thaoura en 2018 (nombre moyen d'adultes \pm SE).

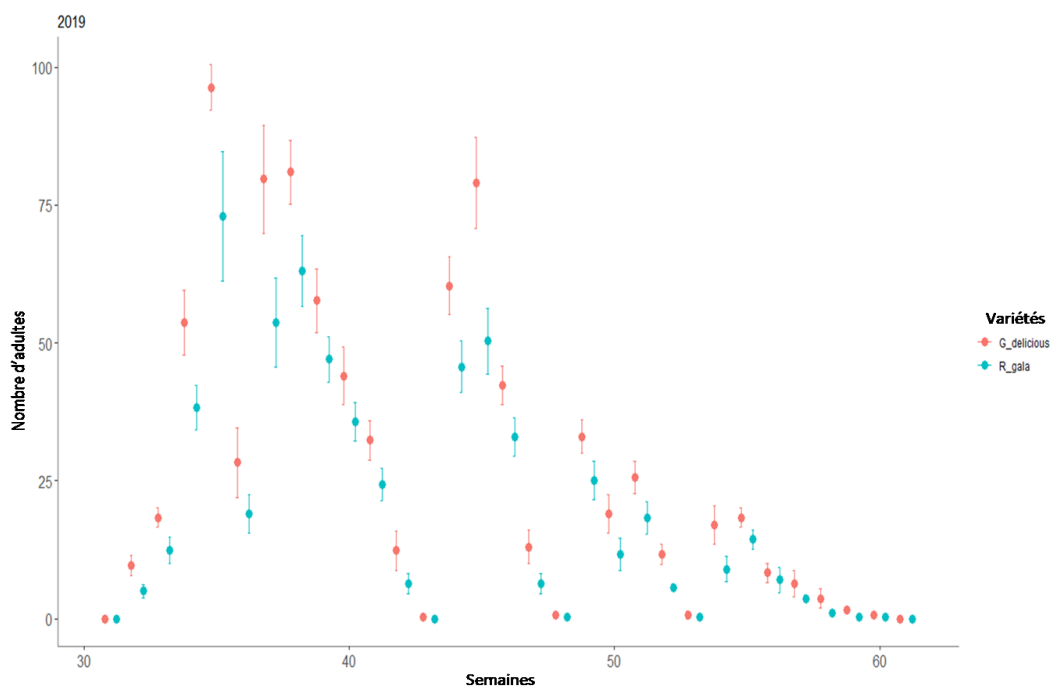


Figure 34. Activité de vol de *C. pomonella* dans les vergers de pommiers extensifs (variétés : Golden Delicious et Gala Royal) du site de Sehala Thaoura en 2019 (nombre moyen d'adultes \pm SE).

4.2.1.3. Détermination des générations de *C. pomonella* par la somme des degrés-jours

La quantité de degrés-jours nécessaire au développement d'une génération est de 550. Les contours des générations définis sur la base de cette valeur et les températures propres à chaque année d'observation, sont représentés par les figures 35 et 36 ci-dessous. L'examen de ces figures permet de préciser que le carpocapse, comme tout autre arthropode, est assujéti aux températures annuelles qui affectent différemment son cycle.

Durant l'année 2018, les températures étaient très favorables au développement du carpocapse, permettant ainsi l'enchaînement de 3 générations et d'une quatrième génération partielle. La première, débute le premier avril et prend fin le 21 juin. La seconde s'étend du 21 juin jusqu'au 25 juillet. Puis la troisième se termine vers le 29 août (Fig. 35). Enfin, une quatrième génération partielle, se termine vers le 18 octobre, date à laquelle toutes les dernières larves entrent en diapauses. Comme en 2018, les conditions climatiques de l'année 2019 étaient satisfaisantes et ont permis au carpocapse de développer également 3 générations complètes et une quatrième partielle. La première s'étale du début avril au 17 juin, la seconde du 18 juin au 23 juillet, la troisième s'achève le 23 août. Enfin, la quatrième partielle s'achève le 10 octobre, date à laquelle toutes les larves entrent en diapause (Fig. 36).

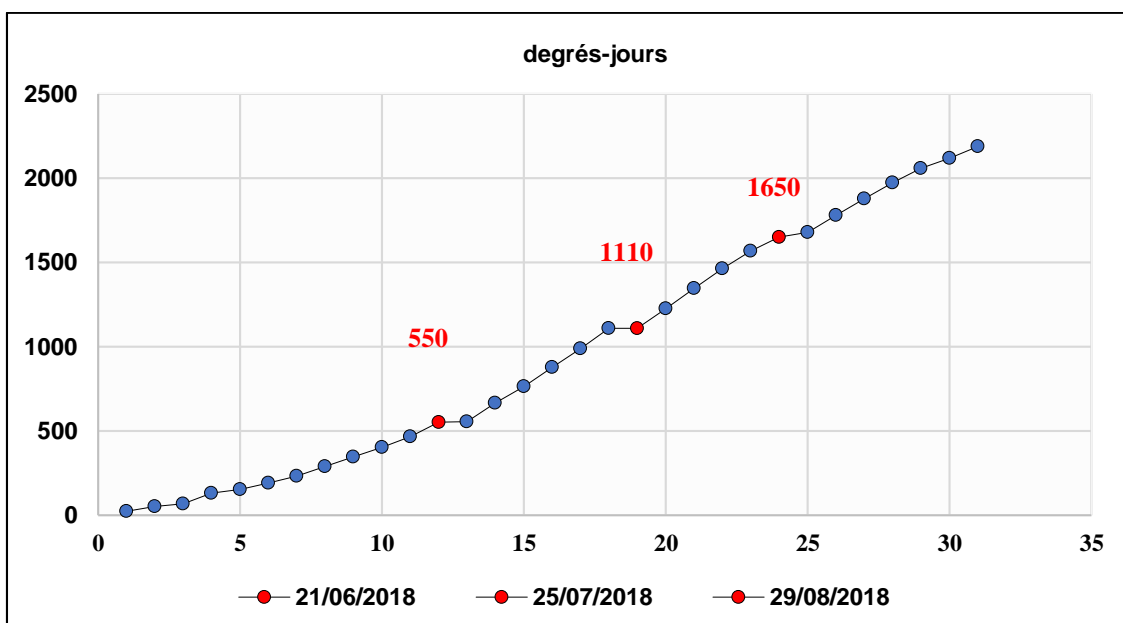


Figure 35. Nombre de générations prévisionnelles de *C. pomonella* en fonction des degrés-jours, pour l'année 2018.

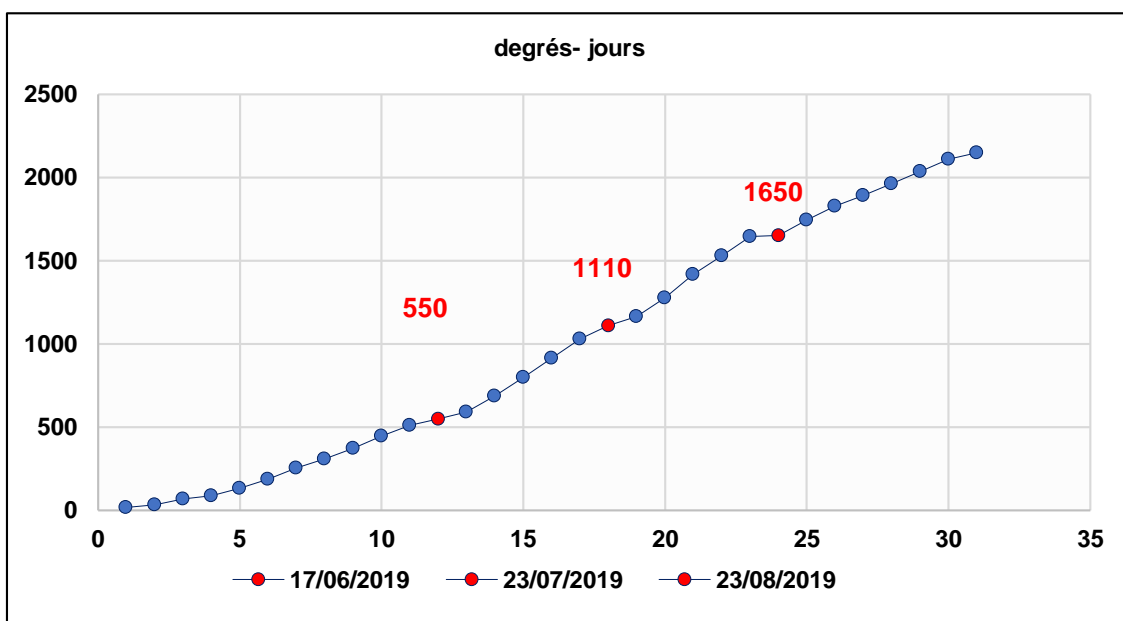


Figure 36. Nombre de générations prévisionnelles de *C. pomonella* en fonction des degrés-jours, pour l'année 2019.

Dans le tableau 20 ci-dessous, un récapitulatif des résultats fournis par le piégeage attractif et la méthode des degrés-jours, est donnée. Ainsi les deux méthodes, offrent chacune une description propre du cycle. La méthode des degrés-jours (DJ) est vraisemblable avec les observations faites par le piégeage attractif pour toutes les générations de l'année 2018 et la dernière génération en 2019. Cependant, un léger décalage d'au moins une semaine existe pour les trois générations de l'année 2019.

Tableau 20. Récapitulatif des évaluations fournies par les deux méthodes : piégeage et degrés-jours.

Génération	2018		2019	
	DJ	Vol	DJ	Vol
G1	21-juin	21-juin	17-juin	20-juin
G2	25-juil	26-juil	23-juil	25-juil
G3	29-août	30-août	23-août	29-août
G4 partielle	11-octobre	11-octobre	10-octobre	10-octobre

4.2.2. Effet des haies sur la répartition spatiale intra verger des larves diapausantes au sein des vergers de pommiers

4.2.2.1. Description des haies situées en bordure des vergers cibles

Les résultats relatifs à l'abondance relative des espèces végétales, constituant les haies en bordures, de l'ensemble des vergers cibles, sont consignés dans le tableau 21 ci-dessous. La figure 37 illustre quelques exemples de haies relevées dans les vergers cibles.

L'examen des résultats, montre que le type de haie, situé en bordure des vergers étudiés, est dominé par les espèces arborescentes. 07 espèces ont été retrouvées en bordure des vergers cibles. Le casuarina et l'olivier sont dominants avec des abondances relatives respectifs de 62 % dans les vergers de pommiers et de poiriers intensifs et 23% dans les vergers intensifs et extensifs. Tandis que certains vergers de pommiers et de poiriers extensifs du site de Sehala Thaoura ne comportent aucune haie en bordure.

Tableau 21. Abondance relative (%) des espèces végétales constituant les haies en bordure des vergers de pommiers et de poiriers cibles.

Nom commun	Nom scientifique	Abondance relative (%)	Verger cible
Casuarina	<i>Casuarina equisetifolia</i>	62	Pommiers et poiriers intensifs
Olivier	<i>Olea europaea</i>	23	Pommiers intensif et extensif et poiriers intensifs
Cyprès	<i>Cupressus horizontalis</i>	7	Pommiers intensifs et poiriers intensifs
Vigne	<i>Vitis vinifera</i>	5	Pommiers extensifs
Murier	<i>Morus alba</i>	2	Pommiers intensifs
Amandier	<i>Prunus dulcis</i>	1	Pommiers extensifs
Sans haie	-	0	Pommiers et poiriers extensifs
Total		100	72



Figure 37. Différents types de haies dans les vergers de pommiers et de poiriers cibles.
A : Verger de poirier intensif, variété Passe Crassane dans le site de Tabia (**41**). **B :** Verger de poirier extensif, variété Santa Maria dans le site de Tenira (**14**). **C :** Verger de pommiers extensif, variété Gala Royal dans le site de Sehala Thaoura (**16**). **D :** Verger de pommiers extensif, variété Golden Délicieux dans le site de Sehala Thaoura (**7**).

4.2.2.2. Dispersion spatiale intra verger des effectifs de larves diapausantes

Nous avons analysé la répartition spatiale des effectifs de larves diapausantes collectées dans les bandes pièges dans les 72 vergers au cours des deux années d'étude (2018 - 2019). D'une part, nous avons étudié l'effet de la position des bandes pièges (les 2160 bandes pièges installées) sur les bordures ou au centre des vergers, pour les deux années de suivi. D'une autre part, nous avons pris en compte la distance de la bande piège la plus proche de la haie par rapport aux autres bordures qui entourent chaque verger.

4.2.2.2.1. Les vergers de pommiers

Les résultats de l'étude de l'effet de la position des bandes pièges montrent que l'emplacement des bandes pièges dans les vergers de pommiers a un effet sur le nombre des larves diapausantes de *C. pomonella*. Dans les vergers de pommiers (intensif ou extensif), le nombre des larves est plus élevé dans les bandes pièges localisées dans le centre (55) que celles situées aux extrémités des vergers (46), pour les deux années d'études (2018- 2019) (Fig. 38, voir Tab 1, annexe 8) ($\chi^2 = 10$, $ddl = 1$, $P = 0,001$) à l'exception d'un verger intensif dans le site de Tenira où le nombre de larves diapausantes était plus élevé et concentré en bordure des vergers (Fig. 39 et 40, voir Tab 2. et Tab 3, annexe 8). Nous notons aussi que le facteur année avait un effet sur le nombre de larves par arbre, qui est significativement plus élevé en 2019 ($\chi^2 = 752$; $ddl = 1$; $P < 0,0001$). Suivant le système de conduite, le nombre des larves diapausantes dans les vergers de pommiers extensifs est plus élevé (428) que celui dans les vergers intensifs (126), ceci pour les deux années d'études (2018 - 2019). En effet, en prenons pour exemple deux vergers de la variété Golden Delicious, l'un extensif situé au niveau du site de Sehala Thaoura et l'autre intensif situé au niveau du site de Tenira, nous avons remarqué que le nombre des larves, en 2018, est beaucoup plus élevé dans le premier (1 446) que le second verger (84) (Fig 41, voir Tab 4, annexe 8). L'examen des résultats consignés dans le tableau 22 ci-dessous montrent une différence significative entre les effectifs des larves diapausantes et leur localisation au sein des différents vergers de pommiers par rapport aux bordures ($P < 0,001$), durant les deux années d'études (2018 - 2019). L'année d'étude et les différentes variétés de pommiers ont eu un effet significatif sur la distribution spatiale (intra verger) des larves diapausantes ($P < 2.2e-16$).

Tableau 22. Comparaisons multiples (test poshoc du Tukey) entre la localisation spatiale des effectifs des larves diapausantes, les variétés de pommiers et les années d'étude (2018 et 2019)

Comparaison	Estimation	z	P
Localisation	10.071	1	0.001507 **
Variété	672.266	12	< 2.2e-16 ***
Année	752.491	1	< 2.2e-16 ***
Variété - année	203.227	12	< 2.2e-16 ***

*** $P < 0,001$, ** $P < 0,01$.

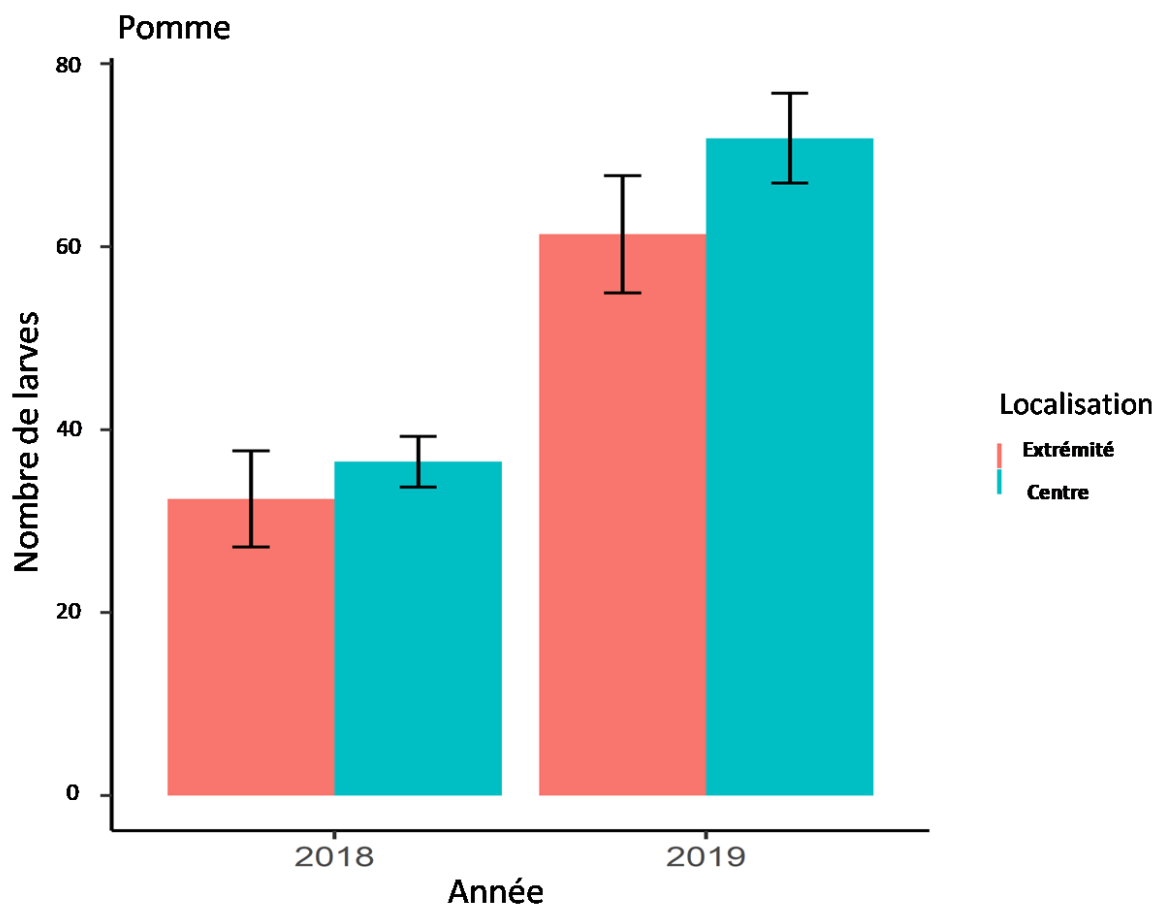


Figure 38. Localisation spatiale des effectifs de larves diapausantes dans les vergers de pommiers (nombre moyen de larves \pm SE), pour les des deux années d'études : 2018 et 2019.

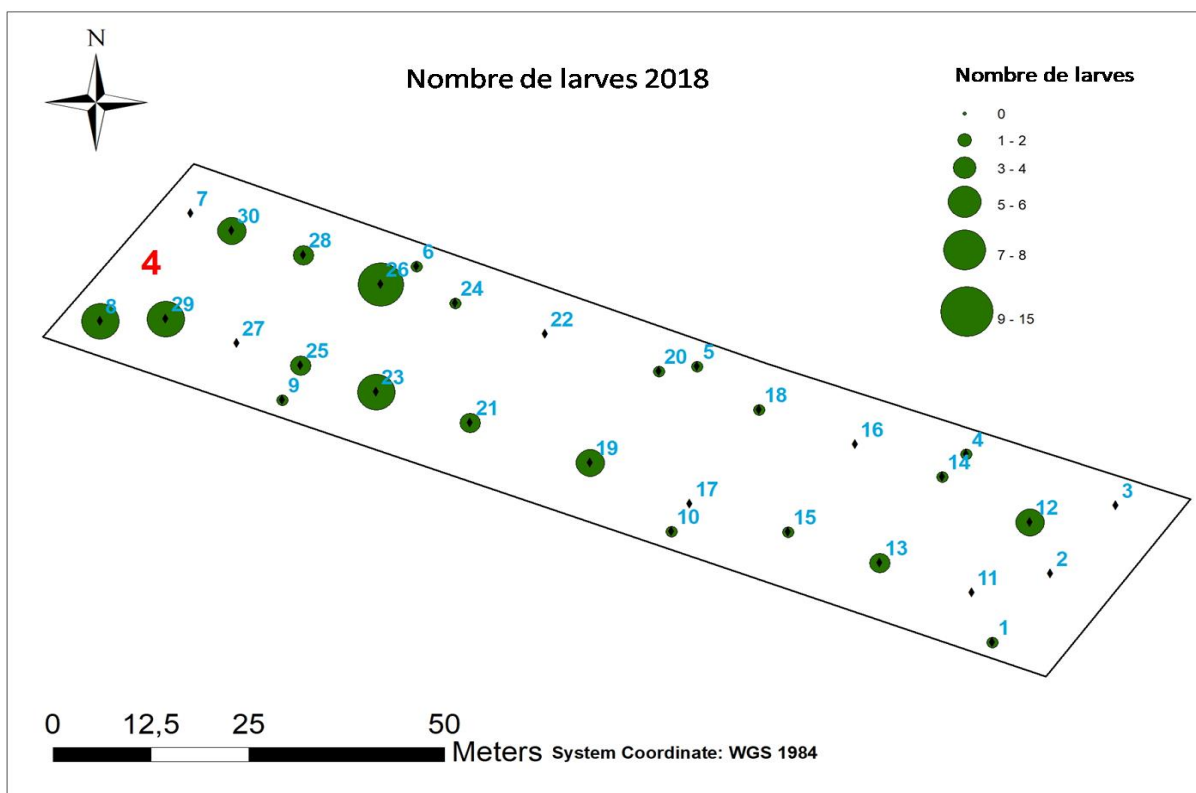


Figure 39. Répartition spatiale des effectifs de larves diapausantes de *C. pomonella* au sein d'un verger de pommier (variété Golden Delicious) dans le site de Tenira, en 2018. Sur la carte, les numéros : 1 à 30 correspondent au numéro de chaque bande piège et **4** : verger intensif situé dans le site de Tenira.

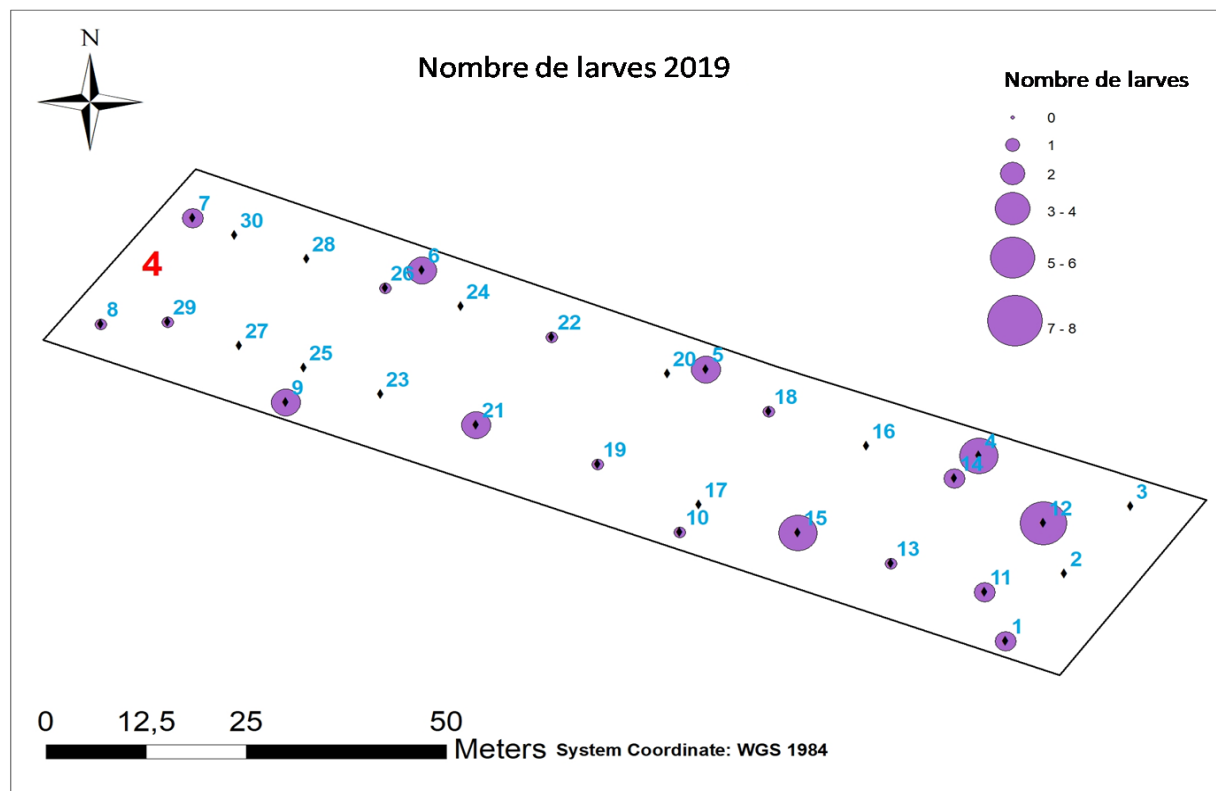


Figure 40. Répartition spatiale des effectifs de larves diapausantes de *C. pomonella* au sein d'un verger de pommier intensif (variété Golden Delicious) dans le site de Tenira en 2019.4 : verger intensif situé dans le site Tenira.

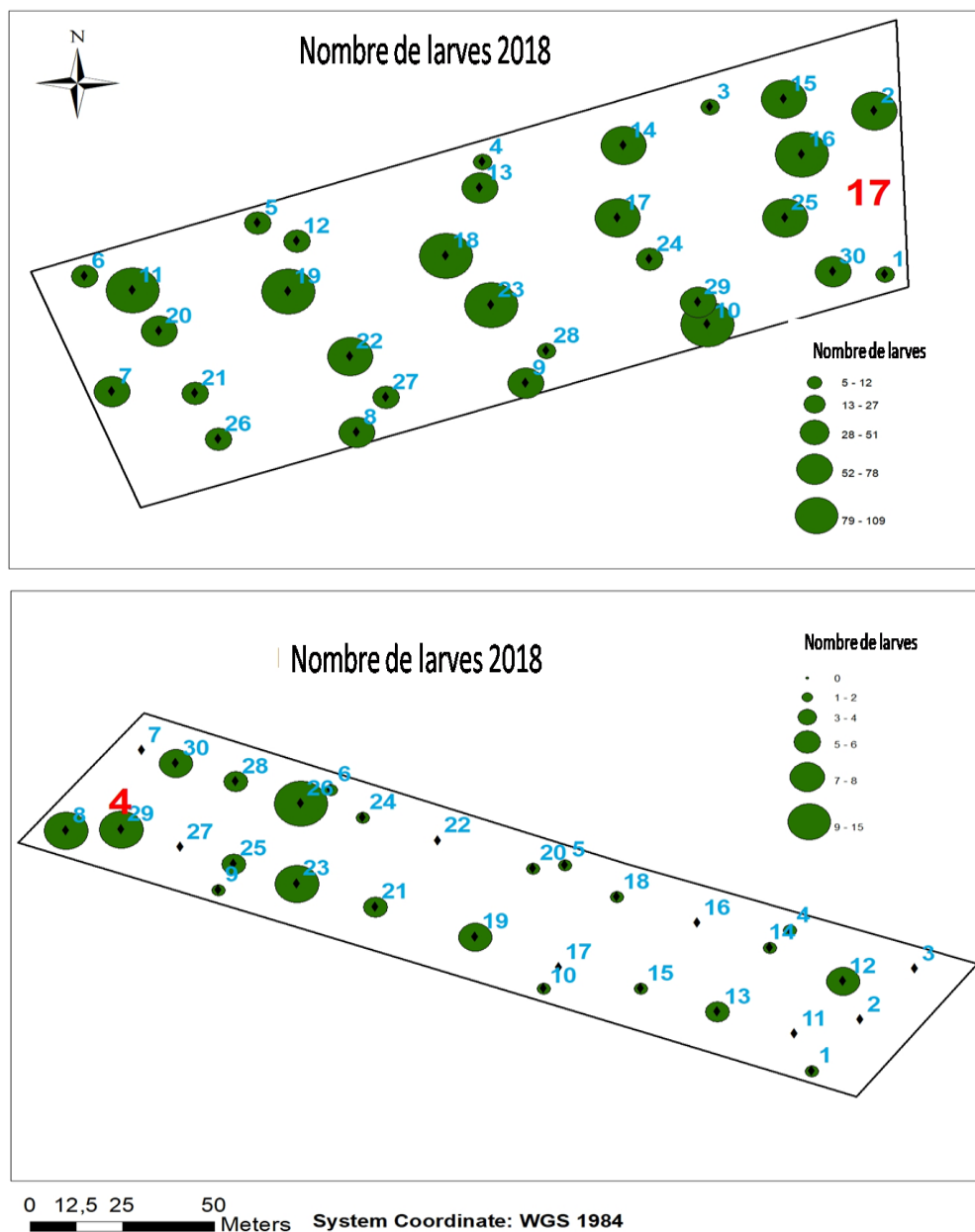


Figure 41. Comparatif de répartition spatiale des effectifs de larves diapausantes de *C. pomonella* entre deux vergers de pommiers de la variété Golden Delicious : l’un intensif du site de Tenira (17) et l’autre extensif du site de Sehalha Thaoura (4), en 2018.

Les résultats illustrés dans le tableau 23 ci-dessous, montrent que la distance de la bande piège à la bordure a eu un effet significatif sur la localisation intra verger des effectifs de larves diapausantes ($P < 2.2e-16$).

Dans les vergers pommiers sans haie, les arbres les plus près de la bordure (ligne d'arbre de pommier de l'extrémité)(0-20 m) avaient plus de larves diapausantes, ce nombre décroît de plus en plus qu'en s'éloigne de la bordure (Fig. 42, voir Tab 4, annexe 8). La proportion des haies a eu également un effet significatif sur les effectifs de larves, en effet lorsque les bandes pièges sont plus proches des haies du verger, le nombre moyen de larves dans les arbres est plus faible. Par contre, les vergers sans haie en bordure (proportion = 0) renferment les effectifs de larves les plus élevés (Fig. 43, voir Tab 5, annexe 8).

L'interaction entre la bordure proche et l'année d'étude ainsi et avec la haie a eu un effet significatif sur le nombre la dispersion des larves diapausantes au sein des vergers ($P < 2.2e-16$).

Tableau 23. Effet de la distance des bandes pièges et des haies sur les effectifs et la dispersion des larves diapausantes, pour les deux années d'études (2018 et 2019), dans les vergers de pommiers.

Comparaison	Estimation	<i>z</i>	<i>P</i>
Distance plus proche	1604.94	1	< 2.2e-16 ***
Année	2827438.76	1	< 2.2e-16 ***
Haie	75059.46	1	< 2.2e-16 ***
Dist proche - Année	698.11	1	< 2.2e-16 ***
Année - haie	1923593.49	1	< 2.2e-16 ***

*** $P < 0.001$, ** $P < 0.01$.

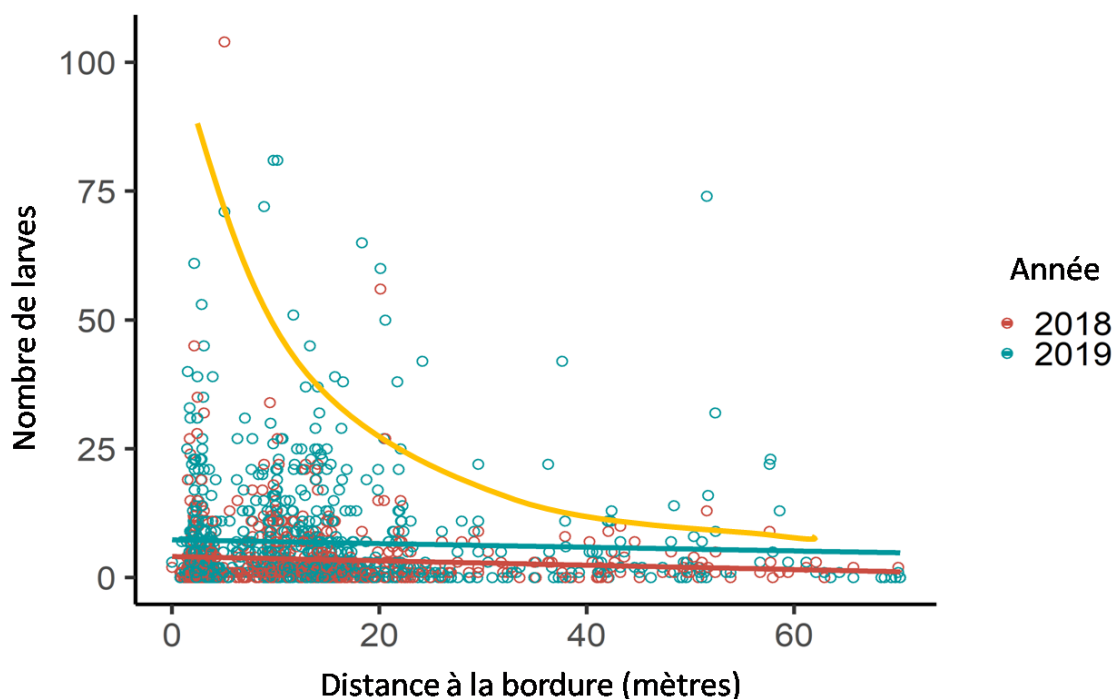


Figure 42. Effet de la distance des bandes pièges par rapport à la bordure sur le nombre des larves diapausantes, pour les deux années d'études (2018 et 2019) pour les vergers de pommiers, extensifs et intensifs, sans haie.

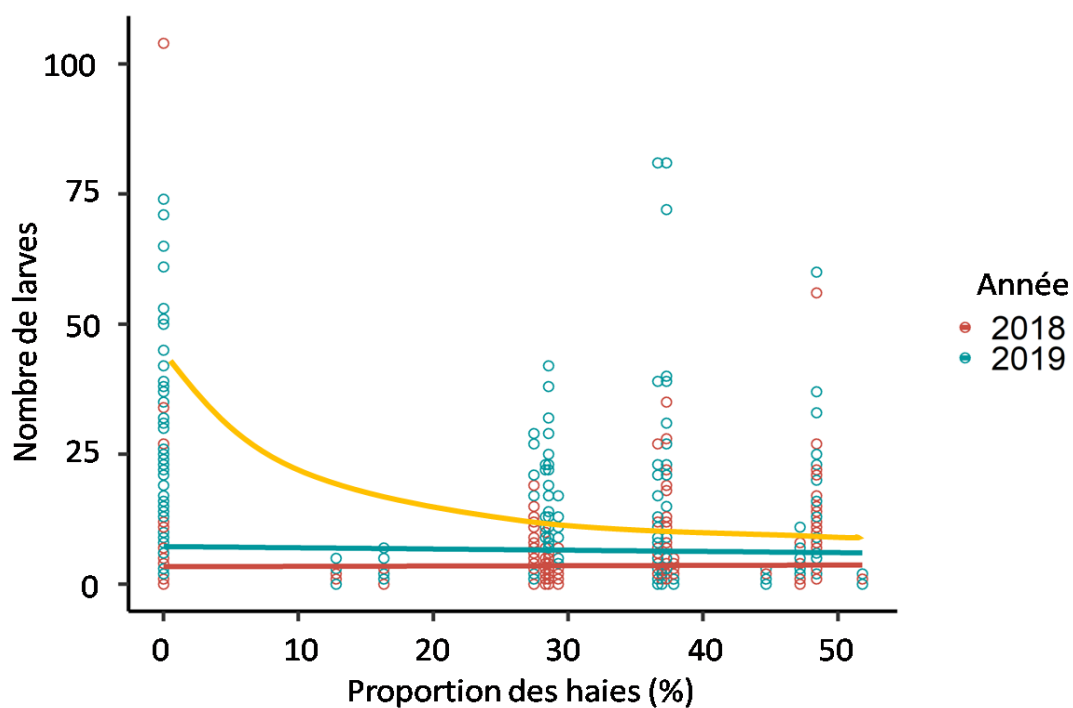


Figure 43. Effet de la proportion des haies sur le nombre des larves diapausantes, pour les deux années d'études (2018 et 2019) dans les vergers de pommiers.

4.2.2.2. Les vergers de poiriers

Les résultats de l'analyse statistique de la répartition spatiale intra verger de poiriers sont consignés dans le tableau 24. L'examen des résultats ainsi obtenus montrent que la localisation des bandes pièges (aux extrémités ou au centre des vergers) a un effet significatif sur le nombre de larves. A l'inverse des vergers de pommiers, pour le poirier le facteur année d'étude n'avait pas d'effet significatif sur le nombre de larves par arbre, par conséquent, exclue du modèle. En revanche, un effet significatif de l'emplacement des arbres dans le verger a été relevé ($z = 3,20$; $P = 0,001$), car le nombre moyen de larves par arbre était plus élevé dans les arbres au centre (110) qu'aux extrémités des vergers (74), pour les deux années d'études (Fig. 44, voir Tab 6, annexe 8).

Tableau 24. Effet de la localisation spatiale des bandes pièges (centre et extrémité) sur les effectifs de larves dipausantes dans les vergers de poiriers, pour les deux années d'études : 2018 et 2019.

Comparaison	z	P
Localisation	3.20	0.001 **

** $P < 0.01$.

Pour ce qui est de l'effet des haies sur les effectifs de larves, les résultats consignés dans le tableau 25 ci-dessous, montrent une différence significative entre les effectifs des larves et leur localisation (intra verger) par rapport aux haies, pour les deux années d'étude (2018 - 2019). La distance de la bande piège près d'une haie a eu un effet hautement significatif sur la dispersion des larves au sein du verger ($P < 2.2e-16$). Aussi, il y a eu un effet significatif de l'année ($P = 0,007$) et de la haie sur les effectifs des larves diapausantes au sein des vergers ($P < 2.2e-16$).

L'interaction des deux facteurs haie-année a eu également un effet significatif sur la localisation des larves ($P = 0,028$). Comme pour les vergers de pommiers, lorsque les bandes pièges sont plus proches des haies du verger, le nombre moyen de larves dans les arbres est plus faible (Fig. 45, voir Tab 7, annexe 8).

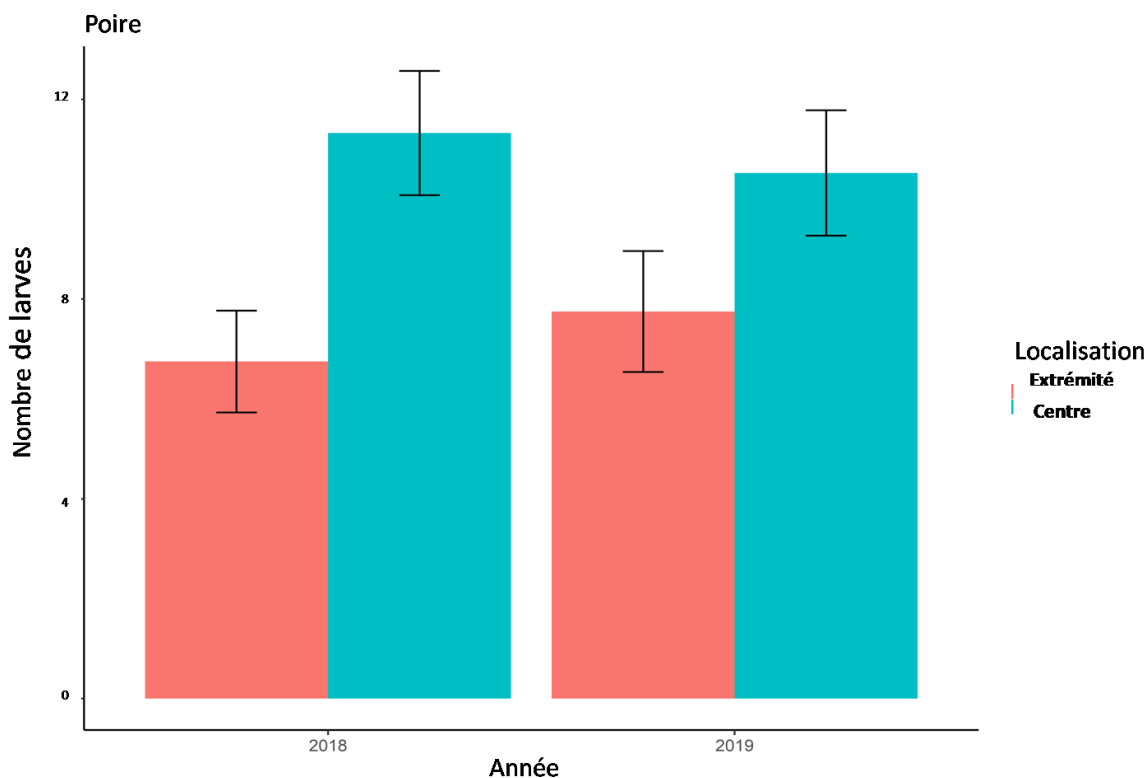


Figure 44. Localisation spatiale des effectifs des larves diapausantes dans les vergers de poiriers (nombre moyen de larves \pm SE), pour les deux années d'études (2018 et 2019).

Tableau 25. Effet de la haie et de l'année d'étude sur la localisation spatiale des effectifs de larves diapausantes dans les vergers de poiriers, pour les deux années d'études : 2018–2019.

Comparaison	Estimation	<i>z</i>	<i>P</i>
Haie	88.2182	1	< 2.2e-16 ***
Année	7.0728	12	0.007826 **
Haie - Année	4.7846	12	0.028716 *

*** $P < 0.001$, ** $P < 0.01$, * $P < 0.05$.

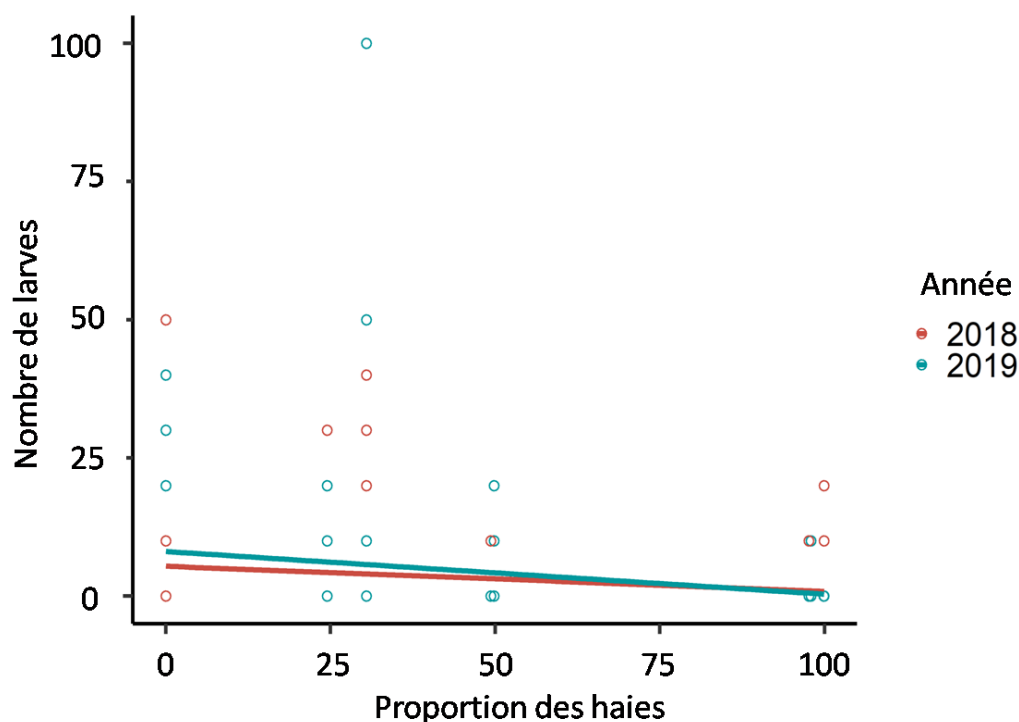


Figure 45. Effet de la proportion des haies sur le nombre des larves diapausantes, pour les deux années d'études (2018 et 2019), dans les vergers de poiriers.

4.2.3. Dégâts de *C. pomonella* sur les pommes et les poires

4.2.3.1. Taux d'infestation des pommes et des poires

Les observations des dégâts occasionnés par les larves de la première génération de *C. pomonella* sur les pommes et les poires ont été enregistrées à la fin de juin, à la fin du premier vol des adultes, au niveau des vergers d'étude. Les résultats obtenus montrent que les taux d'infestations varient significativement d'une année à l'autre, et entre les variétés (Tab. 26). Pour les deux années d'étude, les taux d'infestation étaient plus élevés pour les pommes (8,6 %) que pour les poires (2,4%). Ils étaient plus importants en 2019 et variés d'une variété de pomme à l'autre. D'une manière générale, les taux d'infestation les plus élevés s'observent, par ordre décroissant pour les variétés : Golden Delicious (18,45%), Golden Smoothie (13,05%), Gala Royal (11,7%), Early Red One (9,3 %), Golden Reinders (8,1 %), Granny Smith (7,9 %), Golden Suprême (6,75 %), Jérôme (5,85%), Gala Buckeye (4,6%), Fuji (4,5%) et Gala Galaxy (3,7%). Par contre, pour les poires Santa Maria, le taux d'infestation est similaire pour les deux années (5,1 %), mais plus élevé pour les trois autres variétés : Cascade (2,5%), Eliot (1,7 %) et Passe Crassane (0,25%) (Fig 46, voir Tab 1, annexe 9).

Tableau 26. Comparaison (test posthoc de Tukey) entre les taux d'infestation des pommes et des poires avec les variétés et les années d'étude (2018-2019).

Comparaison	Estimation	z	P
Variété	65.959	12	< 1.812e-09 ***
Année	68.699	1	< 2.2e-16 ***

*** $P < 0.001$.

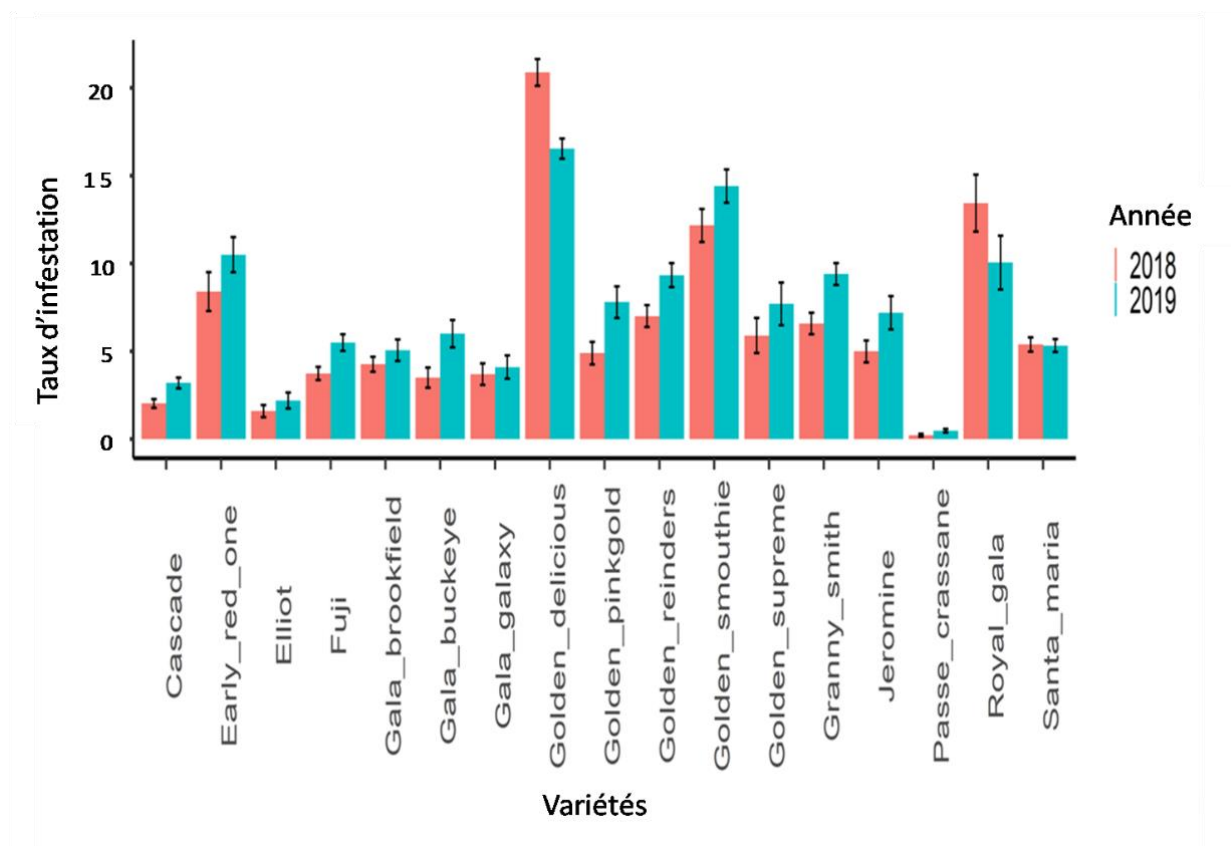


Figure 46. Taux d'infestation des différentes variétés de pommes et de poires (% moyen \pm SE), par année d'étude (2018 et 2019).

Les résultats des tests de comparaison multiple réalisés pour les variétés de pommes montrent des différences significatives pour les paires de variétés suivantes : Golden smoothie - Gala Galaxy, Golden smoothie- Golden Delicious, Golden smoothie - Gala Brookfield, Golden smoothie - Fuji, Granny Smith - Golden Delicious et Golden Reinders– Golden Delicious (Tab. 27) (Fig 47, voir Tab 2, annexe 9).

Tableau 27. Comparaisons multiples par paire (test posthoc de Turkey) des taux d'infestation entre les différentes variétés de pomme.

Comparaison	Estimation \pm SE	Z	P
Golden Smoothie - Fuji	1.14 \pm 0.28	3.98	0.00129 **
Golden Smoothie - Gala Brookfield	1.36 \pm 0.33	4.13	< 0.001 ***
Golden Smoothie - Gala Galaxy	1.18 \pm 0.32	3.60	0.00572 **
Golden Reinders - Golden Delicious	1.68 \pm 0.32	5.13	< 0.001 ***
Golden Smoothie - Golden Delicious	1.09 \pm 0.30	3.62	0.00525 **
Granny Smith - Golden Delicious	1.14 \pm 0.28	3.98	0.00129 **

*** $P < 0.001$, ** $P < 0.01$.

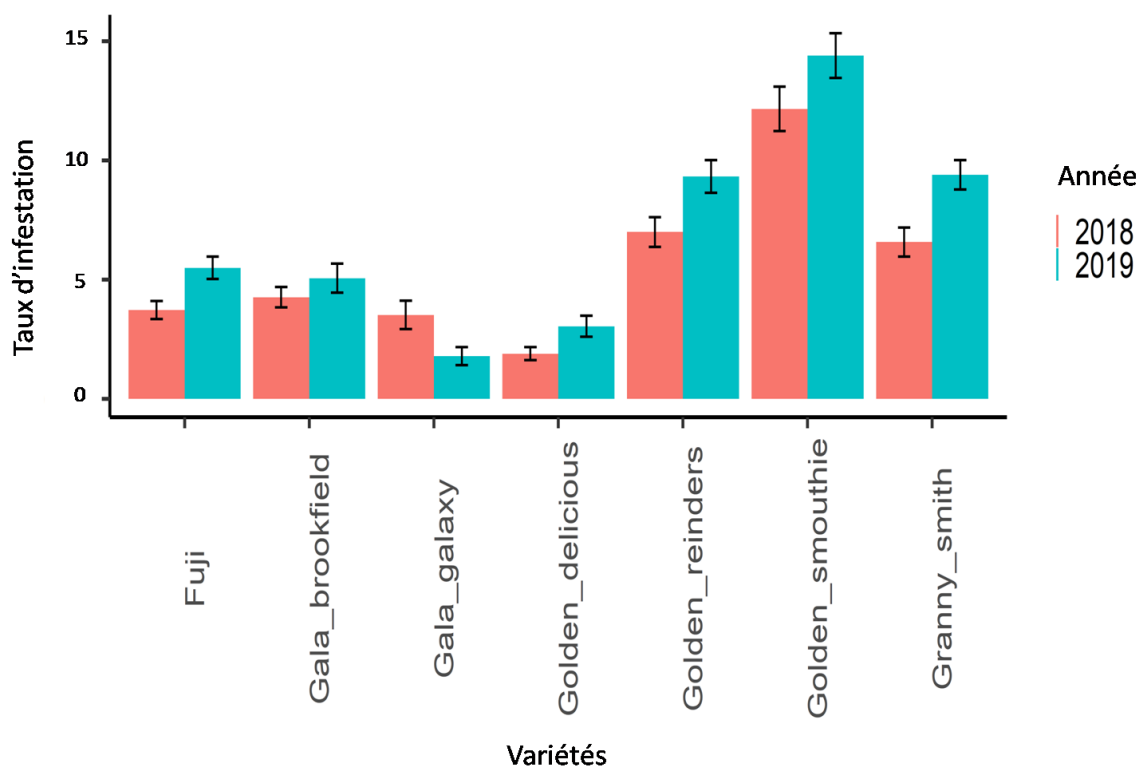


Figure 47. Taux d'infestation des principales variétés de pomme (% moyen \pm SE), par année d'étude (2018 et 2019).

4.2.3.2. Effet de l'orientation de l'arbre sur le taux d'infestation des pommes

L'analyse des taux d'infestation en fonction de l'orientation a porté uniquement sur les pommes des variétés suivantes : Golden Smoothie, Gala Brookfield et Granny Smith, car il s'agit de variétés qui ont fait l'objet d'un nombre suffisant de répétitions. L'examen des résultats obtenus révèle des taux d'infestation qui varient significativement fonction des aspects de la canopée des arbres ou orientation ($ddl = 4$, $LRT = 805,74$, $P = 0,001$, Fig. 48, voir Tab 3, annexe 9). En effet tous les tests de comparaison par paires des orientations sont significatifs ($P = 0,001$), sauf entre le centre et l'ouest ($P = 0,11$) (Tab. 28). L'effet de l'orientation ne diffère pas d'une année à l'autre (interaction entre les facteurs non significatifs : $ddl = 4$, $LRT = 0,63$, $P = 0,95$), mais il est affecté par la variété de pomme ($ddl = 8$, $LRT = 38,97$, $P = 0,001$).

Dans tous les cas, les taux d'infestation les plus élevés ont été enregistrés à l'est (18,8 %) et au sud (11 %), suivis du centre-ouest (5 %) et du nord (2,7 %). Cependant, l'ampleur des différences a changé entre les variétés. Les différences entre l'est et le sud sont plus élevées pour la variété Golden Smoothie (25 %) que pour la variété Granny Smith (14,2 %).

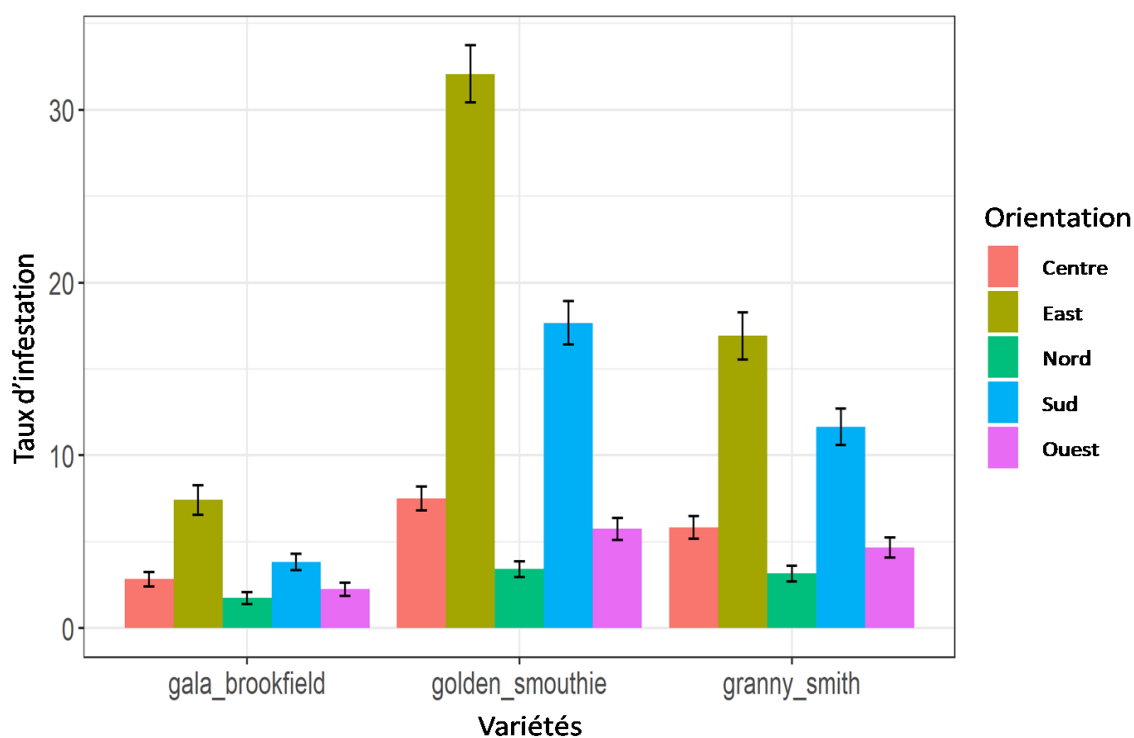


Figure 48. Taux d'infestation des pommes (% moyen \pm SE) par orientation de la canopée des arbres.

Tableau 28. Comparaisons multiples par paires (test posthoc de Tukey) des taux d'infestation entre les orientations de la canopée des arbres.

Comparaison	Estimation \pm SE	<i>z</i>	<i>P</i> *
Est-Centre	1.51 \pm 0.08	17.37	0.001
Nord-Centre	-0.71 \pm 0.12	-5.66	0.001
Sud-Centre	0.82 \pm 0.09	8.96	0.001
Ouest-Centre	-0.26 \pm 0.11	-2.38	0.11 ^{n.s}
Nord-Est	-2.22 \pm 0.11	-20.01	0.001
Sud-Est	-0.68 \pm 0.07	-9.68	0.001
Ouest-Est	-1.77 \pm 0.09	-18.75	0.001
Sud-Nord	1.53 \pm 0.11	13.37	0.001
Ouest-Nord	0.44 \pm 0.13	3.40	0.005
Ouest-Sud	-1.09 \pm 0.09	-10.98	0.001

*Les valeurs de probabilité sont statistiquement significatives à $P \leq 0.001$, **n.s** : $P > 0.05$.

4.2.3.3. Effet du système de conduite sur le taux d'infestation des pommes

Pour les besoins de fiabilité des analyses statistiques, l'étude de l'effet des systèmes de conduite des vergers (intensif irrigué, extensif irrigué, extensif pluvial) sur les taux d'infestation a porté uniquement sur les vergers de pommes de la variété Golden Delicious. En effet, ces derniers ont fait l'objet d'un nombre suffisant de répétitions. Nous avons enregistré d'importantes différences dans les taux d'infestation entre les années et les systèmes de conduite des vergers. Les taux d'infestation sont plus faibles dans les vergers intensifs, moyens pour les vergers extensifs irrigués et plus élevés dans les vergers extensifs non irrigués (pluviale) (Fig. 49, voir Tab 4, annexe 9).

Une interaction hautement significative a été trouvée entre l'année et le système de conduite, traduisant ainsi leur effet significatif sur les taux d'infestation des pommes (Tab. 29). Au cours de l'année 2018, les taux d'infestation dans les vergers extensifs non irrigués est particulièrement élevés par rapport à 2019.

Tableau 29. Comparaisons multiples par paire (test posthoc de Tukey) des taux d'infestation entre les années et le système de conduite des vergers de pommiers (2018-2019).

Comparaison	Estimation	z	P
Système de conduite	41.790	2	8.420e-10 ***
Année	50.864	1	9.900e-13 ***
Système de conduite -année	23.817	2	6.735e-06 ***

*** $P < 0.001$.

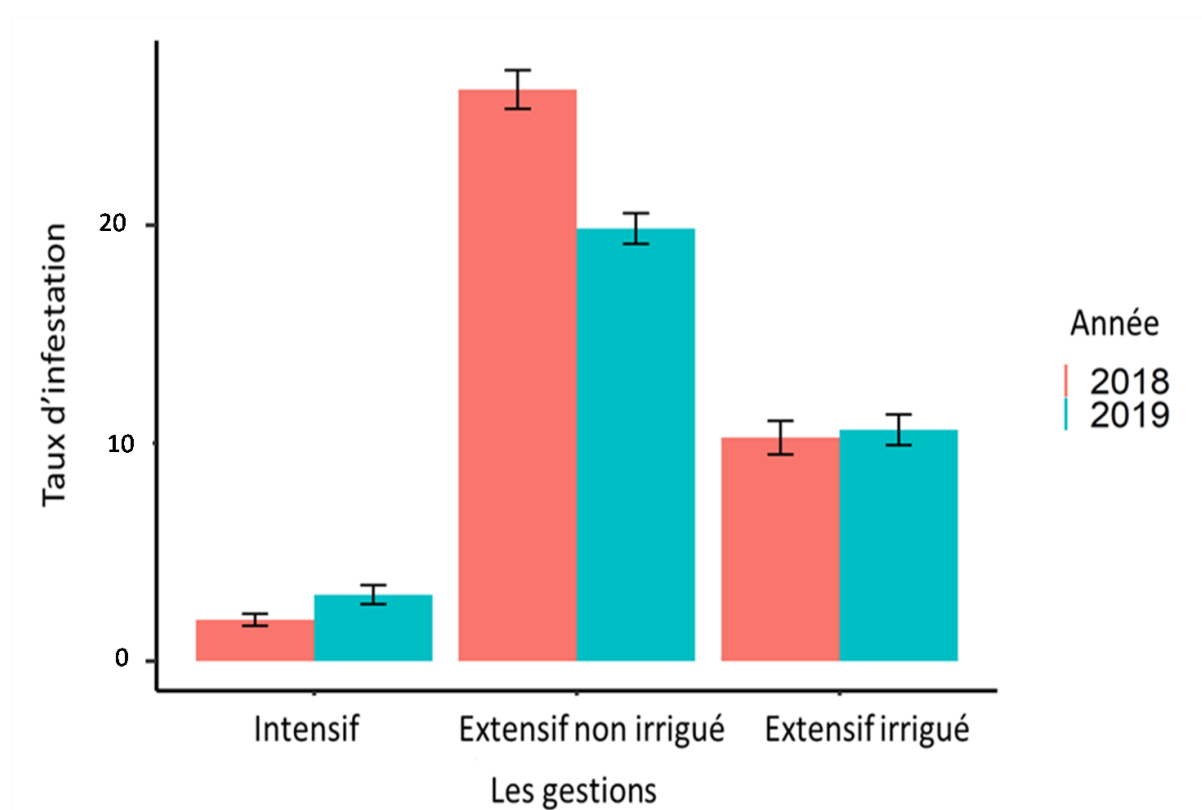


Figure 49. Taux d'infestation (% moyen \pm SE) des pommes Golden Delicious en fonction de différents systèmes de conduite des vergers, pour les deux années d'études (2018 et 2019).

4.2.3.4. Taux d'infestation des variétés de poires

D'après les résultats obtenus pour les variétés de poires sont illustrés par la figure 50 ci-dessous. Leur examen révèle une différence significative entre les variétés durant les deux années d'études (2018 - 2019) (voir Tab 4, annexe 9). Les taux d'infestation obtenus pour les différentes variétés étaient plus importants en 2019. La variété Santa Maria est la plus infestée, par les larves de *C. pomonella*, suivie par Cascade, Eliot et Passe crassane. Les comparaisons multiples par paire des taux d'infestation effectuées entre les variétés et les années d'étude (Tab. 30) et entre les variétés (Tab.31) étaient hautement significative (variété : $P < 2.2e-16$; année : $P = 0.0002$; paire de variété : $P < 0,001$).

Tableau 30. Comparaisons multiples par paire (test posthoc de Tukey) des taux d'infestation des poires entre les variétés et les années.

Comparaison	Estimation \pm SE	z	P
Variété	117.027 \pm 0,1713	3	$< 2.2e-16$ ***
Année	13.408 \pm 0, 2214	1	0.0002 ***

*** $P < 0.001$.

Tableau 31. Comparaisons multiple par paires (test posthoc de Tukey) des taux d'infestation entre les variétés de poire.

Comparaison	Estimation \pm SE	z	P
Passe Crassane - Cascade	-2.04227 \pm 0.21273	-9.600	< 0.001 ***
Passe Crassane - Eliot	-1.71563 \pm 0.27813	-6.168	< 0.001 ***
Santa Maria – Passe Crassane	2.08798 \pm 0.19703	10.597	< 0.001 ***

*** $P < 0.001$.

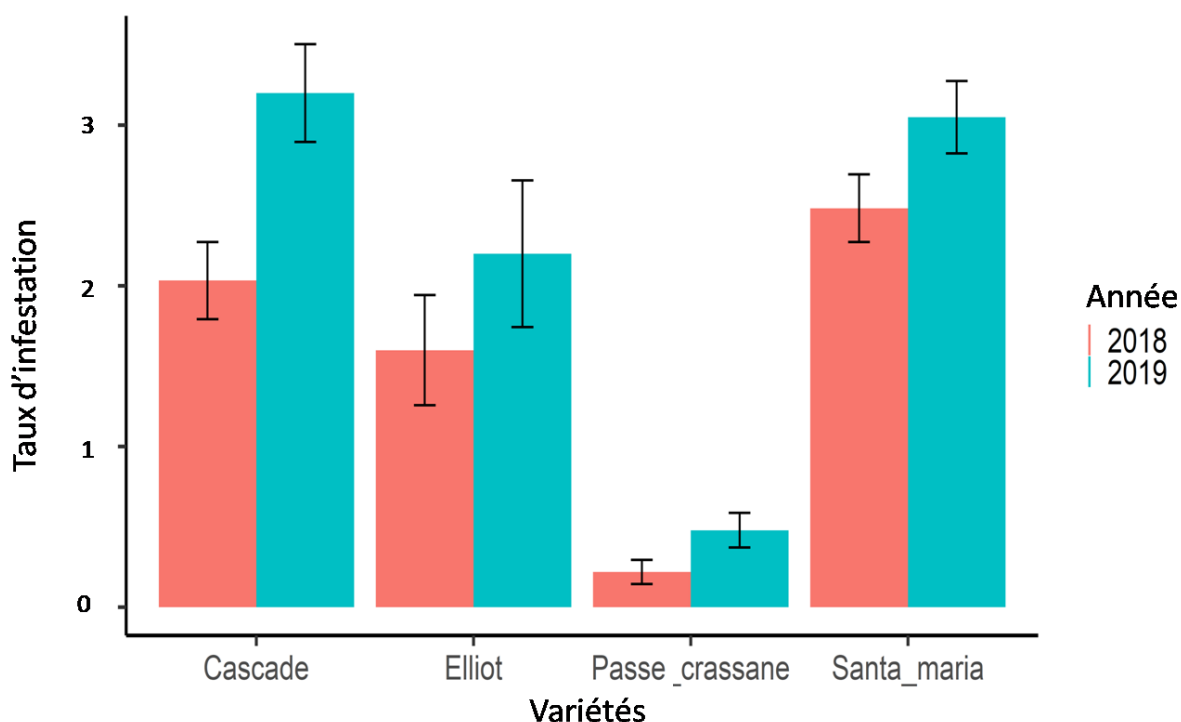


Figure 50. Taux d'infestation des différentes variétés de poires (% moyen \pm SE), par année d'étude (2018 et 2019).

4.2.3.5. Effet du système de conduite sur le taux d'infestation des poires

Pour les besoins de fiabilité des analyses statistiques, l'étude de la variabilité des taux d'infestation en fonction du système de conduite des vergers s'est faite uniquement pour les vergers de poiriers de la variété Santa Maria. En effet, ces derniers ont fait l'objet d'un nombre suffisant de répétitions et sont conduits par les différents systèmes sus indiqués pour le pommier (intensif irrigué, extensif irrigué et extensif pluviale).

Les résultats obtenus sont illustrés par la figure 51 ci-dessous. Ils révèlent des différences significatives dans les taux d'infestation, entre les années d'étude et les différents systèmes de conduite. Pour les systèmes de conduite, la même tendance obtenue pour le pommier est observée ici pour le poirier. En effet, les taux d'infestation sont plus faibles dans les vergers intensifs, moyens pour les vergers extensifs irrigués et plus élevés dans les vergers extensifs non irrigués (pluviale) (voir Tab 4, annexe 9).

En 2018, le taux d'infestation dans les vergers extensifs non irrigués était plus élevé que ceux obtenus pour les autres systèmes de conduite. La même tendance est observée pour l'année 2019.

La comparaison multiple effectuée entre les taux d'infestation avec les différents facteurs, pris séparément, révèlent un effet hautement significatif pour le système de conduite ($P < 0,001$) et non significatif (n.s) pour l'année d'étude ($P = 0,976$). Alors que leur interaction était significative ($P = 0,0003$), traduisant que le taux d'infestation des poires était dépendant du système de conduite et de l'année d'étude (Tab. 32).

Tableau 32. Comparaisons multiples (test de chi-deux) des taux d'infestation entre les années et le système de conduite des vergers de poiriers

Comparaison	χ^2	F	P
Système de conduite	24,5807	2	4,596e-06 ***
Année	0,0009	1	0,976 n.s
Système de conduite - année	15,9398	2	0,0003 ***

*** $P < 0,001$.

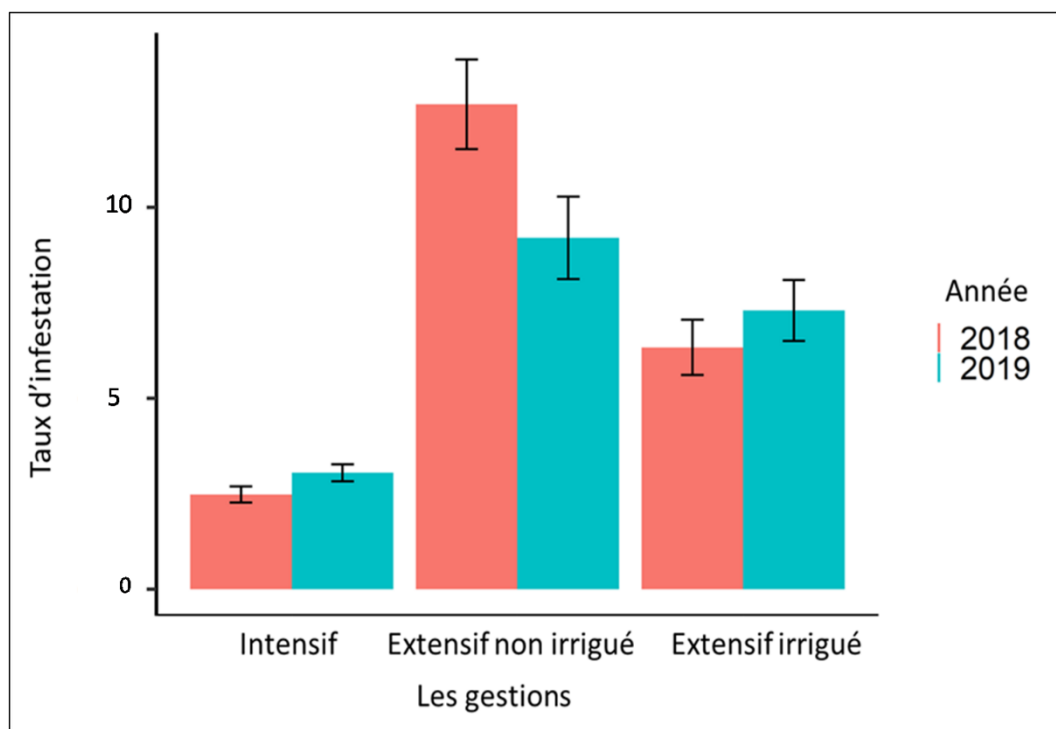


Figure 51. Taux d'infestation des poires en fonction de différents systèmes de conduite des vergers de poiriers (% moyen \pm SE), par année d'étude (2018 et 2019).

4.2.4. Effet insecticide de l'huile essentielle d'*A. herba alba* sur les L5 diapausantes

4.2.4.1. Composition chimique de l'huile essentielle (HE) d'*Artemisia herba alba*

Nous avons obtenu une huile de couleur jaune pâle ayant une odeur forte et un rendement en huile de 0,66%. L'huile essentielle obtenue par hydrodistillation de la partie aérienne a été analysée par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS). Les résultats obtenus indiquent 49 composants identifiés à partir du chromatogramme obtenu (Fig.52), cela constitue 96,73% des constituants totaux de l'huile essentielle d'*A. herba alba*. Les composants majeurs déterminés sont : dextro-camphre (30,60%), 2,6-diméthyl-1, 3,6-heptatriène (26,71%), safranal (7,05%), bornéol (3,94%) et eucalyptol (3,47%). L'HE est dominé par le groupe des monoterpènes oxygénés et par celui des monoterpènes hydrocarbures avec des taux respectifs de 56,41 et 32,26 % (Tab. 33).

Tableau 33. Composition chimique de l'huile essentielle d'*Artemisia herba alba*.

Composés	TR (min)*	%
3-carene	5.78	0.18
α . Thujene	5.97	0.05
α . Pinene	6.22	0.32
Camphene	6.77	2.37
β . Phellandrene	7.68	0.04
Laevo- β -pinene	7.79	0.06
1-octen-3-ol	8.05	0.10
β .Pinene	8.35	–
Mesitylene	8.41	1.21
α .Phellandrene	8.85	0.17
O-isopropenyltoluene	8.98	0.07
2-carene	9.25	0.15
Hemimellite	9.34	0.73
p-Cymene	9.53	0.70
Limonene + Eucalyptol	9.76	–
Eucalyptol	9.76	3.47

γ . Terpinene	10.73	0.12
Cis- β -Terpineol	11.13	0.17
Terpinolene	11.65	0.03
Eucarvone	11.65	0.45
p- α -Dimethylstyrene	11.8	0.07
Thujone	12.31	2.23
Linalool		–
Isothujone	12.77	1.80
Exo-fenchol	12.81	–
2.6-Dimethyl-1.3.6-Heptatriene	12.84	26.71
Dextro-Camphor	13.66	30.60
Pinocarvone	14.08	1.27
Isocyclocitral	14.23	0.73
Borneol	14.42	3.94
Terpinen-4-ol	14.69	0.78
Cherry-Propanol	14.92	0.45
α . Terpineol	15.16	–
Laevo-Verbenone	15.48	0.82
Piperitol	15.61	0.45
Cis-carveol	15.97	0.21
Laevo-Bornylacetate	18.56	0.58
Tymol	19.21	0.49
4-Isopropyl-m-cresol	19.63	0.46
Isoeugenol	22.59	0.51
Ylangene	23.61	–
Copaene	24	0.41
Safranal	26.12	7.04
Caryophyllene	27.13	0.14
α . Caryophyllene	29.06	0.04
Alloaromadendrene	29.26	0.16

γ . Muurolene	30.13	0.11
α . Curcumene	30.53	–
α . Amorphene	31.665	–
δ . Cadinene	31.94	0.24
α . Calacorene	32.64	0.09
Spathulenol	33.81	3.08
Caryophyllene oxide	33.89	–
γ . Selinene	34.35	–
γ . gurjunene	34.34	2.20
Viridiflorene	36.18	0.18
α . Bisabolol	37.06	0.45
Manool	44.96	0.10
Non identifiés	20.16	2.92
% d'identification		96.73
Groupe des composés		32.26
Hydrocarbures monoterpéniques		56.41
Monoterpenes oxygénés		03.57
Hydrocarbures sesquiterpéniques		03.08
Sesquiterpenesoxygénés		01.41
Autres		
Groupe de composés :		
<i>Monoterpènes hydrocarbures</i>		32.26
<i>Monoterpènes oxygénés</i>		56.41
<i>Sesquiterpènes hydrocarbures</i>		03.57
<i>Sesquiterpènes oxygénés</i>		03.08

TR : Temps de Rétention. Les composés dominants sont mis en gras.

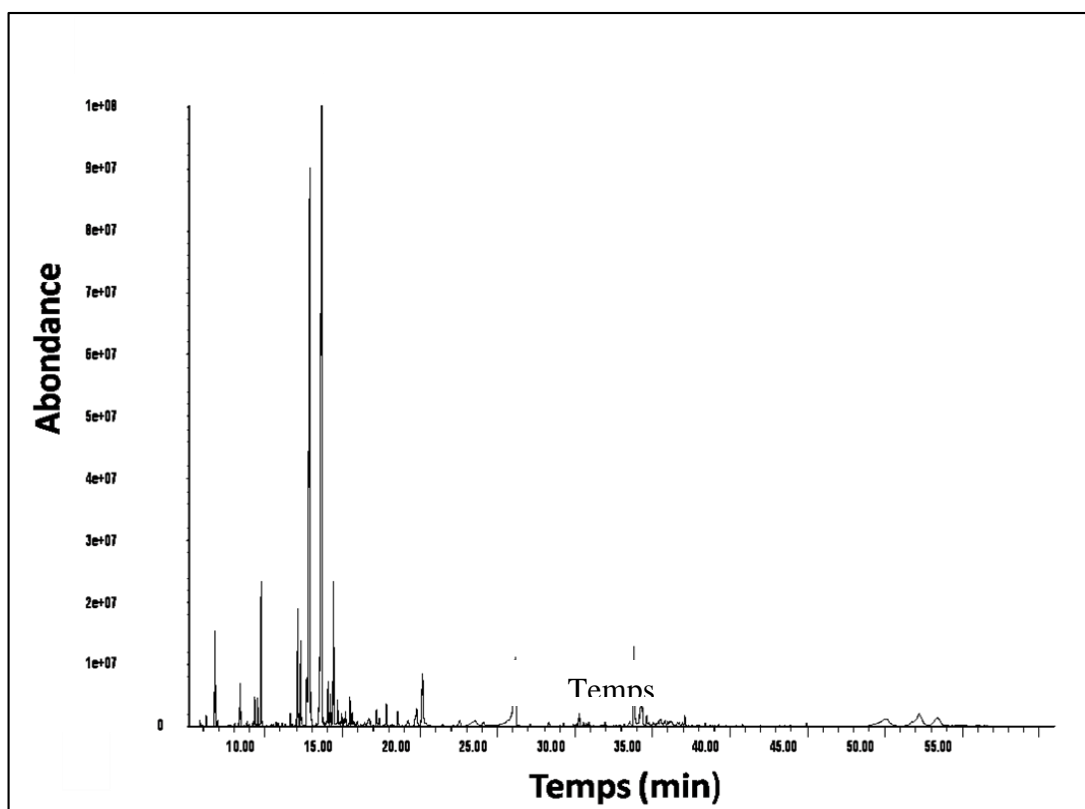


Figure 52. Chromatogramme de l'huile essentielle d'*Artemisia herba alba* analysé par GC-MS.

4.2.4.2. Efficacité insecticide par fumigation

La toxicité par fumigation de l'huile essentielle d'*A. herba-alba* contre les L5 de *C. pomonella* était d'autant plus élevée que la concentration d'huile essentielle était élevée ($F_{1,3} = 27,59$; $P < 0,001$). La mortalité a également augmenté avec le temps d'exposition ($F_{1,6} = 301,38$; $P < 0,001$). De plus, il y avait une interaction significative entre la concentration et le temps d'exposition ($F_{1,18} = 4,71$; $P < 0,001$). La mortalité larvaire augmentait au fur et à mesure que le nombre d'heures s'écoulait après l'exposition aux huiles essentielles, mais elle augmentait plus rapidement lorsque la concentration des huiles essentielles était plus élevée. Toutes les larves sont mortes à la concentration la plus élevée ($18,18 \mu\text{l L}^{-1}$ d'air) en 72 heures, alors qu'il a fallu plus du double de ce temps (168 heures) pour atteindre un taux de mortalité de 100 % à la concentration la plus faible ($1,81 \mu\text{l L}^{-1}$ d'air). Aucune concentration n'a été létale dans les six premières heures suivant le temps d'exposition et aucune mortalité n'a été observée chez les larves témoins au cours de l'expérience (Fig. 53).

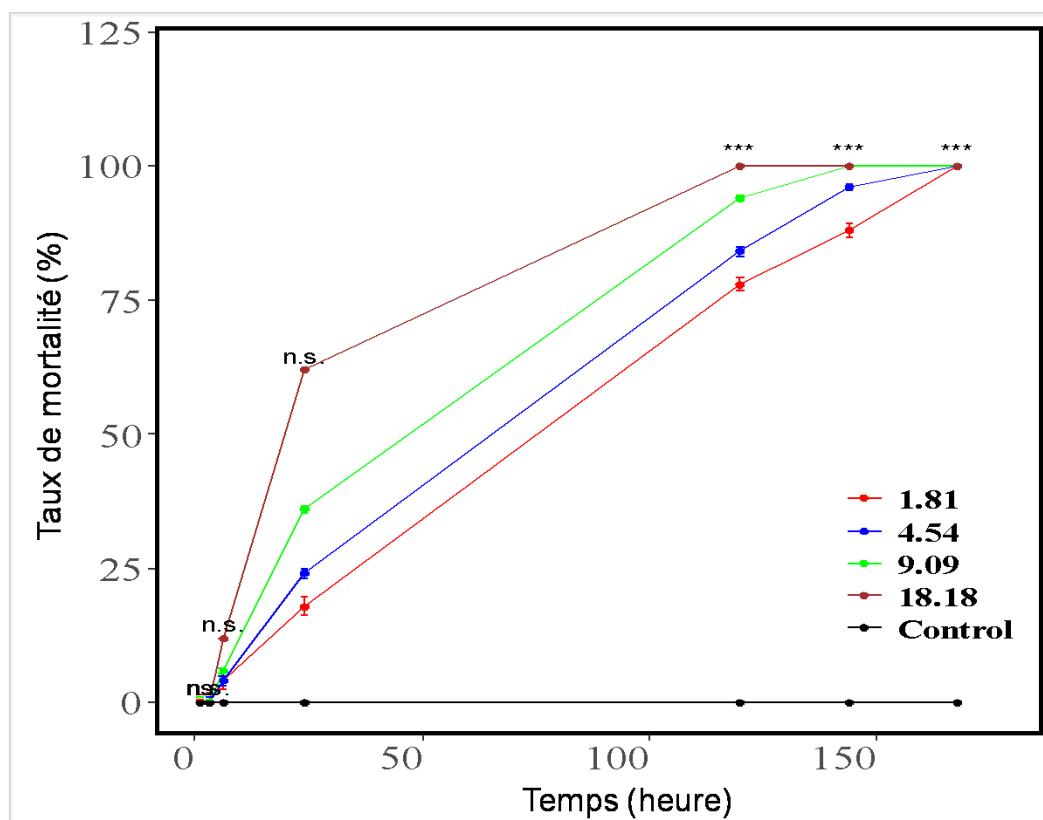


Figure 53. Effet des différentes concentrations de l'huile essentielle d'*Artemisia herba alba* sur la mortalité (% \pm SE) des larves du 5^{ème} stade de *C. pomonella*. Les astérisques, sur la courbe représente le F statistique des droites de régression avec **n.s.**, $P > 0.05$, ******* $P < 0.001$.

D'autre part, l'analyse de la dynamique de survie, réalisée par la méthode de Kaplan-Meier, a révélé une médiane de survie de larves traitées de $96 \pm 5,26$ heures avec des intervalles de confiance (IC 95 %) compris entre 85,69 et 106,30 et de plus de 168 heures pour les larves témoins. La médiane correspond, dans la courbe de survie, à la valeur à 0,5 sur l'axe des ordonnées, toutes concentrations confondues. Le Log-rank test effectué pour la courbe de survie s'est révélé significatif ($\chi^2 = 436,65$; $ddl = 4$, $P < 0.001$) (Fig. 54).

Pour ce qui est de la toxicité aiguë, l'analyse Probit a montré que les valeurs de la CL50 diminuent significativement avec l'augmentation du temps d'exposition (CL50 : $13,491-0,499 \mu\text{l L}^{-1}$ d'air) ($R^2 = 0,715$; $F = 10,05$; $ddl = 5$; $P = 0,03$). Les valeurs calculées de la CL50 étaient de 13,491 et $4,453 \mu\text{l L}^{-1}$ d'air, après 24 et 48 h d'exposition, respectivement (Tab. 34).

Quant aux temps létaux (LT50), ils diminuent d'une manière significative avec l'augmentation de la concentration ($R^2 = 0,970$; $F = 32,15$; $ddl = 3$; $P = 0,03$).

Les valeurs de LT50 calculées pour les différentes concentrations : 1,81 ; 4,54 ; 9,09 et 18,18 ($\mu\text{l L}^{-1}\text{air}$) étaient respectivement de : 59,35 ; 49,69 ; 32,52 et 19,52 heures (Tab.35).

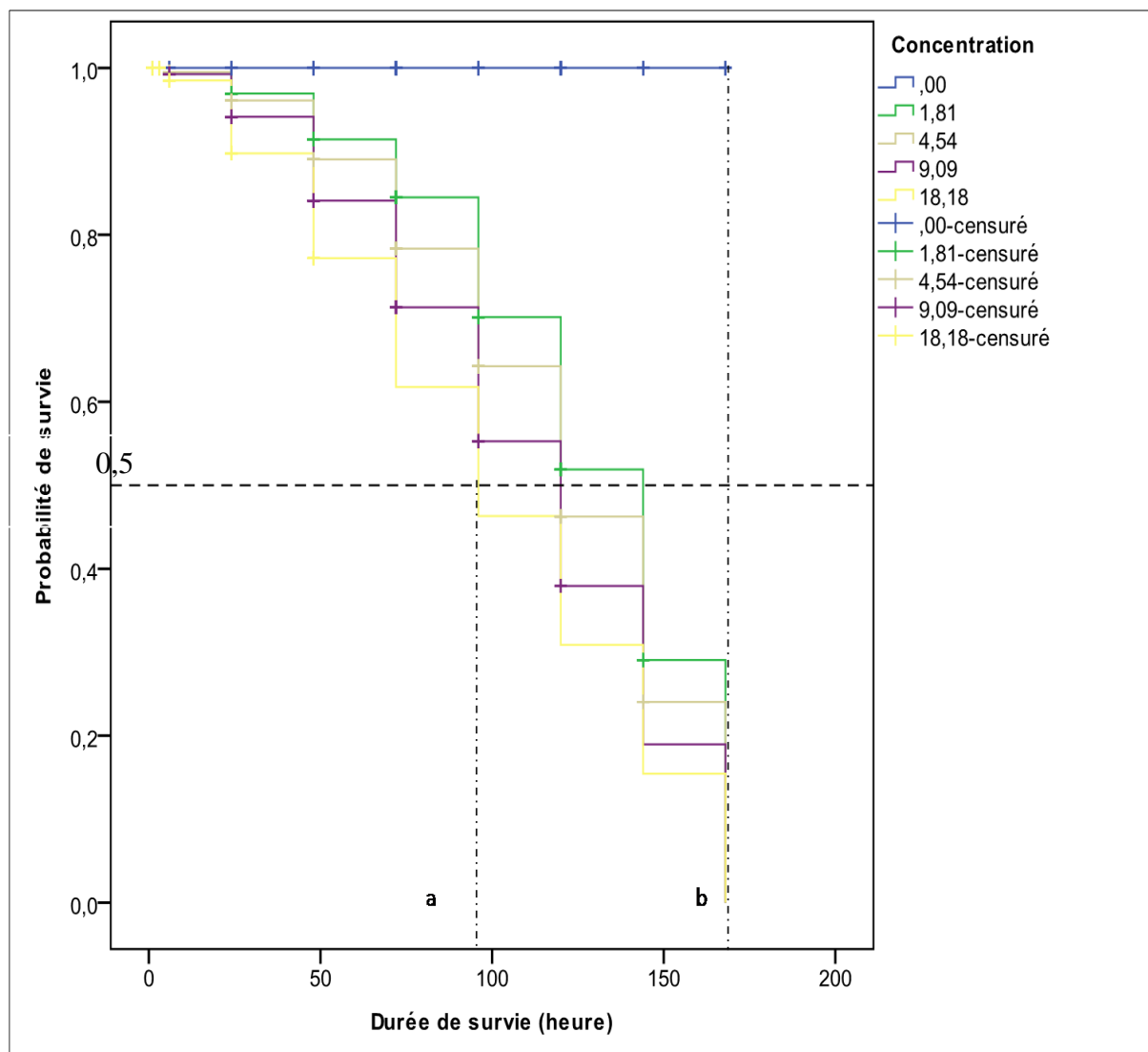


Figure 54. Courbes de la dynamique de survie de Kaplan-Meier des larves L5 de *Cydia pomonella* L. traitées par les différentes concentrations de l'huile essentielle d'*A. herba alba* (0 ; 1,81 ; 4,54 ; 9,09 et 18,18 $\mu\text{l L}^{-1}$ d'air) et des témoins. La médiane de survie des larves traitées (a) est de $96 \pm 5,26$ heures (IC 95 % : 85,69-106,30) et celle de témoins (b) est de 168 heures. Log-rank test : $\chi^2 = 436,65$; $ddl = 4$; $P < 0.001$.

Tableau 34. Toxicité (CL50) de l'huile essentielle d'*Artemisia herba alba* vis-à-vis des larves du 5^{ème} stade de *Cydia pomonella* L.

Temps (heure)	CL50 (95% I.C.) ^a ($\mu\text{l L}^{-1}$ air)	Slope \pm SE ^b	χ^2 ^c	P ^d
24	13.491(9.291-26.476)	1.196 \pm 0.276	0.315	0.049*
48	4.453(3.023-6.049)	1.399 \pm 0.249	0.375	0.030*
72	3.099(0.003-24.215)	2.192 \pm 0.781	0.011	0.068 ^{n.s}
96	1.163(0.398-1.884)	1.845 \pm 0.543	0.056	0.077 ^{n.s}
120	0.612(0.067-1.267)	1.550 \pm 0.345	0.277	0.046*
144	0.499(0.007-1.074)	1.232 \pm 0.262	0.695	0.042*

Tableau 35. Temps létal (LT50) de l'huile essentielle d'*Artemisia herba alba* pour les larves du 5^{ème} stade du *Cydia pomonella* L.

Concentration ($\mu\text{l L}^{-1}$ air)	TL50 (95% I.C) (heure) ^a	Slope \pm SE ^b	χ^2 ^c	P ^d
1.81	59,349(50,543-69,014)	2,558 \pm 0,553	0,055	< 0,01
4.54	49,694(41,935-57,976)	1,878 \pm 0,227	0,351	< 0,001
9.09	32,519(27,052-38,205)	2,081 \pm 0,167	0,818	< 0,001
18.18	19,524(14,527-20,984)	2,443 \pm 0,207	0,427	< 0,001

a : Intervalle de confiance de 95% entre parenthèses, **b** : pente de la ligne de régression SE (erreur type); **c** : test duKhi-2 pour la qualité d'ajustement du modèle probit ;**d** :différence significative avec, n.s : $P > 0.05$ et * $P < 0,05$.

CHAPITRE V.

Discussion

CHAPITRE V. Discussion

*La discussion des différents résultats obtenus par la présente étude y sont exposés. D'abord il est question de l'identification moléculaire et du séquençage des codes-barres ADN des populations larvaires de *C. pomonella* issue de la zone d'étude. Elle sera suivie par une discussion approfondie de la dynamique des populations du carpocapse en abordons la dynamique spatio-temporelle des adultes et la dispersion spatiale intra verger des effectifs des larves diapausantes, en insistons sur l'effet du paysage environnant. Ensuite il est question des dégâts engendrés par les larves de la première génération sur les pommes et poires. Enfin il est discuté l'effet insecticide de l'huile essentielle d'*A. herba alba* sur les larves diapausantes, ou il sera présenté la composition chimique et l'efficacité insecticide de l'huile essentielle.*

5.1. Identification moléculaire de *C. pomonella*

Les résultats de la présente étude fournissent, pour la première fois, des codes-barres d'ADN pour les individus de *C. pomonella* recueillis en Algérie, ce qui permet d'estimer l'historique de la colonisation des vergers Algériens par ce ravageur étranger. Des études antérieures sur des vergers fruitiers en Afrique du Sud avaient séquencé d'autres espèces de papillons nocturnes, mais pas de *C. pomonella*, dont le diagnostic des stades larvaires était fondé exclusivement sur des caractères morphologiques (Timm et al., 2008). A partir de sept haplotypes retrouvés en Algérie, tous (à l'exception de deux haplotypes individuels) se retrouvent sur des continents différents ; dans tous les cas, à l'exception de l'Europe (y compris les deux plus répandues : H10 et H20). La proximité de la côte méditerranéenne européenne et une longue histoire d'échanges de produits agricoles, en particulier entre l'Algérie et la France, explique probablement l'origine de ce haplotype principale (Sessions, 2011). A titre d'exemple de la propagation de ravageurs agricoles de la France à l'Algérie, Ryan et al. (2019) ont indiqué que le papillon blanc du chou, *Pieris rapae* (*Lepidoptera* : *Pieridae*) a été introduit en Algérie pendant la période coloniale française.

Le codage à barres de l'ADN permet ainsi non seulement un diagnostic rapide et fiable des ravageurs introduits, mais aussi parfois la détection de leur origine, ce qui est très important dans les contrôles aux frontières. Pour ce faire, le diagnostic moléculaire doit aller au-delà de la simple identification des espèces (Amano et Higo, 2015) et comparer les séquences avec tous les codes à barres disponibles (Bonal et al., 2018).

Dans le cas de *C. pomonella*, nous avons tenté d'identifier l'origine d'un bon nombre d'insectes interceptés aux frontières américaines et disponibles au Barcoding of Life Data stems (Ratnasingham et Hebert 2007 ; haplotypes de couleur rose dans la Fig. 22). Cependant, en raison de la distribution cosmopolite de ce ravageur, nous n'avons pas pu identifier avec exactitude l'origine (sans doute). Deux haplotypes séquencés dans les frontières américaines (H10 et H20) ont été trouvés en Afrique, mais aussi dans d'autres continents. Aussi, il y a quelques haplotypes simples (e. g. H3, H32, voir Fig. 22) dans lesquels aucun lien géographique n'a pu être établi.

Des études phylogéographiques antérieures sur des populations européennes basées sur l'ADN mitochondrial ont révélé l'existence de deux clades (Meraner et al., 2008). Notre étude, qui inclue des séquences de partout dans le monde, a récupéré ces deux grands groupes à la fois dans le réseau phylogénétique et l'arbre bayésien (voir Fig.22 et Fig. 23) ; haplotype 22 à la base de la division. En Europe, les causes de la scission pourraient être climatiques et pourraient avoir provoqué la division temporelle de l'aire de répartition des espèces entre le Pléistocène inférieur et le Pléistocène moyen, il y a environ 1,29 à 0,20 million d'années (Meraner et al., 2008). Ces deux clades principaux ce sont de nouveau mélangés après l'expansion de la population en Eurasie, et nos résultats montrent qu'aujourd'hui les deux se produisent dans tous les continents où le ravageur est présent. Les deux principaux haplotypes des deux groupes (H10 et H20, voir Fig. 22) sont présents en Afrique, en Europe et en Amérique, par exemple. Les exportations continues de pommes et de plants de pommiers d'Europe (région indigène nuisible) vers le reste du monde ont probablement favorisé cette distribution répandue d'haplotypes de différents clades, qui ont même atteint des pays d'extrême orient comme la Chine (Li et al., 2015).

Bien que l'origine exacte du *C. pomonella* reste contestée entre l'Europe du Sud-Est et l'Asie Mineure (Wanet al., 2019), l'Europe était le centre à partir duquel le ravageur s'est répandu dans le monde entier. Sur le plan de l'évolution, il est encore trop tôt pour que les nouvelles populations envahissantes évoluent de manière indépendante dans une large mesure, en particulier dans le cas des variantes d'ADN mitochondrial. Cependant, dans certains cas, on ne trouve des haplotypes que dans les zones envahies qui pourraient avoir leur origine locale. Le réseau montre qu'ils sont le plus étroitement liés aux principaux haplotypes présents dans la région, ce qui est typique de l'expansion des populations (Milá et al., 2000 ; Teixeira et al., 2011).

Un exemple est l'Afrique, avec deux haplotypes uniques (18 et 19) provenant de l'haplotype 10, le plus commun dans les populations algériennes. La même chose se produit avec les haplotypes 9 et 24 dans le cas de l'Amérique (voir Fig. 22).

L'apparition de nouveaux haplotypes prend du temps, car elle dépend du taux de mutation, mais elle peut s'accélérer lorsque les taux de reproduction sont élevés. C'est le cas des insectes, comme *C. pomonella*, qui en Afrique du Nord peut avoir jusqu'à 4 générations chaque année (Codoron et al., 2019). Des taux relativement élevés d'apparition de nouveaux haplotypes (échelle de temps de quelques années) ont déjà été enregistrés chez des organismes soumis à une croissance rapide de la population (Teixeira et al., 2011).

Suite à cet argument, de nouveaux haplotypes dans les zones nouvellement envahies auraient dû apparaître plus tard que ceux originaires de l'aire de répartition indigène des insectes. Par conséquent, et bien que nous devions être prudents avec les données existantes, nos résultats montrent que la position basale de l'arbre phylogénétique (la plus proche du sous-groupe) est occupée dans tous les cas par des haplotypes recueillis au moins une fois en Europe (voir Fig. 23).

L'analyse de la génétique des populations effectuée sur le cytochrome oxydase I (gène complet) a généralement obtenu des valeurs plus élevées que dans d'autres régions du monde où l'espèce a été introduite, par exemple en Asie (Li et al., 2015). Les introductions répétées de la côte méditerranéenne européenne ont peut-être favorisé la plus grande diversité génétique en Algérie par rapport à la Chine (Dlugosch et Parker, 2008).

Les populations d'espèces exotiques présentent habituellement une faible diversité génétique dans les zones envahies en raison des effets fondateurs (Dlugosch et Parker, 2008, Bonal et al., 2018). L'expansion rapide de la population à partir d'un faible nombre initial d'individus fondateurs est également typique dans les invasions et laisse habituellement une signature génétique en termes de Tajima s_D et/ou Fu s_F significatifs et négatifs (Ferrando et al., 2015). Dans notre étude, nous n'avons pas trouvé de valeur significative de ces deux paramètres, qui soutient l'idée d'introduction récurrente en provenance d'Europe. Contrairement à d'autres études menées dans des zones envahies (Li et al., 2015, Cichón et al., 2021), nous n'avons trouvé aucune différenciation génétique entre les trois localités d'échantillonnage en Algérie.

Cela n'est pas surprenant puisque, comparativement à ces études, la distance entre les populations n'était pas aussi grande (50 km au maximum) et les marqueurs utilisés (ADN mitochondrial) ont une résolution plus faible pour détecter les différences par rapport aux microsatellites d'ADN (Cichón et al., 2021). De plus, même s'il y avait une dérive génétique naissante et une différenciation entre les localités, la réintroduction de ravageurs ou les déplacements d'insectes aidés par les humains pourraient l'éliminer rapidement.

En conclusion, la présente étude fournit, pour la première fois, des séquences de codes-barres ADN pour *C. pomonella* africain (Algérie), et montre que l'origine des populations envahissantes peut être l'Europe. La plupart des haplotypes mitochondriaux de COI ont été partagés avec ce continent, mais la présence en Algérie de deux haplotypes exclusifs (singletons) étroitement liés à la majorité d'entre eux suggèrent que ceux-ci pourraient provenir localement (probablement favorisés par des taux de mutation élevés du ravageur). D'autres études devraient accroître la couverture géographique du codage à barres d'ADN vers d'autres pays d'Afrique du Nord où l'espèce est présente. De plus, il pourrait être intéressant d'étendre le travail de laboratoire aux gènes nucléaires fonctionnels impliqués dans les réponses adaptatives aux conditions changeantes de l'environnement (Wan et al., 2019). Le temps écoulé depuis l'introduction, et notre découverte de mutants mitochondriaux locaux potentiels, augmentent les chances de trouver des variantes de gènes nucléaires qui pourraient favoriser l'adaptation aux conditions locales de l'Afrique du Nord.

5.2. Dynamique des populations de *C. pomonella* au niveau de la zone d'étude

5.2.1. Dynamique spatio-temporelle des adultes

Le suivi de la dynamique des populations du carpocapse a été effectué dans de la région de Sidi Bel Abbès, durant la période 2018 - 2019, en utilisant des pièges attractifs mixtes composés de phéromones et de kairomones. Notre étude révèle l'existence de trois générations complètes et d'une quatrième partielle (incomplète) par an, s'étalant d'avril à octobre (sept mois). Malgré les traitements phytosanitaires effectués, nous avons enregistré de forts effectifs de capture du carpocapse, pour les deux années d'études. Cependant les captures étaient beaucoup plus importantes en 2018 qu'en 2019.

Pour le pommier comme pour le poirier et indépendamment de la variété et du système de conduite des vergers, les effectifs d'adultes capturés étaient plus importants lors de la première moitié de la saison (vols 1 et 2 : début avril à fin juillet) qu'au cours de la deuxième moitié (vols 3 et vol 4 partiel : début août-mi-octobre). Toutefois nous avons observé une interaction significative entre la structure du vol (adultes capturés) et les variétés. En effet, les captures les plus importantes ont été enregistrées dans les vergers de pommiers intensifs de la variété Golden Reinders, probablement à cause des substances volatiles que présentes chaque variété étudiée.

Au niveau des vergers de pommiers et de poiriers intensifs (variétés Golden Reinders et Gala Galaxy, Santa Maria) dans les régions de Sidi Lahcen, Tabia et Tenira, le premier vol des adultes issus des larves hivernantes s'étend du début avril à la fin juin. Le deuxième vol débute de la fin juin et se termine vers la fin de juillet. Quant au troisième vol court, il s'étale du début août et se termine vers la fin du mois, alors que la moitié du quatrième vol se produit du début septembre à la mi-octobre, pour les deux années d'études. La même tendance chronologique s'observe pour les vergers de pommiers en extensifs (variétés Golden Delicious et Gala Royal) de la région de Sehala Thaoura.

Quel que soit la variété, l'espèce et le site d'étude, la même phénologie du vol du *C. pomonella* est observée. L'existence d'un quatrième vol partiel s'explique par la présence des variétés tardives dans la zone d'étude, telles que Fuji et la Granny Smith dont la récolte s'effectue à partir du mois d'octobre. En effet, selon Aubert et al., (2005), la plantation des variétés de pommes tardives comme la Granny Smith et la Pink Lady, prolonge tardivement le vol du carpocapse.

Les conditions climatiques peuvent également influencer le nombre de génération du carpocapse dans la région d'étude. D'autant plus qu'il s'est produit, dans la région, un changement de l'étage bioclimatique, passant du semi-aride à l'aride (Yahiaoui, 2014). En effet plusieurs auteurs confirment que les conditions environnementales (la durée de saison) et la disposition alimentaire peuvent avoir un impact direct sur la reproduction de ce ravageur (Charmillot, 1980 ; Stoeckli et al., 2012 ; El Iraqui et Hmimna, 2016). Juszczak et al. (2013) ont montré que le changement climatique (la durée des phases entre les seuils de degrés-jour) peut conduire à une troisième génération du carpocapse dans le centre de la Pologne.

En outre, la température est un facteur déterminant pour le nombre de génération de *C. pomonella* (Hmimina et El Iraqui., 2014). Balachowsky (1966) et Hmimina (2007) ont noté que le nombre de générations change en fonction de l'altitude, dont il diminue quand celle-ci augmente, car les températures minimales et maximales diminuent respectivement de 0,4°C et 0,7°C chaque 100 mètres d'altitude (Seltzer, 1946). Par ailleurs, le réchauffement climatique allonge la durée d'émergence des adultes (Aubert et al., 2005). Dans notre zone d'étude, l'altitude au niveau des quatre sites varie de 504 m (Sehala Thaoura) à 610 m (Tenira) et 616 m (Tabia) soit un écart respectif de 106 m et 112 m entre les différents sites, mais ceci n'a pas influencé le nombre de générations par site. Nous pouvons en déduire que le nombre de générations par saison dans une zone donnée reste sous l'influence de l'interaction de plusieurs facteurs notamment agro écologiques et biologiques.

Nos résultats sur le nombre de génération développé par *C. pomonella*, corroborent ceux de certains travaux effectués par Soltani et al. (1986), El Idrissi (1980) et Gabtini (1995). Ces auteurs ont révélé l'existence de 3 à 4 générations par an, avec une activité de vol qui s'étale entre le début avril et la fin du mois de septembre voire le début d'octobre. Des études réalisées dans des régions du Nord-Est algérien par Guermah (2019), Chafaa (2008), Belkadi (1998) et Ben Cheikh (1992), ont révélé quant à eux l'existence de trois générations par an, avec une activité de vol s'étalant du début avril jusqu'à la fin du mois de septembre. La même tendance a été reportée au Maroc par El Iraqui et Hmimina (2016). Tandis que dans le sud de la France, deux à trois générations ont été reproduites (Ricci, 2009). En revanche, deux générations seulement ont été enregistrées à Inoughissen (Batna) en 1997 et en Slovénie en 2014 (Messaoudi, 1997 ; Dariž et al., 2017).

L'exploitation de la méthode des degrés-jours, a confirmé la phénologie du carpocapse dans la région de Sidi Bel Abbès. La quatrième génération est partielle à cause de l'entrée en diapause des larves du dernier stade. En effet, l'inaccomplissement de la dernière génération (quatrième dans notre cas) résulte d'une équation spatio-temporelle dont les termes sont fixés par la trilogie photopériode-température-alimentation, facteurs importants dans l'affirmation du carpocapse (Riedl et Croft, 1978 ; Brown et al., 1978). Boivin et Sauphanor (2007) précisent à ce propos qu'une photopériode courte est inductrice de la diapause chez le carpocapse. La valeur des degrés-jours s'apparente à un simple expédient nécessitant un seuil thermique, une quantité d'énergie préconçue, une date de la reprise d'activité de l'insecte et des relevés thermiques fiables et réguliers (Hmimina, 1986).

Dans la présente étude, les températures élevées en saison et la présence des variétés tardives de pommiers (Fuji, Granny Smith) et de poiriers (Passe crassane) peuvent expliquer la phénologie du carpocapse dans la région de Sidi Bel Abbès.

Il est presque impossible de déterminer par l'utilisation unique du piégeage attractif la taille réelle de la population des adultes de carpocapse au sein d'un même verger, étant donnée la dispersion et la migration entre les vergers à l'échelle locale comme régional (Ricci, 2009). En effet, les adultes, notamment les mâles ont la capacité de se disperser sur de courtes (entre 400 et 800 m) et de longue distance pouvant atteindre des fois 11 km (Mani et Wildbolz, 1977 ; Franck et al., 2007). C'est le cas dans notre zone d'étude, où la plus faible distance séparant deux sites ne dépasse pas 15 km, comme c'est le cas entre le site de Sehala Thaoura et Sidi Lahcen (voir tab.14 chapitre III), et la plus courte distance séparant deux vergers avoisine une moyenne de 300 m (voir les figures 14 A et B).

C'est pourquoi l'utilisation de techniques modernes est plus que nécessaire, si on veut garantir que les adultes proviennent bien du même verger et par conséquent réaliser des études de dynamique spatiale des adultes en tenant compte du paysage. Pour ce faire, plusieurs techniques ont été développées dont celle du marquage-recapture qui a largement été utilisée pour évaluer la dispersion du carpocapse à l'échelle du paysage (Mani et Wildbolz, 1977 ; Bloem et al., 1998 ; Keil et al., 2001 ; Jones et al., 2006). Toujours est-il, les vergers protégés par des haies en bordure sont beaucoup moins attirant pour les adultes comparés aux vergers n'ayant aucune bordure.

Dans notre région d'étude, les effectifs d'adultes étaient plus élevés dans les vergers extensifs n'ayant pas de haies en bordure (site de Sehala Thaoura) que ceux dans les vergers intensifs entourés par des haies (casuarina notamment) (sites de Tenira, Tabia et Sidi Lahcen). En effet, Tyson et al. (2007) précisent que les haies et les brises vent séparant les vergers, constituent une barrière à la dispersion des adultes de *C. pomonella* entre les vergers.

En plus, au sein du verger les effets de l'environnement proche, tel que la présence de haies en bordure du verger, sur les effectifs du carpocapse peuvent être variables selon les années, mais demeurent conditionnés, entre autres, par la variabilité des conditions climatiques (Ricci, 2009). D'autres facteurs peuvent également influencer les effectifs d'adultes au sein du verger notamment les accidents climatiques et les méthodes de protection.

En effet dans leur étude relative à la dispersion de *C. pomonella* dans un verger de pommier, Labanowski et al. (1981) ont émis l'hypothèse que le faible nombre d'adultes capturés était associé avec une nouaison plus faible en raison des dommages causés par le gel au moment de la floraison. Ceci n'a pas été le cas pour notre zone, où nous n'avons enregistré aucun accident climatique ayant conduit à la chute des fleurs, durant les deux années d'étude.

Les effectifs d'adultes au sein d'un verger peuvent également être affectés par les différentes méthodes de protection, appliquée au sein du verger (Judd et al., 2004), entre autres, les applications chimiques. En effet, nos résultats ont montré que les effectifs d'adultes étaient plus importants au sein des vergers de pommiers extensifs (irrigués et pluviales), dont la pression insecticide était faible et peu efficace (cas du site de Sehala Thaoura) qu'au sein de ceux conduits en intensifs (sites de Tenira, Sidi Lahcen et Tabia). Au sein de ces derniers, l'utilisation annuelle des insecticides contre la carpocapse est plus importante, bien que cela n'ait pas beaucoup affecté notre travail.

5.2.2. Dispersion spatiale intra verger des larves diapausantes et effet du paysage

Les résultats de l'étude du paysage en bordure des vergers de pommiers et de poiriers de la zone d'étude, ont mis en évidence la dominance de la haie brise-vent représentée par le casuarina et l'olivier avec des abondances relatives respectives de 62 % et 23%. Le casuarina, étant plus haut que l'olivier, constitue une meilleure barrière à la dispersion des populations de *C. dispersion*. Ce paysage est caractéristique des vergers conduits en intensif, alors que le paysage environnant les vergers extensifs n'est constitué que par des haies d'olivier cultivée, de vignobles, de céréales et de terrains non cultivés. Cette structure du paysage a eu un effet remarquable sur les effectifs de larves diapausantes de *C. pomonella*.

Nos résultats, ont mis en évidence que la localisation des bandes pièges au sein des vergers, de pommiers comme de poiriers, a eu un effet sur les effectifs de larves diapausantes. En effet, l'effectif de larves était plus élevé dans les bandes pièges situées au centre que celles situées aux extrémités des vergers, cette tendance est identique pour l'ensemble des systèmes de conduite. Toutefois, le nombre de larves diapausantes était plus important au sein des vergers extensifs qu'intensif, ces derniers sont soumis chaque année à une protection phytosanitaire assez intense visant les populations du carpocapse (adulte, œuf et larve néonate), notamment dans les vergers de pommiers.

Pour le pommier, nous avons eu en 2019 un effectif plus élevé de larves par rapport à 2018, alors qu'il était assez similaire dans les vergers de poiriers, quelle que soit la localisation des bandes pièges.

Pour ce qui de l'effet des haies en bordure des vergers, nos résultats ont montré que la proportion des haies a eu un effet sur les effectifs de larves. En effet, le nombre de larves diapausantes est plus faible dans les vergers ayant une grande proportion de haies. Par contre, les vergers sans haie renferment les effectifs les plus élevés, les larves étaient concentrées en bordure sur les premières rangées de pommiers (0 à 20 m). Nous pouvons en déduire que le système de conduite des vergers et la présence ou l'absence de haies en bordure, influencent non seulement les effectifs de larves diapausantes mais également leur répartition au sein du verger. C'est le cas précisément des vergers extensifs sans haie du site de Sehala Thaoura qui sont soumis aux effectifs de larves les plus élevés contrairement aux vergers intensifs avec haie des sites de Tenira, Tabia et Sidi Lahcen.

Nos résultats sont en accord avec ceux obtenus par Ricci (2009), qui a mis en évidence l'effet des caractéristiques locales des vergers et du paysage sur les effectifs du carpocapse, au sein des vergers de pommiers et de poiriers. Ce même auteur a montré que la densité de larves était systématiquement plus faible dans les zones proches ou protégées par des haies. De leur côté, Taki et al. (2007) et Jeanneret et al. (2003) ont également précisé que les caractéristiques du paysage ont un impact sur de nombreuses populations d'espèces d'insectes. Les haies sont ainsi des éléments paysagers importants pour plusieurs espèces cultivées, notamment en arboriculture fruitière (Baudry et al., 2000 ; Le Cœur et al., 2002).

Ricci (2019) précise qu'au sein du verger la répartition et la présence d'agrégation de larves diapausantes de *C. pomonella* peut se retrouver sur plusieurs années, parfois dans les mêmes zones du verger et parfois avec des déplacements des zones d'agrégation, toujours au sein du même verger, ce qui explique la fluctuation des effectifs entre les deux années d'étude, pour les vergers de pommiers.

Le comportement agrégatif, probablement induit par l'émission d'une phéromone, offre une plus grande probabilité de rencontre d'un partenaire lors de la reproduction des adultes de *C. pomonella* à l'émergence (Ricci, 2009). Il peut également être lié au comportement de ponte des femelles et à la dispersion des adultes à l'échelle locale.

La présence de haie en bordure limite la migration du carpocapse, et donc réduit non seulement son nombre mais aussi la diffusion de phéromone émise par les femelles pour l'accouplement (Sciarretta et Trematerra, 2006 ; Reardon et al., 2006).

La faible abondance des larves diapausantes observées dans les bandes pièges proches de la haie dans nos vergers d'étude, peut également être expliqué par le fait que les arbres fruitiers situés près de l'alignement de la haie constituent des sites défavorables pour l'oviposition du carpocapse. En effet, les travaux de Ricci et al. (2011) signalent un faible nombre de larves de *C. pomonella* à l'ombre des haies. De leur côté, Xiaowei et al (2009) précisent que la production fruitière étant faible à l'ombre limite la disponibilité des sites de pontes et par conséquent réduit l'attrait pour les femelles en ponte (Yan et al., 1999 ; Reed et Landolt, 2002). Les femelles préfèrent ainsi des sites exposés au soleil, pour favoriser le développement des futures larves (McKay, 1991).

D'autres facteurs peuvent également influencer les densités de larves au sein d'un verger, dont l'intensité des applications phytosanitaires et les conditions climatiques et écologiques. Sur le plan écologique, plusieurs travaux ont montré que les populations d'ennemis naturels étaient plus grandes quand les communautés végétales sont diversifiées (Bianchi et al., 2006, Zehnder et al., 2007). Les haies peuvent ainsi offrir une protection contre les vents (Maudsleyn, 2000 ; Debras et al., 2008) et constituer des habitats potentiels pour les parasitoïdes ou les prédateurs pour contrôler les ravageurs (Szentkirályi et Kozár, 1991 ; Chaubet, 1993 ; Wyss, 1996 ; Simon et al., 2010 ; Landis et al., 2000).

Mastrus ridens (Horstmann) (Hymenoptera : Ichneumonidae) est un exemple de ces parasitoïdes qui est spécifiques aux larves du carpocapse et qui est utilisé notamment en lutte biologique, dans les vergers de pommiers (Mills, 2005 ; Tortosa et al., 2014). Debras et al. (2008) rapportent que dans un verger de poirier non traité les ennemis naturels sont plus efficaces à proximité des haies. Les haies en bordure des vergers peuvent aussi héberger d'autres espèces animales qui participent à la régulation des insectes ravageurs comme les hérissons, les musaraignes, divers reptiles et les oiseaux (Boyer et al., 2017).

5.3. Dégâts de *C. pomonella* sur les pommes et poires

Nous avons concentré notre étude sur les dégâts de la première génération, c'est-à-dire les dégâts provoqués par les larves issues des adultes ayant émergé au printemps.

En effet, les dégâts tardifs (deuxième vol et plus) sont plus difficiles à évaluer, car les fruits piqués prématurément tombent au sol ou sont retirés par les arboriculteurs, ce qui risque de fausser les évaluations (Ricci, 2009). Cela peut également biaiser les analyses statistiques.

Les taux d'infestations obtenus dans la présente étude varient significativement d'une année à l'autre, et entre les variétés. Ils étaient plus élevés pour les pommes que pour les poires et variés d'une variété à l'autre. Des études précédentes ont montré des différences de sensibilité aux attaques de *C. pomonella* entre les variétés de pomme (Audemard et al., 1979 ; Stoeckli et al., 2009). De telles différences sont aussi révélées dans notre travail où le taux d'infestation chez la variété Golden Smoothie est deux fois plus élevé que les variétés Gala Brookfield et Granny Smith. Tandis que pour les vergers de poiriers, la variété Santa Maria a des pertes plus importantes que les variétés Cascade, Eliot et Passe crassane.

Certains auteurs ont proposé que les femelles de carpocapse déposent leurs œufs sur les feuilles au voisinage des fruits ou bien sur les fruits (Coutin, 1960). Ces femelles préfèrent la variété Golden Smoothie en raison de sa richesse en sucre et en polyphénols (Lombarkia et Derridj, 2002 ; Brahim et al., 2013). Les sémochimiques peuvent également jouer un rôle dans la sélection des hôtes. Light et al. (2001) et Coracini et al. (2004) ont démontré que les volatiles produits par les pommes vertes (ex : Golden Smoothie) pourraient provoquer des réactions olfactives chez *C. pomonella* et stimuler la ponte.

Aussi quelques sesquiterpènes dont le (E, E) - α -Farnesene, présents dans les pommes (Murray et al., 1964) ont démontré qu'ils attirent les adultes de *C. pomonella* et stimulent la ponte (Sutherland et Hutchins, 1972 ; Light et al., 2001 ; Coracini et al., 2004). De plus, l'attrait peut changer géographiquement et être plus élevé dans d'autres populations de *C. pomonella* (Preti et al., 2021).

La phénologie de la maturation des fruits peut également expliquer la variabilité des taux d'infestation. Joshi et al. (2015) indiquent que les femelles préféreraient pondre sur les variétés tardives comme Golden Delicious que sur les variétés précoces comme Gala.

Néanmoins, Sutherland et al. (1977), dans leur étude sur *C. pomonella* en Nouvelle-Zélande, précisent à ce sujet que les adultes préféraient Golden Delicious seulement durant la première génération. Cette observation a également été confirmée par les travaux de Meni Mahzoum et al. (2017), au Maroc. Au début de la saison, les pommes de la variété Golden sont relativement plus riches en sucres et polyphénols que d'autres variétés, ce qui attire les femelles pondueuses, mais cela peut ne pas avoir lieu pour les générations successives (Sutherland et al., 1977 ; Yan et al., 1999). On en conclue que les taux d'infestation élevés obtenus, dans la présente étude, pour les variétés Golden Delicious et Golden Smoothie, pourraient différer plus tard dans la saison (deuxième et troisième période de vol). Cependant, puisque la plupart des dommages sont dus aux larves de la première génération, nos résultats ressembleront largement au taux d'infestation final dans chaque variété.

L'intensité des infestations peut aussi être influencée par l'orientation de l'arbre. En effet, dans la présente étude, l'effet de l'orientation sur les taux d'infestation ne diffère pas d'une année à l'autre, mais a été affecté par la variété de pomme. En effet, dans tous les cas, les taux d'infestation les plus élevés ont été enregistrés à l'est et au sud, suivis du centre-ouest et du nord. Cependant, l'ampleur des dégâts, par orientation, variée entre les 03 variétés étudiées à savoir Golden Smoothie, Gala Brookfield et Granny Smith. Les taux les plus élevés ont été enregistrés pour la Golden Smoothie. Fait intéressant, l'infestation a suivi la même tendance à la baisse pour les trois variétés, et a été toujours était plus basse dans le Nord de l'arbre. Des facteurs tels que la température, la lumière et l'humidité peuvent expliquer ces résultats. Stoeckli et al. (2008) et Meni Mahzoum et al., (2017) rapportent que, pendant la première génération, les taux d'infestation sont plus faibles du côté nord (le plus frais) de la canopée de l'arbre. Les arthropodes sont des organismes ectothermes dont les adultes pourraient éviter les orientations nordiques durant la période d'avril à mai (Kührt et al., 2006). En outre, ces conditions défavorables peuvent augmenter la mortalité des larves nouvellement écloses à la recherche de fruits (Geier, 1963, Jackson, 1979), ce qui conduit également à réduire les taux d'infestation dans le côté nord des canopées.

Ces différences par rapport à l'orientation de la canopée pourraient toutefois changer tout au long de l'année, et peuvent disparaître au cours de la troisième génération quand les températures augmentent. Quel que soit le cas, les résultats obtenus ont une importante implication méthodologique et soulignent l'obligation d'échantillonner tous les côtés de la canopée de l'arbre et son centre.

Cette méthode devrait être mis en œuvre en Algérie pour obtenir des données sur les taux d'infestation (comme déjà recommandé par Blomefield (1997) pour l'Afrique du Sud, MacLellan (1962) pour l'Australie et Meni Mahzoum et al. (2017) pour le Maroc.

En ce qui concerne l'effet du système de conduite des vergers de pommiers et de poiriers sur les taux d'infestation, nous avons enregistré des pertes importantes dans les vergers extensifs non irrigués, alors que les vergers intensifs irrigués ont moins de dégâts que les vergers extensifs irrigués. Par conséquent, nous pouvons considérer que l'irrigation est un facteur déterminant dans l'infestation des fruits. Carter (2006) a noté aussi que la température inhabituelle, l'emploi des produits chimique moins efficaces, le moment de traitement, les faibles doses d'insecticides ainsi que l'apparition du phénomène de résistance aux insecticides sont des facteurs responsables d'augmentation des dégâts du carpocapse. Dans nos sites d'étude, les applications phytosanitaires dirigées contre la carpocapse se font en début de saison et visent les œufs et les adultes (début à fin mai selon les systèmes de conduite).

Nous pensons que ces applications auraient pu avoir également affecté les niveaux d'infestations obtenus, bien que cela n'ait pas influencé la tendance générale des résultats entre les années et les variétés étudiées. En plus, l'analyse des dégâts au sein des vergers s'étant faite vers la fin juin, permet d'apprécier la qualité des applications chimiques réalisées plus tôt par les arboriculteurs. Ce qui contribuera, entre autres, à la conception d'une stratégie de production intégrée pour la zone d'étude (objectif du projet PRFU indiqué en introduction de cette thèse).

Dans notre étude, la qualité des applications chimiques dirigées contre les populations de la carpocapse (œufs et adultes) est un facteur aussi responsable de la variabilité des dégâts entre les systèmes de conduite extensif et intensif. Dans le cas des vergers extensifs non irrigués du site de Sehala Thaoura, les traitements phytosanitaires se font contre les adultes vers la fin mai avec une moyenne de 7 applications dans la saison. Cependant ces applications s'avèrent peu ou pas efficace. En effet, pour des contraintes économiques, les arboriculteurs de ce site font appel à des insecticides peu coûteux et souvent peu efficace. Par contre, les arboriculteurs disposants des vergers intensifs irrigués font appel à des programmes de traitement chimique plus intense, basés sur l'usage de matières actives efficaces et fonction du stade biologique du carpocapse. En effet, une fois le seuil de capture atteint, les traitements débute en mai et visent les adultes, les œufs et les larves néonate avec une moyenne de 10 à 14 applications chimiques dans la saison.

D'après cette étude, nous pouvons dire que quelques soit les variétés des pommes ou de poires ou les sites d'étude (Tabia, Tenira, Sidi Lahcen et Sehala Thaoura), les variétés étudiées sont sensibles aux attaques de *C. pomonella*, avec des dégâts importants dans les vergers extensifs non irrigués et une préférence pour les variétés Golden Delicious et Golden Smoothie pour le pommier et pour la variété Santa Maria pour le poirier.

5.4. Essai de lutte contre le carpocapse par l'utilisation de l'huile essentielle de l'armoise blanche *A. herba alba*

5.4.1. Composition chimique de l'huile essentielle d'*A. herba alba*

Dans notre travail, le rendement d'extraction de l'huile essentielle d'*A. herba alba* était de 0,66%. Ce résultat est presque identique à celui obtenu en Tunisie (0,65%) (Akrouf, 2004) et en Algérie dans la région de Batna (0,65%) (Bertella, 2019), supérieur à ceux enregistrés en Algérie dans la région de Tlemcen (0,55%) (Bouchikhi-Tani et al., 2018) et en Arabie Saoudite (0,0051%) (Nasser Al-wahaibi et al., 2020). En revanche, les échantillons prélevés dans d'autres régions de l'Algérie et du Maroc ont rapporté des valeurs de rendement légèrement plus élevées, allant de 0,71 à 1,19% (Benarab et al., 2020). Alors que dans la région de Boussaira au sud de la Jordanie, un rendement de 3% a été enregistré (Abu-Darwish et al., 2015), et de 4,9% pour les échantillons prélevés dans la région d'El Kef en Tunisie (Boukrich et al., 2010).

Il pourrait y avoir plusieurs facteurs à l'origine de ces variations au sein d'une même espèce. En premier lieu, l'*A. herba alba* se propage sur un vaste territoire et se trouve donc dans des régions ayant des caractéristiques environnementales et édapho-climatiques différentes, de telles différences peuvent avoir une incidence sur les valeurs de rendement de l'huile essentielle (Mighri et al., 2010). De plus, les différences génétiques entre les populations (dues à l'adaptation locale ou à la dérive génétique) pourraient également être à l'origine de cette variabilité intraspécifique. Enfin, le moment de la récolte, ainsi que les méthodes d'extraction utilisées, peuvent influencer sur les pourcentages de rendement (De Lima et al., 2012).

Dans la présente étude, les monoterpènes oxygénés et les hydrocarbures monoterpènes sont les deux principaux groupes de terpènes dans l'huile essentielle d'*A. herba alba*.

Cela concorde en grande partie avec un bon nombre de rapports précédents pour l'espèce, bien qu'il y ait des différences entre les composés et les proportions. Nos résultats ont montré que le dextro-camphre (30,60%) est le principal composé suivi du 2,6-diméthyl-1,3,6-heptatriène (26,71%), du safranal (7,04%), du Bornéol (3,94%) et de l'eucalyptol (3,47%). Dans plusieurs travaux, le camphre a également été signalé comme étant le composé le plus important de cette espèce végétale dans d'autres régions de l'Algérie (Benarab et al., 2020 ; Dahmani-Hamzaoui et Baaliouamer, 2005) et au Maroc (Imelouane et al., 2010).

Des études menées dans d'autres pays comme la Tunisie, l'Égypte et le Maroc ont montré que des composés comme α - et β -thujone (Mighri et al., 2010 ; Eljazi et al., 2020), 1,8-cinéole (Abou El Hamd et al., 2010), acétate de chrysanthényl (Bezza et al., 2010) et cis-thujone (Amor et al., 2019), peuvent également être des composants prédominants de l'huile d'*A. herba alba*. Comme dans le cas des valeurs de rendement, des différences dans la composition chimique de l'huile essentielle peuvent être dues à l'aire de répartition étendue d'*A. herba alba*.

Les plantes réagissent à des facteurs comme le climat, les caractéristiques édaphiques ou les interactions locales avec d'autres organismes produisant des métabolites secondaires spécifiques (Mighri et al., 2010). Par conséquent, les conditions environnementales locales pourraient déclencher la production de certains composés dans certaines populations d'*A. herba alba* et non dans d'autres. La divergence génétique intraspécifique pourrait également expliquer cette variabilité chimique et même être liée à l'existence de différentes sous-espèces (Dahmani-Hamzaoui et Baaliouamer, 2005).

5.4.2. Efficacité insecticide de l'huile essentielle d'*A. herba alba*

La présente étude a démontré que l'huile essentielle obtenue à partir des parties aériennes d'*A. herba alba* est efficace contre les larves du 5^{ème} stade de *C. pomonella*. L'huile essentielle d'*A. herba-alba* a révélé une forte activité larvicide, avec des CL50 de 13,49 et 04,45 $\mu\text{l L}^{-1}$ d'air à 24 h et 48 h, respectivement. Quant-aux valeurs des LT50 aux concentrations d'huile les plus basses (1,81 $\mu\text{l L}^{-1}$ air) et les plus élevées (18,18 $\mu\text{l L}^{-1}$ air), elles étaient respectivement de 59,35 à 19,52 heures.

L'effet insecticide d'*A. herba alba* a été prouvé pour de nombreux insectes nuisibles tels que les coléoptères (Ben Slimane et Baouindi, 2016), les lépidoptères (Bouzeraa et al., 2018 ; Bouchikhi-Tani et al., 2018) et les homoptères (Soliman, 2007). Toutefois, il s'agit du premier travail sur l'action insecticide contre les populations larvaires de *C. pomonella*.

La toxicité des huiles essentielles ne dépend pas seulement des composés chimiques agissant comme toxines, mais aussi de nombreux autres facteurs concomitants. Par exemple, le point d'entrée de la toxine, les poids moléculaires et les mécanismes d'action sont des facteurs qui jouent un rôle important sur la capacité des huiles essentielles à induire une toxicité (Mossa, 2016). L'effet toxique des monoterpènes et des monoterpénoïdes sur les insectes est fortement associé à leur taux de volatilité. En effet, ces composés généralement volatils et lipophiles peuvent atteindre rapidement le système digestif et aussi pénétrer à travers la cuticule lorsque les insectes respirent (Juan et al., 2011). Les monoterpènes et les monoterpénoïdes affectent négativement la respiration des insectes, ce qui les conduit à la mort (Pugazhvendan et al., 2012). Ils inhibent également l'enzyme acétylcholine estérase des récepteurs protéiques (Chaubey, 2014) et interfèrent avec le métabolisme des hormones juvéniles et des ecdysones (Tsao et Coats, 2005).

Dans notre travail, l'effet insecticide de l'huile d'*A. herba alba* pourrait être attribué aux principaux composés, à savoir le dextro-camphre (30,60%) et l'heptatriène de 2,6-diméthyle-1,3,6 (26,71%), ou à la synergie entre tous les constituants. En général, les principaux constituants déterminent les propriétés biologiques des huiles essentielles. Le camphre monoterpène, qui est le composé le plus répandu de notre échantillon, est une substance hautement biologiquement active ayant une forte toxicité par contact et fumigation contre les insectes nuisibles (Mazyad et Soliman, 2001). Cependant, les huiles essentielles sont des mélanges complexes de nombreuses molécules. Outre les principaux composés, il pourrait y avoir des constituants qui, bien qu'à des concentrations plus faibles, pourraient interagir avec d'autres et jouer un rôle clé dans la toxicité nette de l'huile (Bakkali et al., 2008).

Cet essai préliminaire de lutte biologique contre les larves du dernier stade de *C. pomonella*, fournit ainsi les premiers résultats qui devront permettre l'approfondissement de la recherche sur l'utilisation de l'huile essentielle de l'armoise comme fumigant visant la protection des fruits lors du stockage.

Conclusions générales

Conclusions générales

Dans la présente thèse, nous avons traité plusieurs aspects de la dynamique du carpocapse des pommes et des poires. Dans un premier temps, nous avons examiné : l'origine génétique des populations locales, la dynamique des adultes et les effets du système de conduite et des variétés, la répartition spatiale intra verger des effectifs de larves diapausantes et effet du paysage, l'évaluation des dégâts sur fruits et effets du système de conduite, des variétés et de l'orientation des arbres. Dans un second temps, nous avons traité, au laboratoire l'efficacité biologique de l'huile essentielle de l'armoise blanche. Cette étude réalisée durant les années 2018 et 2019, s'est déroulée au sein de 72 vergers de pommiers et de poiriers localisés dans quatre sites de production potentiels de la région de Sidi Bel Abbés : Sehala Thoura, Sidi Lahcen, Tabia et Tenira.

Grâce à l'identification moléculaire nous avons pu déterminer, pour la première fois en Afrique du Nord et en Algérie, le séquençage du code-barres de l'ADN de *C. Pomonella*. Nous avons montré que l'origine des populations envahissantes peut être l'Europe. La plupart des haplotypes mitochondriaux de COI ont été partagés avec ce continent. Mais la présence de deux haplotypes exclusifs étroitement liés à la majorité d'entre eux suggèrent que ceux-ci pourraient provenir localement, probablement favorisés par des taux de mutation élevés.

Pour ce qui de la phénologie du vol et grâce à l'utilisation de la technique du piégeage attractifs mixtes (phéromone + Kairomone), nous avons mis en exergue l'existence de trois générations successives complètes et d'une quatrième partielle. Le premier vol débute en Avril et se termine la fin Juin avec un pic au mois de Mai, le second s'étale de la fin juin à juillet. Quant- au troisième, il intervient début août et se termine vers la fin du même mois, alors que la moitié du quatrième vol se produit du début septembre à la mi-octobre. Ce dernier vol s'explique probablement par la présence des variétés tardives, notamment pour le pommier. Malgré les traitements phytosanitaires, les effectifs d'adultes, au sein du verger, étaient plus élevés lors de la première moitié de la saison, soit au cours des deux premières générations. Ce résultat suggère que pour un contrôle chimique efficace de la première génération, les pièges attractifs peuvent être mis en place (1 pour 4 ha au centre du verger) vers le début avril et le premier traitement ovo-larvicide ne doit pas excéder la mi-avril, dans le cas où le seuil de capture est dépassé.

Il peut être suivi par un autre, entre la première et la deuxième semaine du mois de mai, lors du pic. Le même raisonnement doit être considéré pour les autres générations.

Nous avons également mis en évidence que les effectifs d'adultes étaient affectés par la structure variétale, le système de conduite et par le paysage du verger. Les effectifs les plus élevés ont été observés chez la variété Golden Reinders (pommier) et au sein des vergers extensifs n'ayant pas de haie en bordure. Dans ce cas, nous pensons que le vent, étant un facteur de dispersion entre les vergers, peut avoir un effet sur les effectifs des adultes. D'autre part, nous pouvons recommander, pour les nouvelles créations de verger, la diversification des variétés et l'installation de haie en bordure, constituée notamment de casuarina.

Nous avons également souligné un effet du paysage environnant le verger sur les effectifs de larves diapauses. En effet, la densité des larves est plus faible dans les vergers ayant une grande proportion de haies, et encore plus faible proche de la haie. Alors que ceux dépourvus de bordure renferment les densités les plus élevées. La répartition spatiale des larves au sein du verger est généralement assez homogène, avec toutefois des agrégations au centre des vergers avec haies et en extrémité des vergers sans haies. Nous pensons qu'en plus du comportement de ponte des femelles, les haies favorisent l'installation des ennemis naturels qui auraient probablement contribué à la réduction des effectifs dans les vergers bordés.

Comme mesure de prévention de lutte, l'utilisation des bandes pièges peut largement contribuer à la réduction des effectifs de larves diapauses, et par conséquent les prochains vols. Nous recommandons l'installation des cartons ondulés autour des troncs (25 x 30 cm), à raison d'un piège par arbre, vers le début de juillet. Leur destruction interviendra plus tard vers le début novembre. En fonction des capacités, l'utilisation de ces pièges peut être totale ou partielle. Si partielle, nous recommandons la mise en place des pièges sur les rangs d'arbres situés en bordure pour les vergers dépourvus de haie végétale et sur les rangs du centre pour les vergers disposant de haie. Toutefois rien n'empêche d'adopter les deux techniques pour le même verger.

Au sein des vergers intensifs ayant de fortes proportions de haie en bordure, étant donné la faible densité de larves diapauses, les arboriculteurs devraient prévoir, lors des pulvérisations chimiques, une zone tampon d'au moins 4 rangées d'arbres pour ainsi préserver le cortège d'ennemis naturels. En attendant les précisions des travaux de recherche ultérieure sur cet aspect.

Nous avons aussi mis en évidence que l'ensemble des variétés cultivées dans la région sont sensibles aux attaques du carpocapse. Les dégâts sont en relation avec la densité des adultes capturés dans les vergers. Les taux d'infestation des fruits varient significativement en fonction des espèces, des variétés, du système de production et de la canopée de l'arbre. Ils étaient beaucoup plus élevés dans les vergers de pommiers que de poiriers. Les variétés les plus sensibles sont Golden Delicious, Golden Smoothie et Royal Gala pour le pommier et Santa Maria et cascade pour le poirier. Les vergers composés de ces variétés renferment des effectifs importants d'adultes capturés. Les taux d'infestation sont plus faibles dans les vergers intensifs, moyens dans les vergers extensifs irrigués et plus élevés dans les vergers extensifs en conditions pluviales. Les orientations est et sud de l'arbre présentent les taux d'infestation les plus élevés. Toutefois, les effets probables de la conduite des vergers, notamment les applications chimiques et l'irrigation sur les niveaux d'infestation devront être précisés ultérieurement.

Enfin dans un second temps, nous avons mis en évidence l'effet insecticide de l'huile essentielle d'*A. herba-alba* vis-à-vis des larves du dernier stade. La toxicité prouvée par fumigation est intéressante puisqu'elle peut viser les larves durant la phase de stockage au froid. Les principaux constituants de l'huile essentielle dextro-camphre et le 2,6-diméthyl-1,3,6-heptatriène, sont caractéristiques de la région d'étude. L'efficacité insecticide de l'armoise blanche s'est traduite par des CL₅₀ de 13,49 et 04,45 µl L⁻¹ d'air, avec des TL₅₀ de 59,35 et 19,52 à 24 et 48 h, respectivement.

Perspectives

Les principaux résultats de cette thèse nous ont permis de décrire la phénologie et la dynamique du carpocapse dans un environnement diversifié. Nous avons montré que les effectifs étaient affectés par le système de conduite y compris la structure variétale des vergers et par le paysage. Cette relation, bien que traitée dans un habitat perturbé par les applications chimiques, mérite plus de précisions notamment dans l'optique de la conception d'un système de production intégrée. Mise à part notre contribution et les autres aspects du système pommier – ravageurs clés, en cours de traitement dans le cadre du projet PRFU, certaines questions de recherche doivent être précisées afin d'élucider tous les mécanismes intervenant dans la relation carpocapse - habitat.

Pour ce qui est de la génétique des populations du carpocapse, il pourrait être intéressant d'étendre le travail de laboratoire aux gènes nucléaires fonctionnels impliqués dans les réponses adaptatives aux conditions changeantes de l'environnement. Le temps écoulé depuis l'introduction, et notre découverte de mutants mitochondriaux locaux potentiels, augmentent les chances de trouver des variantes de gènes nucléaires qui pourraient favoriser l'adaptation aux conditions locales d'Algérie.

La relation entre le paysage et la dispersion spatiale des adultes en intra ou en inter verger devra être précisé par le recours aux techniques modernes de la biologie moléculaire. L'effet de la composante vent et hauteur de la haie du verger devront également être précisés. Les substances volatiles des fruits devront être identifiées par variété, et par zone agro écologique, afin d'élucider le phénomène d'attraction des adultes notamment des femelles. L'effet régulateur des ennemis naturels au sein des différents types d'habitat, notamment celui des vergers intensifs avec haie, devra être précisé.

Enfin pour ce qui est de la lutte biologique contre les populations de carpocapse, bien que la concrétisation pratique des extraits de plantes comme moyen de lutte ne soit pas aussi évidente, pour des raisons de coût de production, certaines plantes peuvent faire preuve de bon agent si elles sont bien développées. C'est le cas probablement de l'armoise blanche, qui compte tenu de sa toxicité par fumigation, peut être exploité dans les chambres froides de stockage des pommes. Toutefois il est tôt de se prononcer sur son efficacité et sa faisabilité. En effet d'autres études sont nécessaires et doivent essentiellement porter sur l'identification des composants actifs responsables de la mortalité larvaire. De plus, les effets secondaires potentiels de l'huile sur la qualité des pommes doivent être précisés. L'efficacité et la toxicité par fumigation devrait aussi être étudiée dans les conditions de stockage des pommes, afin d'évaluer, entre autres, l'effet des basses températures sur la stabilité et l'efficacité de l'huile essentielle d'*A. Herba-alba*.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Abou El Hamd, M., El-Sayed, M.A., Hegazy, M. E., HelalySoleiman, E., Abeer, E.M. & Naglaa, M.S., 2010. Chemical Constituents and Biological Activities of *Artemisia herba-alba* Asso. Records of naturel products, 4: 1-25.
- Abu-Darwish, M.S., Cabral, C., Gonçalves, M.J., Cavaleiro, C., Cruz, M.T., Efferth, T., Salgueiro, L., 2015. *Artemisia herba-alba* essential oil from Buseirah (South Jordan): Chemical characterization and assessment of safe antifungal and anti-inflammatory doses. Journal of Ethnopharmacology, 174 :153-160.
- ACTA., 1974. Pommier : Contrôles périodiques en verger, vol. III, Paris, France.
- Adams, C.G., Schenker, J. H., McGhee, P.S., Gut, L.J., Brunner, J. F. and Miller, J. R., 2017. Maximizing Information Yield from Pheromone-Baited Monitoring Traps: Estimating Plume Reach, Trapping Radius, and Absolute Density of *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) in Michigan Apple. Journal of Economic Entomology, 110 : «305-318.
- Agence International de l'Energie Atomique, 2016. La technologie nucléaire au service des objectifs du développement durable, 36 p.
- Aguiar, A.M.F., Karsholt, O., 2006. Systematic catalogue of the entomofauna of the Madeira archipelago and selvagens islands Lepidoptera vol 1. Boletim do Museu Municipal do Funchal, 9 : 5-189.
- Aidoud, A. 1983. Contribution à l'étude des écosystèmes steppiques du sud oranais. Phytomasse, productivité primaire et application pastorale. Thèse 3ème cycle : Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene, Alger, 245 p.
- Akrout, A., 2004. Essential oil study of some pastoral plants from Matmata (south Tunisia). Cahiers Options Méditerranéennes, 62 : 289-292.
- Albert, L., Franck, P., Gilles, Y. & Plantegenest, M., 2017. Impact of Agroecological Infrastructures on the Dynamics of *Dysaphis plantaginea* (Hemiptera: Aphididae) and

- Its Natural Enemies in Apple Orchards in Northwestern France. *Environmental Entomology*, 46: 528-537.
- Alston, D., Murray, M., Reding, M., 2010. Codling Moth (*Cydia pomonella*). Utah State University Extension and Utah Plant Pest Diagnostic Laboratory, 13: 1-7.
- Amano, T., & Higo, Y., 2015. A convenient diagnostic polymerase chain reaction method for identifying codling moth *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) among tortricid pests in cherries imported from western North America. *Applied Entomology and Zoology*, 50: 549-553.
- Amor, G., Caputo, L., La Stora, A., De Feo, V., Mauriello, G. et Fechtali, T., 2019. Chemical Composition and Antimicrobial Activity of *Artemisia herba-alba* and *Origanum majorana* Essential Oils from Morocco. *Molecules*, 24: 4021.
- Ananthkrishnan, T. N., 1990. Facets of chemical ecology in insect-plant interactions: An overview. *Proceedings of the Indian Academy of Sciences*, 99:177-183.
- Andow, D. A. 1991. Vegetational Diversity and Arthropod Population Response. *Annual Review of Entomology*, 36: 561-586.
- Angilletta, M.J., 2009. Thermal Adaptation. A Theoretical and Empirical Synthesis. Oxford University Press, New York, 285 p.
- Ansebo, L., Coracini, M.D.A., Bengtsson, M., Liblikas, I., Ramirez, M., Borg-Karlson, A.K., Tasin, M. and Witzgall, P., 2004. Antennal and behavioural response of codling moth *Cydia pomonella* to plant volatiles. *Journal of Applied Entomology*, 128: 488- 493.
- Arthurs, S.P., Hilton, R., Knight, A.L. et Lacey, L.A., 2007. Évaluation de l'ester de poire Kairomone comme additif de formulation pour le granulovirus du carpocapse de la pomme, *Cydia pomonella* (Lepidoptera : Tortricidae) dans les fruits à pépins. *Journal d'entomologie économique*, 100 : 702-709.
- Asser-Kaiser, S., Fritsch, E., Undorf-Spahn, K., Kienzle, J., Eberle, K. E., Gund, N. A., Reineke, A., Zebitz, C. P. W., Heckel, D. G., Huber, J., Jehle, J. A., 2007. Rapid emergence of baculovirus resistance in codling moth due to dominant, sex-linked inheritance. *Science*, 318 : 1916 -1918.

- Aubertot, J.N., Barbier, J.M., Carpentier, A., Gril, J.J., Guichard, L., Lucas, P., Savary, S., Voltz, M., 2005. Pesticide, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux. Rapport d'expertise INRA CEMAGREF, France, 64 p.
- Audemard H., 1979 :** Le piégeage du carpocapse (*Laspeyresia pomonella* L.) avec la phéromone sexuelle de synthèse E-8, E-10 DDol dans la lutte raisonnée en verger de pommier en France INRA. Station de zoologie, Avignon, France, 565-585 p.
- Audemard, H. (1988). Confusion sexuelle avec des phéromones en Europe de l'Ouest. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 21 : 101-110.
- Audemard, H., 1976. Étude demoécologique du carpocapse (*Laspeyresia pomonella* L.) en verger de pommier de la basse Vallée du Rhône. Possibilités d'organisation d'une lutte intégrée. Thèse d'état. Université F. Rabelais, Tours, France, 365 P.
- Audemard, H., 1991. Integrated protection of orchards: Results and perspectives. *Bulletin de la Société Zoologique de France, Evolution et Zoologie*, 116 : 367-368.
- Audemard, H., Gendrie, J.P. et Jeay, M., 1990. Lutte raisonnée contre la tordeuse orientale (*Cydia molesta* Busck) en verger de pêcher in conférence internationale, *Annales ANPP*, Paris, 3 : 525-531.
- Ayral, H., 1969. *Zoologie agricole*. Edition JB Bailliere et fils, Paris, France, 81 p.
- Bagnouls, F., et Gaussen, H., 1953. Saison sèche et indice xérothermique. *Bulletin société histoire naturel*, Toulouse, France, 193 – 239.
- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., and Idaomar, M., 2008. Biological effects of essential oils A review. *Food and Chemical Toxicology*, 46 : 446-475.
- Balachowsky, A. et Mesnil, L., 1935. *Les insectes nuisibles aux plantes cultivées, leurs mœurs, leur destruction*. Tome 1. Edition Busson, Paris, France, 298-469.
- Balachowsky, A., 1966. *Traité d'entomologie appliquée à l'agriculture*. T2, Lépidoptères, Volume 1. Edition Masson, Paris, France, 456 – 893.

- Barbosa, P., 1998. Conservation Biological Control. Academic Press, London, 83-100.
- Basoalto, E., Miranda, M., Knight, A.L., Fuentes-Contreras, E., 2010. Landscape analysis of adult codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) distribution and dispersal within typical agroecosystems dominated by apple production in central Chile. *Environmental Entomology*, 39 : 1399–1408.
- Bastola, A., Davis, J.A., 2018. Détermination de la dispersion sur le terrain de la punaise à bandes rouges (Hemiptera : Pentatomidae) dans les champs de soja à l'aide d'une méthode de capture de marques à base de protéines, *Protection des cultures*, 112 : 24-32.
- Bates, D., Martin, M., Ben, B., and Steve, Walker., 2015. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67: 1-48.
- Baudry, J., & Burel, F., 2019. Multi-scale control of carabid assemblages in hedgerow network landscapes. *The Ecology of Hedgerows and Field Margins*, 147 p.
- Baudry, J., Bunce, R.G.H. and Burel, F., 2000. Hedgerows: An international perspective on their origin, function and management. *Journal of Environmental Management*, 60: 7-22.
- Beers, E. H., Brunner, J.F., Willett, M.J. & Warner, G.M., 1993. *Orchard Pest Management: A Resource Book for the Pacific Northwest: Good Fruit Grower*, Yakima, Washington, 276 p.
- Beers, E.H., Stuckling, D.M., Prokopy, R.J., Avila, J., 2003. Ecology and management of apple arthropod pests. In: Ferree DC, Warrington IJ (Eds.), *Apples: botany, production and uses*, CABI Publishing, Wallingford, UK, 489-514.
- Begg, G.S., Cook, S.M., Dye, R., Ferrante, M., Franck, P., Lavigne, C., Lövei, G.L., Mansion-Vaquie, A., Pell, J.K., Petit, S., Quesada, N., Ricci, B., Wratten, S.D. & Birch, A.N.E., 2017. A functional overview of conservation biological control. *Crop Protection*, 97: 145–158.

- Belkadi, S., 1998. Etude du comportement du carpocapse (*Laypeyresia pomonella* L) et estimation des dégâts au niveau de la SRPV d'Ain touta. 2^{ème} journée technique phytosanitaires (24/25 Nov). INPV, 78-86.
- Ben Cheikh, H., 1992. Contribution à l'étude biologique du carpocapse des pommes et des poires (*Laypeyresia pomonella* L) (Lepidoptera : Tortricidae) et estimation des dégâts dans un verger de pommier dans la région de Ain-Roua (Setif). Mémoire Injénieur, Institut Agronomique. Univ Batna, 98 p.
- Ben Slimane, B., Baouindi, M., 2016. Effects of *Artemisia herba-alba* essential oils on survival stored cereal pests: *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera, Tenebrionidae) and *Trogoderma granarium* (Everst) (Coleoptera, Dermestidés). Journal of Coastal Life Medicine, 4: 390-394.
- Benarab, H., Fenni, M., Louadj, Y., Boukhalti, H., Ramdani, M., 2020. Allelopathic activity of essential oil extracts from *Artemisia herba-alba* Asso. on seed and seedling germination of weed and wheat crops. Acta Scientiarum Naturalium, 7: 86-97.
- Benton, T.G., Vickery, J.A., Wilson, J.D., 2003. Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key? Trends. Ecology and Evolution, 18 : 182-188.
- Bertella, A., 2019. Etude de l'activité antimicrobienne et antioxydante des huiles essentielles d'*Artemisia herba-alba*, *Artemisia campestris* et *Rosmarinus tournifortii*. These de doctorat, SNV, université d'Oran, 169 p.
- Bezza L., Mannarino A., Fattarsi K., Mikail C., Abou L., Hadji-Minaglou F. & Kaloustian J., 2010. Chemical composition of the essential oil of *Artemisia herba-alba* issued from the district of Biskra (Algeria). Phytothérapie, 8: 277-281.
- Bianchi, F. J. J. A., Booij, C. J. H. & Tscharrntke, T., 2006. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity, and natural pest control. Proceeding of the Royal. Society of London, 273: 1715-1727.
- Bloem, S., Bloem, K.A. and Knight, A.L., 1998. Assessing the quality of mass-reared codling moths (Lepidoptera: Tortricidae) by using Peld release-recapture tests. Journal of Economic Entomology, 91: 1122-1130.

- Bloesch, B. et Viret, O., 2013. Revue suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture, 45: 128–131.
- Blomfield, T.L., Pringle, K.L. et Sadie, A., 1997. Field observation on oviposition of codling moth, *Cydia pomonella* (Linnaeus) (*Lepidoptera: Oleutreutidae*), in an unsprayed apple orchard in South Africa. *African Entomology*, 5: 319-336.
- Boivin, T. et Sauphanor, B.B., 2007. Phénologie et optimisation de la protection contre le carpocapse des pommes. *Innovations Agronomiques, INRAE*, 1: 23-31.
- Boivin, T., Chadoeuf, J., Bouvier, J.-C., Beslay, D., Sauphanor, B., 2005. Modelling the interactions between phenology and insecticide resistance genes in the codling moth *Cydia pomonella*, *Pest Management Science*, 61:53-67.
- Bonal, R., Vargas-Osuna, E., Mena, J.D., Aparicio, J.M. Santoro, M. & Martín, A., 2018. Looking for variable molecular markers in the chesnut gall wasp *Dryocosmuskuriphilus*: first comparison across genes. *Scientific Reports*, 8 :5631.
- Bonnemaison, L., 1951. Contribution à l'étude des facteurs provoquant l'apparition des formes ailées et sexuées chez les Aphidinae. *Annales des Epiphyties*, 2 : 1-380.
- Borioli, P., Filleron, E., Géa, A., Hucbourg, B., Libourel, G., Masson, R., Mouiren, C., *et al.*, 2013. Guide de protection fruitière intégrée. *Objectifs Info Arboriculture*, 13 p.
- Bosch, D., Avilla, J., Musleh, S. & Rodríguez, M.A., 2018. Target-site mutations (AChE and kdr), and PSMO activity in codling moth *Cydia pomonella* L. (*Lepidoptera: Tortricidae*) populations from Spain. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 146: 52–62.
- Bouchikhi-Tani, Z., Anouar Khelil, M., Bendahou, M., 2018. Evaluation des propriétés larvicides des huiles essentielles extraites de cinq plantes aromatiques d'Algérie : essai sur la mite *Tineola bisselliella* (*Lepidoptera :Tineidae*). *Journal Scientifique Libanaise*, 19 : 187-199.
- Boukrich, F., Zouari, S., Neffati, M., Abdell, y C., Liu, K., Casanova, J., Tomi, F., 2010. Chemical variability of *Artemisia herba-alba* Asso growing wild in Semi-arid and Arid Land (Tunisia). *Journal of Essential Oil Research*, 22 : 331-335.

- Bounfour, M., 2010. La technique des insectes stériles ou l'innovation dans la lutte. Journée ONNSA. Maroc, 10 p.
- Bouzeraa, H., Bessila-Bouzeraa, M., Labed, N., Sedira, F., Ramdani, L., 2018. Evaluation of the insecticidal activity of *Artemisia herba alba* essential oil against *Plodia interpunctella* and *Ephestia kuehniella* (Lepidoptera, Pyralidae). Journal of Entomology and Zoology Studies. 6:145-150.
- Boyer, F., Ulrych, R., Sellam, M., Lejeune, V., 2017. Les auxiliaires de cultures. Biologie, écologie, méthodes d'observation et intérêt agronomique. 4ème édition ACTA, Paris, France, 263 p.
- Bradley, S.H., Calkins, C.O. and Temple, C.A., 2001. Overwintering of Codling Moth (Lepidoptera: Tortricidae) Larvae in Apple Harvest Bins and Subsequent Moth Emergence. Journal of Economic Entomology, 94 : 1511-1517.
- Brahem, M., 2017. Caractérisation des interactions non-covalentes entre les procyanidines et les parois : Impact de la maturation des poires. Thèse de Doctorat. Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, France, 239 p.
- Brahim, I., Lombarkia, N., et Medjedba, A., 2013. Etude du comportement de ponte du carpocapse (*Cydia pomonella* L.) (Lepidoptera : Tortricidae) sur deux variétés de pommier (*Malus domestica* Borkh.). Agronomie africaine, 25: 72-82.
- Bretaudeau J., 1978. Atlas d'arboriculture fruitière. Edition JB Baillière & Fils. Paris, Vol.02, 173 p.
- Bretaudeau, J. et Faure, y., 1991. Atlas d'arboriculture fruitière (pommier-poirier-nashi). Ed. Tec et Doc Lavoisier, 3 Edition. Vol II. 207 p.
- Brett, R.B., Vincent, P.J., Anne, L.N., 2016. Utilisation de techniques d'immunomarquage pour suivre le mouvement et la distribution de *Halyomorpha halys* (Hemiptera : Pentatomidae) dans un verger de pêchers, Peer Journal, 4.
- Brown, E.M. et Sutton, T.B., 1995. Un modèle empirique pour prédire les premiers symptômes de la tache de suie et de la moucheture des pommes. Maladie des plantes, États-Unis, 79 : 1165 -1168.

- Burel, F., Baudry, J., 1999. *Ecologie du paysage : concepts, méthodes et applications*, Tec et Doc Paris, 362 p.
- Burn, A.J., 1988. Assessment of the impact of pesticides on invertebrate predation in cereal crops. *Aspects of Applied Biology*, 17: 279 - 288.
- Bush, M.R., Abdel-All, Y.A., Rock, G.C. 1993. Parathion resistance and esterase activity in codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) from North Carolina. *Journal of Economic Entomology*, 86 : 660–666.
- Campo, O.L., 2016. Compréhension de la répartition et de la concentration des éléments traces dans les organes de plantes cultivées pour l'alimentation : influence de l'allométrie et du stade de développement. *Ecotoxicology*. Thèse de Doctorat Université de Bordeaux ; Universidad del País Vasco, France, 258 p.
- Cardé, R.T., 1984. Chemo-orientation in flying insects. In Bell W. and Cardé R. T. (eds.), *Chemical ecology of insects*, 111-124.
- Cardinale, B.J., Duffy, J.E., Gonzalez, A., Hooper, D.U., Perrings, C., Venail, P. & Kinzig, A.P., 2012. Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 486: 59–67.
- Carter, K., 2006. Que faire en cas de problème de lutte contre le carpocapse dans les vergers de l'Ontario. *Horticulture*, MAAARO. Ontario. Canada. 3 p.
- Chafaa S., 2008 : Contribution à l'étude bioécologique d'un bio agresseur du pommier (*Cydia pomonella* L.) (Lepidoptera : Tortricidae) et estimation des dégâts dans la région de AinTouta (w. Batna). Thèse Magistère. Institut National Agronomique EL-Harrach. Alger, 86 p.
- Challice, J., et Westwood, M.N., 1973. Numerical Taxonomic Studies of the genus *pyrus* both. Chemical and botanical characters. *Botanical Journal of Linnean Society*, 67: 121-148.
- Chaouia, C.H., Mimouni, N., Trabelsi, S., Benrebiha, F.Z., Boutekrabt, T.F. et Bouchenak, F., 2003. Evaluation des besoins en matière de renforcement des capacités nécessaires à la conservation et l'utilisation durable de la biodiversité importante pour Références bibliographiques l'agriculture en Algérie. Alger : les espèces fruitières, viticoles et

- phoenicicoles. Recueil des communications atelier n°3 « Biodiversité importante pour l'agriculture » MATE- GEF / PNUD. Propjet ALG/ 97/ G 31 : 19- 28.
- Chaplin-Kramer, R., O'Rourke, M.E., Blitzer, E. J., & Kremen, C., 2011. A meta-analysis of crop pest and natural enemy response to landscape complexity. *Ecology letters*, 14: 922-932.
- Charmillot, J., R. Favre, D. Pasqueir, M. Rhyn, and A. Scalco. 1994. Effect du ré'guler de croissance d'insectes (RCI) te'bufenozide surles oeufs, les larves et les papillons des vers de la grappe *Lobesia botrana* Den & Schiff. et *Eupoecilia ambiguella* Hb. *Bulletin of the Entomological Society. Suisse*, 67: 393 - 402
- Charmillot, P. J. et Pasquier D., 2002. Combinaison de la technique de confusion et du virus de la granulose contre les souches résistantes de carpocapse. *Cydia pomonella*. *Revue Suisse Viticulture Arboriculture Horticulture*, 33 : 119-124.
- Charmillot, P. J., 1980. Développement d'un système de prévision et de lutte contre la carpocapse (*Laspeyresia pomonella* L.) en Suisse Romande : rôle du service régional d'avertissement et de l'arboriculture. *Bulletin the European and Mediterranean Plant Protection Organization*, 10: 231-239.
- Charmillot, P.J. et Höhn, H., 2004. Carpocapse des pommes et des poires *Cydia pomonella* L. Agroscope RAC et FAW Wädenswil. Confédération suisse. Fichier 101. Suisse. 3 p.
- Chaubet, B., 1993. Diversite écologique, aménagement des agro-ecosystemes et favorisation des ennemis naturels des ravageurs : cas des aphidiphages. *Courrier de l'environnement de l'INRA*, 18 : 45 - 63.
- Chouinard, G., Firlej, A., Vanoosthuysse, F. et Vincent, C., 2000. Guide d'identification des ravageurs du pommier et de leurs ennemis naturels. Conseil des productions végétales du Québec, 69 p.
- Chouinard, G., Vincent, C., Langlais G. et Roy M., 1996. Régie des populations de *Cydia pomonella* (Lepidoptera : Tortricidea) dans les vergers commerciaux du Québec avec des phéromones de synthèse. *Phytoprotection*, 77: 57-64.

- Chown, S.L., Nicholson, S.W., 2004. Insect Physiological Ecology: Mechanisms and Patterns. Oxford University Press, Oxford, UK, 237 p.
- Cichón, L.I., Soleño, J., Garrido, S.A., Guñazú, N., Montagna, C.M., Franck, P., Olivares, J., Musleh, S., Rodríguez, M.A., Fuentes-Contreras, E., 2021. Genetic structure of *Cydia pomonella* populations in Argentina and Chile implies isolating barriers exist between populations. *Journal of Applied Entomology*, 1 -11.
- Ciglar, I., 1998. Integrirana zaštita voćnjaka i vinograda, Čakovec, Zrinski d. d, 82- 83.
- Colombin, A., 1952. L'évolution des ravageurs des cultures fruitières en fonction des climats. Cong. Pomo. France, 83^{eme} édition.
- Coracini, M., Bengtsson, M., Liblikas, I. and Witzgall, P., 2004. Attraction of codling moth males to apple volatiles. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 110: 1-10.
- Cormier, D. & Morin, Y., 2008. Les nouveaux produits pour lutter contre le carpocapse. Bulletin d'information du Réseau d'informations phytoparasitaires, 3 : 1-3.
- Cormier, F. Pelletier D. Vanoosthuysse F. Chouinard G. Bellerose. Aubery O. Lucas E. et Morin Y., 2005. « Lutter contre le carpocapse de la pomme par l'utilisation de nouveaux moyens à risques réduits ». Québec. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement, 9 p.
- Corroyer, N. et Chevelon, M., 1998. Les Lépidoptères (les tordeuses). Ed. Tec et Doc. Lavoisier, 93-96.
- Coutin et Grison., 1951. Biologie du carpocapse et avis de traitement. Le bulletin Horticole, 4: 99-102.
- Coutin, R., 1960. Le carpocapse des pommes et des poires (*Laspeyresia pomonella* L.), A.C.T.A., Paris, 48 p.
- Cui, T., Nakamura, K., Ma, L., Li, J.Z. & Kayahara, H., 2005. Analyses of arbutin and chlorogenic acid, the major phenolic constituents in oriental pear. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 3882-3887.

- Dahmani-Hamzani, N., & Baaliouamer, A., 2005. Chemical composition of the Algerian essential oil of *Artemisia herba-alba* native to Djelfa. *Rivista italiana EPPOS*, 40 : 7-13.
- Dajoz, R., 1996. Précis d'écologie. 6ème éd. Dunod, Paris, France, 420 p.
- Dajoz, R., 2006. Précis d'écologie. Ed., Dunod, Paris, 630 p.
- Dariž, J., Zezlina, I., Trdan, S., 2017. Seasonal dynamics of codling moth (*Cydia pomonella* L.) And oriental fruit moth (*Grapholita molesta* [Busck]) in an intensive apple orchard in Brkini. Conference: 13th Slovenian Conference on Plant Protection with International Participation at: Rimske Toplice (Slovenia), Volume: Zbornik predavanj in referatov, 292 -298.
- De Lima, S.G., Medeiros L.B.P., Cunha C.N.L.C., Silva D., Da D.N.C., Neto J.M., Moita L.J.A.D., Steffen R.A., Araújo B.Q. & Reis F.A.M., 2012. Chemical composition of essential oils of *Croton hirtus* L'Her from Piauí (Brazil) *Journal of Essential Oil Research*, 24: 371.
- Debouzie, D. et Thioulouse, J., 1985. Statistics to find spatial and temporal structures in populations. *in: Pest control: Operation and System Analysis in Fruit Fly Management*, Mangel Edition Berlin, 263 - 282.
- Debras, J.F., Senoussi, R., Rieux, R., Buisson, E., Dutoit, T., 2008. Spatial Distribution of an Arthropod Community In A Pear Orchard (Southern France) - Identification Of A Hedge Effect. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 127: 166-176.
- Decante, D., Van Leeuwen, C. and Van Helden. M., 2009. Influence of plot characteristics and surrounding vegetation on the intra-plot spatial distribution of *Empoasca vitis*. *Agricultural and Forest. Entomology*, 11: 377-388.
- Delassus, M., Brichet, J., Balachowsky, A., Lepigne, A., 1930. Les ennemis des cultures fruitières en Algérie et les moyens de pratiques de les combattre. Edition Recherche Agronomique. Algérie : 35-62.
- Delattre, P., Giraudoux, P., Baudry, J., Quéré, J.P., Fichet, E., 1996. Effect of landscape structure on Common Vole (*Microtus arvalis*) distribution and abundance a several space scales. *Landscape Ecology*, 11: 279-288.

- Delattre, T., Collard, B., Lavigne, C., 2019. Keep your enemies closer: enhancing biological control through individual movement rules to retain natural enemies inside the field. *Web Ecolog*, 19: 15-26.
- Dennis, R.L.H., Shreeve, T.G. and Van Dyck, H., 2003. Towards a functional resource-based concept for habitat: a butterfly biology viewpoint. *Oikos*, 102 : 417- 426.
- Deravel, J., Krier, F. & Jacques, P., 2014. Les biopesticides, compléments et alternatives aux produits phytosanitaires chimiques (synthèse bibliographique). *Biotechnology Agronomy and Society. Environment*, 18 : 220 - 232.
- Diab, A., 2012. Rôle du paysage sur la répartition et l'abondance des pucerons et de leurs prédateurs carabiques. These De Doctorat. Université Rennes 1, France, 202 p.
- Direction Des Services Agricole De Sidi Bel Abbès., 2020. Surface et production des pommes des poires dans la wilaya de Tizi-Ouzou. Bilan de statistiques agricoles, 3 p.
- Djebbar, M.R., 1984. Contribution à la biologie de *Cydia pomonella L.* dans un verger de cognassier à Beni m'hidi (Annaba), influence de la température sur le développement, efficacité comparée de pièges appâtés avec un attractif sexuel. *Memoire Ingenieur* : Université Annaba, Algerie, 49 p.
- Dlugosch, K.M., Parker, I.M., 2008. Founding events in species invasions: genetic variation, adaptive evolution, and the role of multiple introductions. *Molecular Ecology*, 17: 431-449.
- Dorn, S., Schumacher, P., Abivardi, C. and Meyhofer, R., 1999. Global and regional pest insects and their antagonists in orchards: spatial dynamics. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 73: 111-118.
- Dunning, J.B., Danielson, B.J., and Pulliam, H.R., 1992. Ecological processes that affect populations in complex landscapes. *Oikos*, 65: 169-175.
- Duru, M., Therond, O., Fares, M., 2015. Designing agroecological transitions; A review. *Agronomy Sustainable Development*, 35 :1237–1257.

- Duval, J., 1994. Le carpocapse de la pomme. Ecological agricultural projects. Ed. Agro-bio. 330p.
- Morel, M., Chouinard, G., Bellerose, S., 2013. Méthodes alternatives de protection des pommiers. Principales méthodes applicables pour le jardin domestique et la pomiculture commerciale, Canada, p142.
- Earnshaw, S., 2004. Hedgerows for California agriculture. Community Alliance for Family Farmers: Davis, Californie, USA, 70 p.
- Edgar, R.C., 2004. MUSCLE : alignement de séquences multiples avec une grande précision et un haut débit. Nucleic Acids Res. 32 1792–1797.10.1093/nar/gkh340.
- Eilenberg, J., Hajek, A.E., Lomer, C., 2001. Suggestions for unifying the terminology in biological control. BioControl, 46 : 387-400.
- El Idrissi, A., 1980. Introduction à l'étude de quelques paramètres biologiques en vue de l'établissement d'un modèle de simulation du cycle évolutif du carpocapse (*Laspeyresia pomonella* L.) (*Lepidoptera, Tortricidae*). Rapport de D.E.A. d'écologie méditerranéenne, Marseille, 88 p.
- EL Iraqui, S. E., Hmimina, M., 2016. Assessment of control strategies against *Cydia pomonella* (L.) in Morocco. Journal of Plant Protection Research, 56: 82-88.
- Eljazi, J.S., Y. Zarroug, J. Aouini, N. Salem, O. Bachrouch, E. Boushah, S. Jallouli, J.M. Ben Jemâa, and F. Limam., 2020. Insecticidal activity of *Artemisia herba-alba* and effects on wheat flour. Journal of Plant Diseases and Protection, 127: 323-333.
- Erlanson, M. & Goettel, M., 2007. Agriculture et Agroalimentaire Canada. Web (<http://www.biocontrol.ca>). Web du Centre pour la lutte antiparasitaire en Agriculture et agroalimentaire au Canada (http://www.agric.gc.ca/eng/soil/plant/canenv/pdf/cat_pdf).
- Estevez, B., Domon, G., Lucas, E., 2000. Contribution de l'écologie du paysage à la diversification des agroécosystèmes à des fins de phytoprotection. Phytoprotection, 81 : 1-14.
- Estienne, P., et Godard, A., 1970. Climatologie, Paris, Armand Colin, Collection U, 365 p.

- Ewald, J.A., Aebischer, N.J., 2000. Trends in pesticide use and efficacy during 26 years of changing agriculture in southern England. *Environmental Monitoring and Assessment*, 64: 493-529.
- Excoffier, L.G. and Schneider, S., 2005. Arlequin ver. 3.0: An integrated soft ware package for population genetics data analysis. *Evolutionary Bioinformatics Online*, 1: 47-50.
- F.A.O., 2019 : Productions agricoles, cultures primaires. Banques de données statistiques, FAO. STAT. [Http:// www.Fao.org.com](http://www.Fao.org.com).
- Fahrig, L., Baudry, J., Brotons, L., Burel, F.G., Crist, T.O., Fuller, R.J. et al., 2011. Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes. *Ecology Letters*, 14: 101–112.
- Fédération des producteurs de pommes du Québec (FPPQ)., 2007. <http://www.lapommeduquebec.ca/pages/PQQ/pfi.aspx>. Consulté le 16 mai 2021.
- Fernández, D., Cichón, L., S. Garrido, S., Ribes-Dasi, M., Avilla, J., 2010. Comparison of lures loaded with codlemone and pear ester for capturing codling moth, [*Cydia pomonella* (L.)], in apple and pear orchards under mating disruption. *Journal of Insect Science*, 10: 139.
- Ferrando, A., Manunza, A., Jordana, J., Capote, J., Pons, A., Pais, J., Delgado, T., Atoche, P., Cabrera, B., Martínez, A., Landi, V., Delgado, J.V., Argüello, A., Vidal, O., Lalueza-Fox, C., Ramírez, O., Amills, M.A., 2015. Mitochondrial analysis reveals distinct founder effect signatures in Canarian and Balearic goats. *Animal Genetics*, 46: 452-6.
- Folmer, R.H., Nilges, M., Folkers, P.J., Konings, R.N., and Hilbers, C.W., 1994. A model of the complex between single-stranded DNA and the singlestranded DNA binding protein encoded by gene V of filamentous bacteriophage M13. *Journal Molecular Biology*, 240 : 341–357.
- Forcier, E., 1998. Impact des volatils associés à la Cendre de Brulis sur la biologie reproductive de la Légionnaire noire (*Actebia fennica* Tausher). Mémoire pour l'obtention du grade de maitre en sciences, 25p.
- Forman, R. T. T. & Godron, M., 1986. *Landscape Ecology*. John Wiley and Sons, New-York.

- Franck, P., Jérôme Olivares, j., Defrance, H., Simon, S., Lavigne, C. 2008. Dispersal estimates of codling moth fertilized females in a French farm based on kinship assessments. Proceedings of the 7th International Conference on Integrated Fruit Production, Avignon 27-30 octobre 2008, France.
- Franck, P., Reyes, M., Olivares, J. and Sauphanor, B., 2007. Genetic architecture in codling moth populations: comparison between microsatellite and insecticide resistance markers. *Molecular Ecology*, 16 : 3554-64.
- Frezal, P., 1939. Notes sur le cycle évolutif de *Laspeyresia pomonella* L. dans la région de Tlemcen. *Annales de l'institut agricole et des services de recherches et d'expérimentation agricole de l'Algérie*, 1 : 151-169.
- Fritsch, E., Udorf-Spahn, K., Kienzle, J., Zebitz, C.P.W., Huber, J., 2005. Codling moth granulovirus; First indications of variations in the susceptibility of local codling moth populations. *Nachrichtenbl. Deutschen Pflanzenschutz*, 57: 29-34.
- Frouz, J., 1999. Use of soil dwelling Diptera (Insecta, Diptera) as bioindicators: a review of ecological requirements and response to disturbance *Agriculture Ecosystems and Environment*, 74: 167–186.
- Fu, Y.X., 1997. Tests statistiques de neutralité des mutations vis-à-vis de la croissance démographique, de l'auto-stop et de la sélection de fond. *Génétique*, 147.10.1093/genetics/147.2.915.
- Futuyma, D.J., Moreno, G., 1988. The evolution of ecological specialization. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 19: 207-233.
- Gaba, S., Bretagnolle, F., Rigaud, T., Philippot, L., 2014. Managing biotic interactions for ecological intensification of agroecosystem. *Frontiers in ecology and evolution*, 2: 1-9.
- Gabtini, A., 1995. Vols et dégâts du carpocapse (*Cydia pomonella* L.) (*Lepidoptera* :*Tortricidea*) dans certain verger de Tunisie. *Annales de l'INRA*, 296-309.
- Gautier, M., 2001. La culture fruitière. Les productions fruitières. Volume 2. Edition. Technique et Documentation. Paris, 665 p.

- Geibel, M., Dehmer, K.J., Forsline, P.L., 2000. Biological diversity in *Malus sieversii* populations from Central Asia. In: Geibel, M., Fischer, M., Fischer, C. (Eds.), Proceedings of the Eucarpia Symposium on Fruit Breeding and Genetics, Vols 1 and 2, 43-49 p.
- Geier, P.W., 1963. The life history of codling moth, *Cydia pomonella* L. (*Lepidoptera: Tortricidae*), in the Australian Capital Territory. Australian Journal of Zoology, 11: 323-367.
- 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, Christopher, Palmer, C., Oñate, J.J., Guerrero, I., Hawro, V., Aavik, T., Thies, C., Flohre, A., Hänke, S., Fischer, C., Goedhart, P.W., Inchausti, P., 2010. Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. Basic and Applied Ecology, 11: 97-105.
- Giraud, H., Cornille, A., et Giraud, T., 2014. Les pérégrinations du pommier domestique, 439 : 36-41.
- Gliessman, S.R., 2015. Agroecology: The ecology of sustainable food systems, 3rd ed. Boca Raton, FL: CRC Press/Taylor and Francis Group granulose appliqué par trempage des pommes sur des larves de carpocapse "*Cydia pomonella* L". Revue suisse de Viticulture, Arboriculture, Horticulture, 39 (3): 207-209.
- Gounot, M., 1969. Méthodes d'étude quantitative de la végétation. Paris : Masson et Cie, 314 p.
- Graora, D., Jerinić-Prodanović, D., 2005. Dinamika leta i štetnost jabukovog smotavca (*Cydia pomonella* L.). Biljni lekar, 33 : 615–619.
- Guermah, D. et Medjdoub Bensaada, F., 2018. Dégâts causés par le carpocapse *Cydia pomonella* L. dans deux parcelles de pommier de variété Dorset golden dans la région de Draa Ben Khedda et Golden Delicious dans la région de Sidi Naâmane (Algérie). Lebanese Science Journal, 19 : 375-387.

- Guermah, D., 2019. Bioécologie du carpocapse du pommier *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera : Tortricidae) et inventaire de la faune arthropodologique dans des vergers de pommier traités et écologique dans la région de Tizi-Ouzou (Sidi Nâamane et Draa Ben Khedda) : Thèse de doctorat en science biologique. UMMTO, Algérie, 188p.
- Guettala Frah, N., 2009. Entomofaune, Impact Economique et Bio- Ecologie des Principaux Ravageurs du Pommier dans la région des Aurès : Thèse de Doctorat D'état Université de Batna. Algérie, 168 p.
- Guiheneuf, y., 1998. Production fruitière. Synthèse agricole. Bordeaux, France, 21 p.
- Gullino, M. L., Leroux, P., Smith, C. M., 2000. Uses and challenges of novel compounds for plant disease control. *Crop Protection*, 19: 1-11.
- Gurr, G. M., Wratten, S. D. & Luna, J. M., 2003. Multi-function agricultural biodiversity: pest management and other benefits. *Basic and Applied Ecology*, 4, 107-116.
- Hansen, J.D., Drake, S.R., Moffitt, H.R., Dennis J. Albano, D.J., and Heid, M.L. 2000. Methyl Bromide Fumigation of Five Cultivars of Sweet Cherries as a Quarantine Treatment against Codling Moth. *Hort technology*, 10 : 194–198.
- Hanski, I., 1998. Metapopulation dynamics. *Nature*, 396 :41–49.
- Hariri, G.H., 1978. Les insectes économiques. Edition Aoufest, Alep, 138p.
- Harris, S.A., Robinson, J.P., Juniper, B.E., 2002. Genetic clues to the origin of the apple. *Trends in Genetics*, 18: 426-430.
- Hebert, P.D.N., Cywinska, A., Ball, S.L., & de Waard, J.R., 2003. Biological identifications through DNA barcodes. *Proceedings of the Royal Society of London*, 270: 313-321.
- Herben, T., Münzbergová, Z., Mildén, M., Ehrlén, J., Cousins, S.O.A., Eriksson, O., 2006. Long-term spatial dynamics of *Succisa pratensis* in a changing rural landscape: linking dynamical modeling with historical maps. *Journal of Ecology*, 94, 131–143.

- Hiebeler, D.E. and Morin, B.R., 2007. The effect of static and dynamic spatially structured disturbances on a locally dispersing population. *Journal of Theoretical Biology*, 246: 136-144.
- Higbee, B.S., Calkins, C.O. and Temple, C.A., 2001. Overwintering of codling moth (*Lepidoptera: Tortricidae*) larvae in apple harvest bins and subsequent moth emergence. *Journal of Economic Entomology*, 94 : 1511-1517.
- Hmimina, M., 1986. Stratégies d'occupation des cultures et d'hivernation chez *Helicoverpa armigera* Hb (*Lepidoptera, Noctuidae*): essais de modélisation prévisionnelle : Thèse de Doctorat Sciences, Université Aix Marseille, France, 183p.
- Hmimina, M., 2007. Protection Raisonnée contre les ravageurs des Arbres Fruitiers, les ravageurs des arbres fruitiers : la carpocapse des pommes et des poires, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, 158 p.
- Hmimina, M., Iraqui, S., 2014. Cycle évolutif et voltinisme des carpocapse *Cydiapomonella*L., (*Lepidoptera :Tortricidae*) exprimés par le piégeage sexuel et les degrés-jours dans la région d'Azrou. *Revue Marocain des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 3: 5–15.
- Holland, J.M., Douma, J.C., Crowley, L., James, L., Kor, L., Stevenson, D.R., & Smith, B.M., 2017. Semi-natural habitats support biological control, pollination and soil conservation in Europe. *A review Agronomy for Sustainable Development*, 37, 31.
- Holzschuh, A., Steffan-Dewenter, I., Tschardtke, T., 2008. Les paysages agricoles avec des cultures biologiques favorisent une plus grande diversité de pollinisateurs. *Oikos*117 : 354–361.
- Hothorn, T., Bretz, F., Westfall, P., 2008. Inférence simultanée dans les modèles paramétriques généraux. *Biometrical Journal*, 50: 346–363.
- Howell, J.F. & Neven, L.G., 2000. Physiological development time and zero development temperature of the codling moth (*Lepidoptera: Tortricidae*). *Environmental Entomology*, 29: 766–772.

- Hughes, J., Vogler, A.P., 2004. The phylogeny of acorn weevils (genus *Curculio*) from mitochondrial and nuclear DNA sequences: the problem of incomplete data. *Molecular and Phylogenetics and Evolution*, 32, 601–615.
- I.N.R.A.A. 2006. Deuxième rapport national sur l'état des ressources phylogénétiques. Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie- Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Alger, 92p.
- Ifoulis, A.A. and Savopoulou-Soultani, M., 2006. Use of geostatistical analysis to characterize the spatial distribution of *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae) larvae in northern Greece. *Environmental Entomology*, 35: 497-506.
- Imelouane, B., El Bachiri, A., Ankit, M., Khedid, K., Wathelet, J.P., Amhamdi, H., 2010. Essential oil Composition and antibacterial Activity of *Artemisia herba-alba* Asso Grown in Morocco. *Banats Journal of Biotechnology*, 1 :48 -55.
- ITAF., 2010. Conduite de la culture du poirier et du pommier, fiche technique. 2010.
- Jackson, M., 1979. Codling moth egg distribution on unmanaged apple trees. *Annals Entomological Society of America*, 72: 361-368.
- Jaenike, J., 1990. Host specialization in phytophagous insects. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 21:243-273.
- Jeanneret, P., Schüpbach, L., Pfiffner, L., and Walter, T., 2003. Arthropod reaction to landscape and habitat features in agricultural landscapes. *Landscape Ecology*, 18: 253-263.
- Jermey, T., 1984. Evolution of insect-host plant relationships. *American Naturalist*, 124: 609-630.
- Jiang, D., Chen, S., Hao, M., Fu, J., Ding, F., 2018. Mapping the potential global codling moth (*Cydia pomonella* L.) distribution based on a machine learning method. *Scientific Reports*, 8 : 13093.

- Jokanović, M., 2018. Effets neurotoxiques des pesticides organophosphorés et association possible avec des maladies neurodégénératives chez l'homme. *Revue Toxicologie*; 410:125-131.
- Jones, A.G. & Ardren, W. R., 2003. Methods of parentage analysis in natural populations. insect populations. *Environmental Entomology*, 35: 827-836.
- Jones, V. P., Hagler, J.R., Brunner, J.F., Baker, C.C. and Wilburn, T.D., 2006. An inexpensive immunomarking technique for studying movement patterns of naturally occurring insect populations. *Environmental Entomology*, 35 : 827-836.
- Jones, W. E., Brunner J. F. et Faubion D., 2004. Guide to Codling Moth Damage Identification. Washington state university, 2 P.
- Jonsson, M., Wratten, S. D., Landis, D. A. & Gurr, G. M., 2008. Recent advances in conservation biological control of arthropods by arthropods. *Biological control*, 42: 172-175.
- Jose, S., 2009. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: An overview. *Agroforestry Systems*, 76: 1-10.
- Joshi, N.K., Rajotte, E.G., Myers, C.T., Krawczyk, G., Hull, L.A., 2015. Development of a susceptibility index of apple cultivars for codling moth, *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae) oviposition. *Frontiers in Plant Science*, 6 : 1–13.
- Josso, C., Le Ralec, A., Raymond, L., Saulais, J., Baudry, J., Poinot, D., *et al.*, 2013. Effects of field and landscape variables on crop colonization and biological control of the cabbage root fly *Delia radicum*. *Landscape Ecology*, 28: 1697–1715.
- Juan, L.W., Lucia, A., Zerba, E.N., Harrand, L., Marco, M., Masuh, H.M., 2011. Chemical Composition and Fumigant Toxicity of the Essential Oils from 16 Species of Eucalyptus Against *Haematobia irritans* (Diptera: Muscidae) Adults. *Journal of Economic Entomology*, 104:1087-1092.
- Judd, G.J.R., Gardiner M.G.T. and Thistlewood, H.M.A., 2004. Seasonal variation in recapture of mass-reared sterile codling moth, *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera:

- Tortricidae): Implications for control by sterile insect technique in British Columbia. *Journal of the Entomological Society of British Columbia*, 101: 29-43.
- Jumean, Z., Gries, R., Unruh, T., Rowland, E., Gries, G., 2005. Identification of the larval aggregation pheromone of codling moth, *Cydia pomonella*. *Journal of Chemical Ecology*, 31: 911–924.
- Jumean, Z., Jones, E., & Gries, G., 2009. Does aggregation behavior of codling moth larvae, *Cydia pomonella*, increase the risk of parasitism by *Mastrus ridibundus*. *Biological Control*, 49: 254–258.
- Juszczak, R., Kuchar, L., Lesny, J., Olejnik, J., 2013. Climate change impact on development rates of the codling moth (*Cydia pomonella* L.) in the Wielkopolska region, Poland. *International Journal of Biometeorology*, 57 : 31-44.
- Kaplan, E.L., & Meier, P., 1958. Estimation non paramétrique des observations incomplètes. *Journal de l'association statistique américaine*, 53 : 457-481.
- Keil, S., Gu, H., Dorn, S., 2001. Response of *Cydia pomonella* to selection on mobility: laboratory evaluation and field verification. *Ecological Entomology*, 26: 495-501.
- Knight, A. and Light, D., 2005. Seasonal flight patterns of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) monitored with pear ester and codlemone-baited traps in sex pheromone-treated apple orchards. *Environmental Entomology*, 34: 1028-1035.
- Knight, A.L., 2008. Codling moth areawide integrated pest management. In *Areawide Pest Management: Theory and Implementation*, 1st ed; Koul, O., Cuperus, G., Elliott, N., Eds; CAB International: Oxfordshire, UK, 159–190.
- Knight, A.L., Howell, J.F., McDonough, L.M. & Weiss, M., 1995. Mating disruption of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) with polyethylene tube dispensers: determining emission rates and the distribution of fruit injuries. *Journal of Agricultural Entomology*, 12: 58-100.
- Korban, S.S., Skirvin, R.M., 1984. Nomenclature of the cultivated apple. *Hortscience*, 19: 177-180.

- Koul, O., Cuperus, G.W. and Elliot, N., 2008. *Areawide Pest Management: Theory and Implementation*. CAB International, Wallingford, United Kingdom.
- Kührt, U., Samietz, J., Höhn, H. et Dorn, S., 2006. Modelling the phenology of codling moth: Influence of habitat and thermoregulation. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 117: 29-38.
- Kumar, S., Stecher, G., and Tamura, K., 2016. MEGA7: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 7.0 for Bigger Datasets. *Molecular Biology and Evolution*, 33: 1870–1874.
- Labanowski, G., Nowakowski, Z., Predki, S., Dadej, J., Piotrowski, S. et Suski, Z. (1981). Quelques facteurs déterminant le niveau des dégâts causés par le carpocapse de la pomme-*Laspeyresia pomonella* (L.). *Rapports scientifiques sur les fruits (Pologne)*.
- Labrie, G., Coderre, D. et Lucas, E., 2008. Overwintering strategy of multicolored Asian lady beetle (Coleoptera: Coccinellidae): cold-free space as a factor of invasive success. *Annals of the Entomological Society of America*, 101: 860-866.
- Lacey, L., Unruh, T., 2005. Biological control of codling moth (*Cydia pomonella*, *Lepidoptera: Tortricidae*) and its role in integrated pest management, with emphasis on entomopathogens. *Vedalia*, 12 : 33–60.
- Lafon, J.P., Tharaud-Payer, C. et Levy, G., 1996. *Biologie des plantes cultivées*. 2ème Edition. Tome 1. Organisation et physiologie de la nutrition. Ed. Lavoisier. Tec et Doc. Paris. France, 227 p.
- Laget E., Guadagnini M., Plénet D., Simon S., Assié G., Billote B., et al., 2014. Guide pour la conception de systèmes de production fruitière économes en produits phytopharmaceutiques. GIS Fruits et Ministère de l’agriculture, Paris, 264 p.
- Landis, D.A., Wratten, S.D. and Gurr, G.M., 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual Review of Entomology*, 45: 175-201.
- Landolt, P.J., Brumley, J.A., Smithhisler, C.L., Biddick, L.L. and Hofstetter, R.W., 2000. Apple fruit infested with codling moth are more attractive to neonate codling moth

- larvae and possess increased amounts of (E, E)-alpha-farnesene. *Journal of Chemical Ecology*, 26: 1685-1699.
- Landolt, P.J., Suckling, D.M., Judd, G.J.R., 2007. Positive Interaction of a Feeding Attractant and a Host Kairomone for Trapping the Codling Moth, *Cydia pomonella* (L.). *Journal of Chemical Ecology*, 33: 2236–2244.
- Lavigne, G. & Romet, L., 2007. Alt'Carpo, contre le carpocapse. *Phytoma- la defense des plantes*, 52: 10-14.
- Le Coeur, D., Baudry, J., Burel, F. and Thenail, C., 2002. Why and how we should study field boundary biodiversity in an agrarian landscape context. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 89 : 23-40.
- Le Floch, E., 2008. Guide méthodologique pour l'étude et le suivi de la flore et de la végétation. Montpellier : Roselt/OSS. 174 p.
- Le Lezec, M., Thibault, B., 1986. Pollinisation du pommier et du poirier. In : *Pollinisation : poirier, pommier*, CTIFL Paris. 11-14.
- Le Ralec, A., Anselme, C., Outreman, Y., Poirié, M., Van Baaren, J., Le Lann, C. & Jacques, J.M., 2010. Evolutionary ecology of the interactions between aphids and their parasitoids. *Comptes rendus biologies*, 333 : 554-565.
- Lebreton, P., 1978. *Initiation aux disciplines de l'environnement*. Ed. Inter-éditons, Paris, 239 p.
- Lecerf, R., 2008. Suivi des changements d'occupation et d'utilisation des sols d'origine anthropique et climatique à l'échelle régionale par télédétection moyenne résolution (application à la Bretagne). Thèse de Doctorat, Université de Rennes 2. France, 327 p.
- Lee, W.J., Blair, A., Hoppin, J.A., Lubin, J.H., Rusiecki, J.A., Sandler, D.P., Dosemeci, M. and Alavanja, M.C.R., 2004. Cancer incidence among pesticide applicators exposed to chlorpyrifos in the agricultural health study. *Journal of the National Cancer Institute*, 96: 1781-1789.

- Leigh, J.W., Bryant, D., 2015. PopART: full-feature software for haplotype network construction. *Methods in Ecology and Evolution*, 6 :1110–1116.
- Levin, A.Y., 1969. Non-oscillation des solutions de l'équation. *Uspekhi Matematicheskikh Nauk. Enquêtes mathématiques russes*, 24 : 43-99.
- Li, Y., Duan, X., Qiao, X., Li, X., Wang, K., Men, Q., & Chen, M., 2015. Mitochondrial DNA revealed the extent of genetic diversity and invasion origin of populations from two separate invaded areas of a newly invasive pest, *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae) in China. *Bulletin of Entomological Research*, 105: 485–496.
- Light, D.M., Knight, A.L., Henrick, C.A., Rajapaska, D., et Lingren, B., 2001. A pear-derived kairomone with pheromonal potency that attracts male and female codling moth, *Cydia pomonella* (L.) *Naturwissenschaften*, 88: 333-338.
- Linder, C.H., Kehrl, P., Höhn, H., 2010. *Revue suisse Viticulture. Arboriculture. Horticulture*, 42: 22-23.
- Liu, Y.B., Xiangbing Yang, Gregory Simmons. 2016. Efficacy of Nitric Oxide Fumigation for Controlling Codling Moth in Apples. *Insects*, 7:1-9.
- Lombarkia, N., Derridj, S., 2002. Incidence of apple fruit and leaf surface metabolites on *Cydia pomonella* oviposition. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 104: 79 - 87.
- Lombarkia, N., Derridj, S., Ioriatti, C. et Bourguet, E., 2013. Effect of a Granulovirus Larvicide, Madex, on Egg-Laying of *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera: Tortricidae) Due to Changes in Chemical Signalization on the Apple Leaf Surface. *African Entomology*, 21 :196-208.
- Long, G., 1958. Description d'une méthode linéaire pour l'étude de l'évaluation de la végétation *Bulletin Service. Carte phytogéographie*, 3 : 107-128.
- Luby, J., 2003. Taxonomic classification and history. In: Ferree D, Warrington I, eds. *Apples, botany, production and uses*. Wallingford, UK: CABI Publishing, 1–14.
- Lucas, P., 2007. Le concept de la protection intégrée des cultures. *Innovations Agronomiques*, 1: 15-21.

- MacLellan, C., 1962. Mortality of codling moth eggs and young larvae in an integrated control orchard. *The Canadian Entomologist*, 94: 655-666.
- Maddison, D.R., Maddison, W.P., 2005. MacClade, version 4.08.
- Mani, E. and Wildbolz, T., 1977. The dispersal of male codling moths (*Laspeyresia Pomonella* L) in Upper Rhine Valley. *Journal of Applied Entomology*, 83 : 161-168.
- Massonnet, C., 2004. Variabilité architecturale et fonctionnelle du Système aérien chez le pommier (*Malus domestica* Borkh.) : comparaison de quatre cultivars par une Approche de modélisation structure-fonction : Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier, 281p.
- Matar, M.M., 2013. Déterminants du parasitisme larvaire du carpocapse du pommier au Sud Est de la France. Doctorat Sciences agricoles, Université d'Avignon, 170 p.
- Maudsley, M.J., 2000. A review of the ecology and conservation of hedgerow invertebrates in Britain. *Journal of Environmental Management*, 60: 65–76.
- Mazyad, S. A., and Soliman, M., 2001. Laboratory evaluation of the insecticidal activity of camphor on the development of *Oestrusovis* larvae. *Journal of the Egyptian Society Parasitology*, 31:887-892.
- McGuffin, G.K., Scott, I.M., Bellerose, S., Chouinard, G., Cormier, D., Scott- Dupree, C., 2014. Susceptibility in field populations of codling moth, *Cydia pomonella* (L.) (*Lepidoptera: Tortricidae*), in Ontario and Quebec apple orchards to a selection of insecticides. *Pest Management Science*, 71: 234-242.
- McKAY, I. J., 1991. Cretaceous Promecognathinae (*Coleoptera: Carabidae*) : a new genus, phylogenetic reconstruction and zoogeography. *Biological Journal of the Linnean Society*, 44: 1-12.
- McLaughlin, A., 1995. The impact of agricultural practices on biodiversity. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 55 : 201-212.
- Meni Mahzoum, A., 2019. Caractérisation morphométrique de trois variétés de pommier (*Malus domestica* Borkh.) dans trois zones agroécologiques du Maroc, leur sensibilité

- au carpocapse (*Cydia pomonella* L.) et lutte non polluante contre ce ravageur : Thèse de doctorat, Faculté des Sciences et Techniques de Fès, Maroc, 184p.
- Meni Mahzoum, A., Lazraq, A., El Ghadraoui, L., Rais, C., Louahlia, S., 2017. Study of the dynamics of codling moth larvae (*Cydia pomonella* L.) in three varieties of Apple (*Malus domestica* Borkh.) in the region of Laanoucer (Morocco). *Research Journal of Pharmaceutical Biological and Chemical Sciences*, 8: 696-703.
- Meraner, A., Brandstatter, A., Thaler, R., Aray, B., Unterlechner, M., Niederstatter, H., Parson, W., Zelger, R., Dalla, V. J., & Dallinger, R., 2008. Molecular phylogeny and population structure of the codling moth (*Cydia pomonella*) in Central Europe: I. Ancient clade splitting revealed by mitochondrial haplotype markers. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 48 : 825–837.
- Mesmin, X., 2018. La régulation naturelle des insectes ravageurs des cultures légumières et ses conséquences sur la production : quantification du service fourni et recherche de leviers pour son intensification. Thèse, Université de Rennes 1, Institut de génétique, environnement et protection des plantes. 279p.
- Messaoudi, S., 1997. Etude éco-biologique du carpocapse des pommes et des poires (*Laspeyresia pomonella* L.) (Lepidoptera, Tortricidae), estimation économique des dégâts et possibilité d'organisation d'une lutte raisonnée dans un verger de pommier dans la région d'Inoughissen (Batna) : Memoire Ingenieur Institut Agronomique. Université Batna, 55p.
- Meynard, J.M., Dore T., and Lucas P., 2003. Agronomic approach: cropping systems and plant diseases. *Comptes Rendus Biologies*, 326 : 37-46.
- Mighri, H., Hajlaoui, H., Akrouf, A., Najjaa, H. & Neffati, M., 2010. Antibacterial and antioxidant activities of *Artemisia herba-alba* essential oil cultivated in Tunisian arid zone. *Chimie*, 13: 380-386.
- Milá, B., Girman, D.J., Kimura, M., Smith, T.B., 2000. Genetic evidence for the effect of a postglacial population expansion on the phylogeography of a North American songbird. *Proceedings of the Royal Society*, 267:1033-1040.

- Miliczky, E. R. & Horton, D. R., 2005. Densities of beneficial arthropods within pear and apple orchards affected by distance from adjacent native habitat and association of natural enemies with extra-orchard host plants. *Biological Control*, 33 : 249–259.
- Millán de la Peña, N., Butet, A., Delettre, Y., Morant, P., Burel, F., 2003. Landscape context and carabid beetles (Coleoptera: Carabidae) communities of hedgerows in western France. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 4: 59-72.
- Mills, N., 2005. Selecting effective parasitoids for biological control introductions: codling moth as a case study. *Biological control*, 34 : 274-283.
- Ministère de l’Agriculture et du Développement Rural en Algérie., 2020. Productions du pommier et de poirier en Algérie, 3p.
- Moffitt, H.R., Burditt, A.K., Jr. 1989. Low-temperature storage as a postharvest treatment for codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) eggs on apple. *Journal of Economic Entomology*, 82:1679–1681.
- Monetti, L., Fernandez, N., 1995. Seasonal population dynamics of the european red mite (*Panonychus ulmi*) and its predator *Neoseiulus californicus* in a sprayed apple orchard in Argentina (Acari: Tetranychidae: Phytoseiidae), *Acarologia*, 36: 325-331.
- Morandin, L. A., & Kremen, C., 2013. Hedgerow restoration promotes pollinator populations and exports native bees to adjacent fields. *Ecological Applications*, 23 : 829- 839.
- Morel, M., Chouinard, J., & Bellerose, S., 2013 : Méthodes de protection de pommier. Ed. IRDA. Paris, 100 P.
- Morère, J.L., Pujol, R., 2003. Dictionnaire raisonné de biologie. Paris : Frison-Roche.
- Mossa, A.T. H., 2016. Green Pesticides : Essential Oils as Biopesticides in Insect-pest Management. *Journal of Environmental Science and Technology*, 9 : 354–378.
- Moussi, A., 2012. Analyse systématique et étude bio-écologique de la faune des acridiens (Orthoptera, Acridomorpha) de la région de Biskra : Thèse de doctorat. Université de Constantine. Algérie. 112 p.

- Muir, L., Kay, B.H., 1998. *Aedes aegypti* survival and dispersal estimated by mark-release-recapture in northern Australia. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 58: 277–282.
- Murray, K.E., Huelin, F.E., Davenport, J.B., 1964. Occurrence of farnesene in the natural coating of apples. *Nature*, 204:80.
- Nasser Al-wahaibi, L., Mahmood, A., Khan, M., Alkhathlan, H.Z., 2020. Comparative study on the essential oils of *Artemisia judaica* and *A. herba-alba* from Saudi Arabia. *Arabian Journal Chemistry*, 13 : 2053-2065.
- Office National Météorologique., 2017. Données climatiques dans la wilaya de Sidi Bel Abbas. Bilan de statistiques climatiques, 8p.
- O'Neill, R.V., 2001. Is it time to bury the ecosystem concept? (with full military honours, of course!). *Ecology*, 82 : 3275-84.
- Oukabli, A., 2004. Le pommier, une culture de terroir en zones d'altitude. Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA. Meknès, Rabat, 4p.
- Pajač, I., Pejić, I., Barić, B., 2011. Codling Moth, *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) – Major Pest in Apple Production: An Overview of its Biology, Resistance, Genetic Structure and Control Strategies. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 76 : 87-92.
- Panneton, B., Vincent, C. & Fleurat-Lessard, F., 2000. Place de la lutte physique en phytoprotection, Paris, 47 p.
- Pelletier, F., Cormier, D., Tanguay, N., Choquette, D., 2011. Confusion sexuelle du carpocapse. Essais dans les vergers québécois. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement, 1-18.
- Pharmacopée Européenne, 2005. 5ème édition du 1er Janvier 2005 « Direction Européenne de la qualité du médicament » European directorate for the quality of medicine and health care.
- Pinto, J., Koopmanschap, A., Platner G.R., Stouthame, R., 2002. The North American *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) parasitizing certain tortricidae

- (Lepidoptera) on apple and pear, with ITS2 DNA characterizations and description of a new species. *Biological Control*, 23: 134-142.
- Pratt C., 1990. Apple trees: morphology and anatomy. *Horticultural Reviews*, 12: 265-305.
- Preti, M., Knight, A. L., Favaro, R., Basoalto, E., Tasin, M., & Angeli, S., 2021. Comparison of new kairomone-based lures for *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) in Italy and USA. *Insects*, 12: 72.
- Prokopy, R.J., Mason, J.L., Christie, M., Wright, S.E., 1995. Arthropod pest and natural enemy abundance under second-level versus firstlevel integrated pest management practices in apple orchards: a 4-year study. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 57 : 35- 47.
- Pszczolkowski, M.A. et Brun, J.J., 2002. Perspectives d'utilisation du glutamate monosodique pour l'amélioration de la toxicité du Spinosad contre les nouveau-nés de la pyrale de la pomme. *Phytoparasitique*, 30: 243– 252.
- Pugazhvendan, S.R., Ross, P.R., Elumalai, K., 2012. Insecticidal and repellent activities of plants oil against stored grain pest, *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae), *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*, 2: 412-415.
- Purvis, G., Fadl, A., 2002. The influence of cropping rotations and soil cultivation practice on the population ecology of carabids (Coleoptera: Carabidae) in arable land. *Pedobiologia*, 46: 452-474.
- Pywell, R. F., James, K. L., Herbert, I., Meek, W. R., Carvell, C., Bell, D., & Sparks, T. H., 2005. Determinants of overwintering habitat quality for beetles and spiders on arable farmland. *Biological Conservation*, 123: 79-90.
- Qian, G.Z., Liu, L.F., Tang, G.G., 2010. Proposal to conserve the name *Malus domestica* against *M. pumila*, *M. communis*, *M. frutescens*, and *Pyrus dioica* (Rosaceae). *Taxon*, 59: 650-652.
- Quinet, M., 2013. Equilibre entre pollinisation et parthénocarpie pour la production de fruits chez le poirier commun (*Pyrus communis* L;). Conférence. *Probio*, 57-75.

- R Core Team. 2016. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>.
- Rabbinge, R., Ward, S.A., Van laar, H.H., 1989. Simulation and Systems Management in Crop Protection. Pudoc, Wageningen, 420p.
- Ramade, F., 1984. Elément d'écologie- Ecologie fondamentale. Ed. Mc Graw- Hill, Paris, 397 p.
- Ratnadass, A., Fernandes, P., Avelino, J., Habib, R., 2012. Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32: 273–303.
- Ratnasingham, S. and Hebert, P.D.N., 2007. BOLD: the barcode of life data system (www.barcodinglife.org). *Molecular Ecology Notes*, 7: 355–364.
- Ravigné, V., Dieckmann, U., Olivieri, I., 2009. Live where you thrive: Joint evolution of habitat choice and local adaptation facilitates specialization and promotes diversity. *American Naturalist*, 174:141-169.
- Reardon B.J., Sumerford D.V. and Sappington T.W., 2006. Impact of trap design, windbreaks, and weather on captures of European corn borer (Lepidoptera: Crambidae) in pheromone-baited traps. *Journal of Economic Entomology*, 99: 2002-2009.
- Reed, H.C., Landolt, P.J., 2002. Attraction of mated female codling moths (*Lepidoptera: Tortricidae*) to apples and apple odor in a flight tunnel. *Florida Entomologist*. 85: 324–329.
- Reed-Larson, D.A.& Brown, J.J., 1990. Embryonic castration of the codling moth, *Cydia pomonella* by an endoparasitoid, *Ascogaster quadridentata*. *Journal of Insect Physiology*, 36: 111–118.
- Reyes, M., Barros-Parada, W., Ramirez, C.C., Fuentes-Contreras, E., 2015. Organophosphate resistance and its main mechanism in populations of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) from Central Chile. *Journal of Economic Entomology*, 108: 1–9.

- Reyes, M., Franck, P., Charmillot, P.J., Ioriatti, C., Olivares, J., Pasqualini, E., Sauphanor, B., 2007. Diversity of insecticide resistance mechanisms and spectrum in European populations of the codling moth, *Cydia pomonella*. *Pest Management Science*, 63 : 890-902.
- Ricci B., Lavigne C., Frank P., Sauphanor B., Toubon J.- F. & Bouvier J. C., 2007. Impact du paysage sur les populations de carpocapse, ravageur des pommiers et poiriers, à l'échelle d'un bassin de production. INRA. Avignon- Unité plantes et systèmes de cultures horticoles, 6 P.
- Ricci, B., 2009. Dynamique spatiale et dégâts de carpocapse dans la basse vallée de la Durance : Thèse de Doctorat. Ecole doctorale SIBAGHE. INRA Avignon, 224p.
- Ricci, B., Franck, P., Valantin-Morison, M., Bohan, DA. & Lavigne, C., 2013. Les paramètres des populations d'espèces et les caractéristiques du paysage affectent-ils la relation entre l'abondance de la population locale et la quantité d'habitat environnant Complexité écologique, 15 : 62–70.
- Ricci, B., Pierre, F., Jean-Charles, B., Daniel, C., and Claire L., 2011. Effects of Hedgerow Characteristics on Intra-Orchard Distribution of Larval Codling Moth. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 140: 395–400.
- Riedl, H. & Croft, B.A., 1978. The effects of photoperiod and effective temperatures on the seasonal phenology of the codling moth (Lepidoptera: Tortricidae). *Canadian Entomologist*, 110: 455–470.
- Riedl, H., Croft, B.A. and Howitt, A.J., 1976. Forecasting codling moth phenology based on pheromone trap catches and physiological time models. *Canadian Entomologist*, 108: 449-460.
- Robinson, J.P, Harris, S.A, Juniper, B.E., 2001. Taxonomy of the genus *Malus* Mill. (Rosaceae) with emphasis on the cultivated apple, *Malus x domestica* Borkh. *Plant Systematics Evolution*, 226: 35–58.

- Rock, G.C. & Shaffer, P.L., 1983. Developmental rates of codling moth (Lepidoptera: Olethreutidae) reared on apple at four constant temperatures. *Environmental Entomology*, 12 : 831–834.
- Rodriguez-Saona, C., Parra, L., Quiroz, A. et Isaacs, R., 2011. Variation in highbush blueberry floral volatile profiles as a function of pollination status, cultivar, time of day and flower part: implications for flower visitation by bees. *Annals of Botany*, 1-14.
- Rogers, D.J., Bycroft, B.L., Somerfield, K.G., Brash, D.W., Klementz, D., Cole, L.M., Sharma, N., Taylor, N.M., Page, B.B.C., Connolly, P.G. and Waddell, B.C., 2013. Efficacy of phosphine fumigation of apples for codling moth (*Cydia pomonella*) disinfestations. *New Zealand Plant Protection*, 66: 75-81.
- Ronquist, F., Klopfstein, S., Vilhelmsen, L., Schulmeister, S., Murray, D.L., Rasnitsyn, A.P., 2012. A total-evidence approach to dating with fossils, applied to the early radiation of the Hymenoptera. *Systematics Biology*, 61: 973-999.
- Rozsypal, J., Košťál, V., Zahradníčková, H., and Šimek, P., 2013. Overwintering Strategy and Mechanisms of Cold Tolerance in the Codling Moth (*Cydia pomonella*). *PLoS One*, 8: 0061745.
- Rusch, A., Binet, D., Delbac, L., Thiéry, D., 2016. Local and landscape effects of agricultural intensification on Carabid community structure and weed seed predation in a perennial cropping system. *Landscape Ecology*, 1–12.
- Ryan, S.F., Lombaert, E., Espeset, A., Vila, R., Talavera, G., Dincă, V., ...& Shoemaker, D., 2019. L'histoire de l'invasion mondiale du papillon ravageur agricole *Pieris rapae* révélée grâce à la génomique et à la science citoyenne. *Actes de l'Académie nationale des sciences*, 116: 20015-20024.
- Sæthre, M.G., and Hofsvang, T., 2002. Effect of Temperature on Oviposition Behavior, Fecundity, and Fertility in Two Northern European Populations of the Codling Moth (Lepidoptera: Tortricidae). *Environmental Entomology*, 31 : 804–815.

- Salamin, C., Charmillot, P.J., Pasquier, D., Peeva, P., 2007. Efficacité du virus de la granulose appliqué par trempage des pommes sur les larves de carpocapse *Cydia pomonella*. *Rev Suisse de Viticulture Arboriculture Horticulture*, 3: 207-209.
- Sanchez, E., Soto J. M., Uvalle, J. X., Hernández, A. P., Ruiz, J. M. and Romero, L., 2001. Chemical treatments in Golden Delicious spur" fruits in relation to russetting and nutritional status, *Journal of plant nutrition*, 24: 191–202.
- Sansavini, S., 1997. Integrated fruit production in Europe: research and strategies for a sustainable industry. *Scientia Horticulturae*, 68: 25–36.
- Sauer, A., Frisch, E., Undorf-Spahn, K., Jehle, J.A., 2014. A novel mode of resistance of codling moth against *Cydia pomonella* granulovirus, 47th Annual Meeting of the Society for Invertebrate Pathology. Mainz, Allemagne. 4-7 août 2014.
- Sauphanor B., Berling M., Toubon J.F., Reyes M., Delnatte J., 2006. Carpocapse des pommes : cas de résistance au virus de la granulose en vergers biologiques. *Phytoma*, 590 : 24-27.
- Sauphanor, B., Brosse, V., Bouvier, J-C., Speich, P., Micoud, A. et Martinet, C., 2000. Monitoring resistance to diflubenzuron and deltamethrin in French codling moth populations (*Cydia pomonella* L.). *Pest Management Science*, 56 : 74-82.
- Sauphanor, B., Simon, S., Boisneau, C., Capowiez, Y., Rieux, R., Bouvier, J.-C., Defrance, H., Picard, Camille, & Toubon, J.-F., 2009. Protection phytosanitaire et biodiversité en agriculture biologique. Le cas des vergers de pommiers. *Innovations Agronomiques*, 4: 217-228.
- Schmidt, M. H., & Tschirntke, T., 2005. Landscape context of sheetweb spider (Araneae: Linyphiidae) abundance in cereal fields. *Journal of Biogeography*, 32: 467-473.
- Schmidt, M. H., Lauer, A., Purtauf, T., Thies, C., Schaefer, M., & Tschirntke, T., 2003. Relative importance of predators and parasitoids for cereal aphid control. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 270: 1905-1909.
- Schoonhoven, L.M., Jermy, T., van Loon, J.J.A., 1998. *Insect-plant biology: From physiology to evolution*. Chapman & Hall, London. 409 p.

- Schroder, B., Seppelt, R., 2006. Analysis of pattern–process interactions based on landscape models—overview, general concepts, and methodological issues. *Ecology Modeling*, 199: 505–16.
- Sciarretta, A. and Trematerra, P., 2006. Geostatistical characterization of the spatial distribution of *Grapholita molesta* and *Anarsia lineatella* males in an agricultural landscape. *Journal of Applied Entomology*, 130: 73-83.
- Sciarretta, A., Zinni, A., Mazzocchetti, A. and Trematerra, P., 2008. Spatial analysis of *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae) male population in a Mediterranean agricultural.
- Scribe, C., 1999. Le poirier, illustré par Thierry Desailly (Actes sud), 1^{ère} édition-France. 91.
- Sellami, M., 1979. Contribution à l'étude du carpocapse des pommes et des poires (*Laspeyresia pomonella* L.) Lepidoptera, Tortricidae dans la Mitidja. ENSA, Alger, 54 p.
- Seltzer, P., 1946. Le climat de l'Algérie, Recueil de données météo. Institut de technologies, Alger, 219 p.
- Sessions, J.E., 2011. By sword and plow: France and the Conquest of Algeria. Ithaca: Cornell University Press, London, 365 p.
- Sevacherian, V., Stern, V.M., Mueller, A.J., 1977. Heat accumulation for timing *Lygus* control measures in a safflower-cotton complex. *Journal of economic Entomology*, 7 : 399- 402.
- Severac, G., 2012. Les filets Alt'Carpo, les techniques alternatifs. *Agricultures et territoires*, 4 p.
- Sharma, S., Kooner, R., Arora, R., 2017. Insect Pests and Crop Losses. In: Arora, R., Sandhu, S. (eds) *Breeding Insect Resistant Crops for Sustainable Agriculture*. Springer Nature Singapore, 45-66.
- Silva, G., Souza, T. M., Barbieri, R. L. & Costa de Oliveira, A., 2014. Origin, domestication, and dispersing of pear (*Pyrus* spp.). *Advances in Agriculture*, 2014: 8.

- Simon, S., Bouvier, J.-C., Debras, J.-F., Sauphanor, B., 2010. Biodiversity and pest management in orchard systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30:139–152.
- Simon, S., Jannoyer-Lesueur, M., 2014. Quelle intensification agro-écologique pour contrôler les bioagresseurs dans les systèmes horticoles ? Contexte et cadre de réflexion. *Agritrop CIRAD*, France, 10 p.
- Simon, S., Marliac, G., Capowiez, Y., 2015. Quelles pratiques agroécologiques pour contrôler les bioagresseurs dans un système pérenne, le verger de pommiers ? *Innovations Agronomiques*, INRAE, 29-40.
- Soliman, M.M.M., 2007. Phytochemical and toxicological studies of *Artemisia L.* (Compositae) essential oil against some insect pests. *Arch. Phytopathol. Plant. Protect*, 40 : 128-138.
- Soltani, N., Semir, H. et Djebbar, M.R., 1986. Contribution à l'étude de *Cydia pomonella (L.) (Lepidoptera, Tortricidae)*, essai comparatif des pièges et cycle évolutif à Annaba. *Annales de l'INA*, 10 : 196-206.
- Staley, J.T., Sparks, T.H., Croxton, P.J., Baldock, K.C., Heard, M.S., Hulmes, S., Hulmes, L., Peyton, J., Amy, S.R., & Pywell, R.F., 2012. Long-term effects of hedgerow management policies on resource provision for wildlife. *Biological Conservation*, 145: 24-29.
- Stinner, R.E., Barfield, C. S., Stimac, J. L. & Dohse, L., 1983. Dispersal and movement of insect pests. *Annual review of entomology*, 28: 319-335.
- Stoeckli, S., Hirschi, M., Spirig, C., Calanca, P., Rotach, M. W. and Samietz, J., 2012. Impact of climate change on voltinism and prospective diapause induction of a global pest insect - *Cydia pomonella (L.)*, *PLoS ONE*, 7: 35723.
- Stoeckli, S., Mody, K., Dorn, S., 2008. Influence of canopy aspect and height on codling moth (*Lepidoptera: Tortricidae*) larval infestation in apple, and relationship between infestation and fruit size. *Journal of Economic Entomology*, 101: 81-89.

- Stoeckli, S., Mody, K., Gessler, C., Christen, D., Dorn, S., 2009. Quantitative trait locus mapping of resistance in apple to *Cydia pomonella* and *Lyonetia clerkella* and of two selected fruit traits. *Annals of Applied Biology*, 154: 377- 387.
- Stotz, H.U., Kroyman, J., Mitchell-Olds, T., 1999. Plant-insect interactions. *Current Opinion in Plant Biology*, 2: 268-272.
- Sutherland, O.R.W. & Hutchins, R.F.N., 1972. α -Farnesene, a natural attractant for codling moth larvae. *Nature*, 239 : 170.
- Sutherland, O.R.W., Wearing, C.H. et Hutchins, R.F.N., 1977. Production d' α -farnésène, attractif et stimulant de la ponte du carpocapse, par valorisation des fruits de dix variétés de pommiers. *Journal of Chemical Ecology*, 3: 625–631.
- Sutter, L., Albrecht, M., & Jeanneret, P., 2018. Landscape greening and local creation of wildflower strips and hedgerows promote multiple ecosystem services. *Journal of applied ecology*, 55: 612-620.
- Suzette, P., Galinato., R., Karina Gallardo., David, M.G., and Willett, M., 2018 Economic Impact of a Potential Expansion of Pest Infestation: Apple Maggot in Washington State. *Hort Technology*, 28: 651–659.
- Szentkiralyi, F., and Kozar, F., 1991. How many species are there in apple insect communities? Testing the resource diversity and intermediate disturbance hypothesis. *Ecological Entomology*, 36: 225–230.
- Tajima, F., 1989. Méthode statistique pour tester l'hypothèse de mutation neutre par polymorphisme de l'ADN. *La génétique*, 123: 585–95.
- Taki, H., Kevan P.G., and Ascher, J.S., 2007. Landscape effects of forest loss in a pollination system. *Landscape Ecology*, 22 : 1575-1587.
- Tassin, J., 2012. Un agrosystème est-il un écosystème ? *Cahier Agricultures*, 21 : 57-63.
- Teixeira, S., Cambon-Bonavita, M.A., Serrão, E.A., Desbruyeres, D., Arnaud-Haond, S., 2011. Recent population expansion and connectivity in the hydrothermal shrimp *Rimicarisexoculata* along the Mid-Atlantic Ridge. *Journal of Biogeography*, 2010:1–11.

- Templeton, A.R., Crandall, K.A., Sing, C.F., 1992. A cladistic analysis of phenotypic associations with haplotypes inferred from restriction endonuclease mapping. III. Cladogram estimation. *Genetics*, 132: 619–633.
- Thaler, R., Brandstatter, A., Meraner, A., Chabicovski, M., Parson, W., Zelger, R., Dalla, V. J. & Dallinger, R., 2008. Molecular phylogeny and population structure of the codling moth (*Cydia pomonella*) in Central Europe: II. AFLP analysis reflects human-aided local adaptation of a global pest species. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 48: 838–849.
- Therond, O., Tichit, M., Tibi, A., et al., 2017. Volet "écosystèmes agricoles" de l'Évaluation Française des Ecosystèmes et des Services Écosystémiques. Rapport d'étude, Inra (France), 966 p.
- Thies, C., Steffan-Dewenter, I. and Tscharntke, T., 2003. Effects of landscape context on herbivory and parasitism at different spatial scales. *Oikos*, 101: 18-25.
- Thomson, D., Brunner, J., Gut, L., Judd, G. et Knight, A., 2001. Ten years implementing codling moth mating disruption in the orchards of Washington and British Columbia: starting right and managing for success! *International organisation for Biological and Intergrated Control*, 24: 23-30.
- Timm, A.E., Warnich, L., Geertsema, H., 2008. Morphological and molecular identification of economically important Tortricidae (Lepidoptera) on deciduous fruit tree crops in South Africa. *African Entomology*, 16 : 209-219.
- Tonelli, N. and Gallouin, F., 2013. Des fruits et des graines comestibles du monde entier. Lavoisier, 15 oct. 736 p.
- Tortosa, O.E., Carmona, A., Martínez, E., Manzano, P., Giardina, M., 2014. Liberación y establecimiento de *Mastrus ridens* (Hymenoptera : Ichneumonidae) para el control de *Cydia pomonella* (Lepidoptera : Tortricidae) en Mendoza Argentina. *Revista de la Sociedad Entomologica Argentina*, 73 : 109-118.

- Toubon, J.F., Sauphanor, B., de Sainte Marie, C., Plénet, D., Habib, R., 2001. Status of integrated production in French apple orchards. *Integrated Fruit Protection International Organisation for Biological Control*, 24: 27–31.
- Trematerra, P., Gentile, P. and Sciarretta, A., 2004. Spatial analysis of pheromone trap catches of codling moth (*Cydia pomonella*) in two heterogeneous agro-ecosystems, using geostatistical techniques. *Phytoparasitica*, 32: 325-341.
- Trembly, R. M., 1998. Mating disruption for controlling the codling moth, *Cydia pomonella* (L.) (*Lepidoptera: Tortricidae*), in organic apple production in southwestern Ontario. *Canadian Entomology*, 127: 493-505.
- Trillot, M., Masseron, A., Mathieu, V., Bergougnaux, F., Hutin, C. et Yves, L., 2002. Le pommier. Centre technique interprofessionnelle des fruits et légumes. (Ctifl). Edition Lavoisier. Paris, 287 p.
- Trimble, R. M. and Vickers, P.M., 2000. Evaluation of border sprays for managing the codling moth (*Tortricidae: Lepidoptera*) and the apple maggot (*Tephritidae: Diptera*) in Ontario apple orchards. *Journal of Econ Entomology*, 93: 777-787.
- Tsao, H., Coats, J.R., 1995. Starting from nature to make better insecticides. *Chemical Technology*, 25:23-28.
- Tscharntke, T., Bommarco, R., Clough, Y., Crist, T.O., Kleijn, D., Rand, T.A., Tylianakis, J.M., van Nouhuys, S. And Vidal, S., 2007. Conservation biological control and enemy diversity on a landscape scale. *Biological Control*, 43: 294-309.
- Turner, M.G., Gardner, R.H., O'Neill, R.V., 2001. *Landscape Ecology in theory and practice: Pattern and process*, New York, 401 p.
- Tyson, R., Thistlewood, H. and Judd, G.J.R., 2007. Modelling dispersal of sterile male codling moths, *Cydia pomonella*, across orchard boundaries. *Ecological Modelling*, 205: 1-12.
- Urban, D. and Keitt, T., 2001. *Landscape Connectivity: A Graph-Theoretic Perspective*. *Ecology*, 82: 1205-1218.

- Van den Bosch, R., T.F., Leigh, L.A., Falcon, V.M., Stern, D., Gonzales. et K.S., Hagen., 1971. The developing program of integrated control of cotton pests in California, 377-394 p.
- Vavilov, N.I., 1930. Wild progenitors of the fruit trees of Turkistan and the Caucasus and the problem of the origin of fruit trees. In: The report and proceedings of the 9th International Horticultural Congress, London. Royal Horticultural Society, London, 271-286 p.
- Vieira, J., Morales-Hojas, R., Santos, R. A. et Vieira, C. P., 2007. Different positively selected sites at the gametophytic self-incompatibility pistil S-RNase gene in the Solanaceae and Rosaceae (Prunus, Pyrus, and Malus). *Journal of Molecular Evolution*, 65 : 175-185.
- Vieira, J., Morales-Hojas, R., Santos, R. A. et Vieira, C. P., 2007. Different positively selected sites at the gametophytic self-incompatibility pistil S-RNase gene in the Solanaceae and Rosaceae (Prunus, Pyrus, and Malus). *Journal of Molecular Evolution*, 65: 175-185
- Villesen, P., 2007. FaBox: an online toolbox for fasta sequences. *Molecular Ecology Notes*, 7: 965–968.
- Vinatier, F., Lescourret, F., Duyck, P.F., Tixier, P., 2012. From IBM to IPM: Using individual-based models to design the spatial arrangement of traps and crops in integrated pest management strategies. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 146 : 52-59.
- Viret, O., Schaub, L., Linder, C. et Charmillot, P. J., 2003. Guide de traitements (Pommier) : « Carpocapse des pommes, poires et abricots (*Cydia pomonella*L.) ». *Revue Suisse Viticulture Arboriculture Horticulture*, 35 : 26-47.
- Voudouris, C.Ch., Sauphanor, B., Franck, F., Reyes, M., Mamuris, Z, Tsitsipis, J.A., Vontas, J., Margaritopoulos, J.T., 2011. Insecticide resistance status of the codling moth *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) from Greece. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 100: 229-238.

- Vreysen, M.J.B., Robinson, A.S. and Hendrichs, J., 2007. Area-wide Control of Insect Pests: From Research to Field Implementation. Springer, Dordrecht, The Netherlands, 789 p.
- Walali, I.D., Skiredj, A., 2003. L'abricotier, le prunier, le poirier et le pommier. Bulletin Mensuel d'Information et de Liaison du PNTTA. Transfert de Technologie en Agriculture. Ministère de l'Agriculture et du Développement rural, N° 107.
- Wan, F.H., Yin, C.L., Tang, R., et al., 2019. A chromosome-level genome assembly of *Cydia pomonella* provides insights into chemical ecology and insecticide resistance. *Nature Communications*, 10: 1–14.
- Wang, S., Yin, X., Tang, J., Hansen, J., 2004. Thermal resistance of different life stages of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae). *Journal of Stored Products Research*, 40: 565–574.
- Wang, Z., Wu, J., Shang, H. et Cheng, J., 2011. Landscape connectivity shapes the spread pattern of the rice water weevil: A case study from Zhejiang, China. *Environmental Management*, 47: 254-262.
- Wearing, C.H., Hansen, J.D., Whyte, C., Miller, C.E. et Brown, J., 2001. The potential for spread of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) via commercial sweet cherry fruit: a critical review and risk assessment. *Crop Protection*, 20: 465-488.
- Welter, S., Cave, F., 2007. Pheromone mating disruption of *Cydia pomonella* (L.) in California pears: Balancing dispenser emission rates and program performance. *International Organisation for Biological Control West Palaerctic Regioanal Section*, 30: 123-124.
- Welter, S.C., 2006. Codling Moth (*Cydia pomonella*) and its Control. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 47 : 412- 443.
- Wickham, H., 2016. Ggplot 2 : graphiques élégants pour l'analyse des données. New York: Springer-Verlag.
- Wildbolz, T., 1965. Ueber die Bedeutung det temperaturesumme und anderer Witterungstaden bei der Apfelwicklerprognose. *Schweiz. Z. Obst-u. Weinb*, 101: 572-579.

- WORLD Health Organization, 2005. Guidelines for laboratory and field testing of mosquito larvicides. Geniva, 41p.
- Wyss, E., 1996. The effects of artificial weed strips on diversity and abundance of the arthropod fauna in a Swiss experimental apple orchard. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 60: 47–59.
- Xiaowei, Z., Fanghao, L., Chongjian, P., 2009. Distribution characteristic and spatial pattern of *Cydia pomonella* (L.) eggs in pear orchard. *Acta Phytophylacica Sinica*, 36 : 343-348.
- Yahiaoui, D., 2014. Impacts des variations climatiques sur l’agriculture en Oranie. Mémoire de Magister : Faculté des sciences de la nature et de la Vie, Université Oran 1, Oran, Algérie, 121 p.
- Yan, F., Bengtsson, M. & Witzgall, P., 1999. Behavioral reponse of female Codling moths, *Cydia pomonella*, to apple volatiles. *Journal of Chemical Ecology*, 15: 1343-1351.
- Yang, X.Q., Zhang, Y.L., 2015. Investigation of insecticide-resistance status of *Cydia pomonella* in Chinese populations. *Bulletin of Entomological Research*, 105 : 316–325.
- Yothers, M., & Carlson, F., 1941. Observations dans les vergers de l’émergence de carpocapses de la pomme à partir de larves âgées de deux ans. *Journal of Economic Entomology*, 34: 109-110.
- Zalom, F.G., Goodell, P.B., Wilson, L.T., Barnett, W.W., Bentley, W.J., 1983. Degree-days: the calculation and use of heat units in pest management. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, Leaflet 21373, 10 p.
- Zehnder, G., Gurr, G.M., Kuhne, S., Wade, M.R., Wratten, S.D., and Wyss, E., 2007. Arthropod pest management in organic crops. *Annual Review of Entomology*, 52: 57-80.

Annexes

Annexes

Annexe 1

Tableau 1. Les principaux ravageurs et maladies de pommier et du poirier (Ohlendorf, 1999 ; Blommers, 1994 ; Janick et Moore, 1996 ; Hohn et al., 2011)

Groupes	Nom français	Nom scientifiques
Ravageurs :		
	Le carpocapse	<i>Cydia pomonella</i> L.
	La tordeuse orientale	<i>Cydia molesta</i> Busck.
	La tordeuse rouge des bourgeons	<i>Spilonota ocellana</i> F.
	La tordeuse pâle du pommier	<i>Pseudexentera mali</i> Freeman
	La tordeuse du pommier	<i>Archips argyrospilus</i> Walker
	La tordeuse de la pleure	<i>Adoxophyes reticulana</i> Hb.
Lépidoptères :	La phalène brumeuse	<i>Operophtera brumata</i> L.
	La zeuzère	<i>Zeuzera pyrina</i> L.
	Le cossus gâte-bois	<i>Cossus</i> L.
	La sésie du pommier	<i>Synanthedon myopaeformis</i> Borkh.
	La mineuse du pommier	<i>Phyllonorycter blancardella</i> Fabricius
	Le cémiostome du pommier	<i>Leucoptera malifoliella</i> Costa
	L'hyponomeute du pommier	<i>Yponomeuta malinellus</i> Zeller
	Le puceron cendré du pommier	<i>Dysaphis plantaginea</i> Passerini
	Le puceron vert non migrant du pommier	<i>Aphis pomi</i> De Geer
	Le puceron vert migrant du pommier	<i>Rhopalosiphum insertum</i> Walker
	Le puceron lanigère du pommier	<i>Eriosoma lanigerum</i> Hausmann
Hémiptères :	Le puceron des galles rouges	<i>Dysaphis</i> spp.
	Le puceron vert des citrus	<i>Aphis spiraecola</i> Patch
	La lygide du pommier	<i>Lygidea mendax</i> Reuter
	La punaise terne	<i>Lygus lineolaris</i> Palisot de Beauvois
	La cicadelle blanche du pommier	<i>Typhlocyba pomaria</i> McAtee

	La cicadelle des rosiers	<i>Edwardsiana rosae</i> L.
	Le membracide bison	<i>Stictocephala bisonia</i> Kopp & Yonke
	La cochenille ostréiforme	<i>Quadraspidiotus ostraeiformis</i> Curtis
	La cochenille virgule du pommier	<i>Lepidosaphes ulmi</i> L.
	Pou de San José	<i>Quadraspidiotus perniciosus</i> Comstock
	La mouche de la pomme	<i>Rhagoletis pomonella</i> Walsh
Diptères :	La cécidomyie des feuilles	<i>Dasyneura mali</i> Kieffer
	la mouche méditerranéenne	<i>Ceratitis capitata</i> Wiedemann
Hyménoptères	L'hoplocampe du pommier	<i>Hoplocampa testudinea</i> Klug
Thysanoptères	Le thrips californien	<i>Frankliniella occidentalis</i> Pergande
Coléoptères	L'anthonome du pommier	<i>Anthonomus pomorum</i> L.
	L'acarien rouge	<i>Panonychus ulmi</i> Koch
Acariens	L'acarien jaune	<i>Tetranychus urticae</i> Koch
	Le phytopte libre du pommier	<i>Aculus schlechendali</i> Nalepa
Maladies		
	La tavelure du pommier	<i>Venturia inaequalis</i> Cooke
	Le chancre du collet	<i>Phytophthora cactorum</i> Lebert & Cohn
Champignons :	La moniliose	<i>Monilia fructigena</i> Aderhold & Ruhl.
	Le chancre européen	<i>Nectria galligena</i> Bresad.
	L'oïdium	<i>Podosphaera leucotricha</i> Salmon.
	Le feu bactérien	<i>Erwinia amylovora</i> Burrill
Bactéries	Le flétrissement des bouquets floraux	<i>Pseudomonas syringae</i> Van Hall
Virus	La mosaïque du pommier	Genus: Ilarvirus
	Le nematode des lésions	<i>Pratylenchus vulnus</i> Allen & Jensen
Nématodes	Le nématode à galle	<i>Meloidogyne incognita</i> Kofoid & White
	Le nématode dague américain	<i>Xiphinema americanum</i> Cobb

Annexe 2

Tableau 1. Les insecticides homologués pour la lutte contre *C. pomonella* en Algérie (Index phytosanitaire, 2017).

Produit commercial	famille chimique	Formulation	dose d'utilisation	DAR (jours)
Akito	Bêta-cyperméthrine	EC	0,3-0,4 L/ha	7
Alfacitan	Alpha-cyperméthrine	EC	10-15 ml/ha	14
Ardofos	Chlorpyrifos-ethyl	EC	125 ml/hl	14
Arrivo	Cyperméthrine	EC	13-20 ml/ha	15
Baton 100 EC	Bifenthrine	EC	150 ml/ha	7
Calypso	Thiaclopride	SC	0,25L/ha	14
Karaté zeon	Lambda-cyhalothrine	CS	175ml/hl	/
Karatika	Lambda-cyhalothrine	EC	0,175 L/ha	14
Carbofor	Carbaryl	SP	100g/hl	14
Chlorofet 48	Chlorpyrifos	EC	100-125 ml/hl	14
Chlorpyr Aa 480	Chlorpyrifosethyl	EC	0,104L/ha	14
Chlorofos 48 EC	Chlorpyrifos-ethyl	EC	125-150 ml/hl	14
Chlorcyrine 220 EC	Chlorpyrifos+ Cyperméthrine	EC	100 ml/hl	21
Cirtan EC	Cyperméthrine	EC	75 ml/hl	14
Cobra	Chlorpyrifosethyl Diméthoate EC	EC	1,5L/ha	15
Coragen 20 Sc	Chlorantranipilode	SC	15ml/ha	3
Cyren	Chlorpyrifos-ethyl	EC	150-200 ml/hl	14
CyruX	Cyperméthrine	EC	10 ml/hl	14
Décis 25 EC	Deltaméthrine	EC	0,3-0,4 L/ha	14
Deltamac 2,5 EC	Deltaméthrine	EC	300-400 ml/ha	15
Deltatox 25 EC	Deltaméthrine	EC	0,3-0,4 L/ha	14
Deltatop	Deltaméthrine	EC	0,3-0,4 L/ha	14
Deltrine	Deltaméthrine	EC	0,3-0,5 L/ha	21
Dipel DF	Bacillus Thuringensis	WG	0,1-1 kg/ha	14
Dominant 2,5 EC	Bêta-cyfluthrine	EC	50 ml/hl	7

Dursban	Chlorpyriphosethyl	EC	125ml/hl	21
Electra	Lufenuron	EC	1 L/ha	14
Fastac 5 Ec	Alphacypermethrine	EC	15ml/hl	/
Gufos	Chlorpyriphos-ethyl	EC	30-50 ml/hl	14
Insegar	Fenoxycarbe	WG	30-40 g/hl	21
Lamdathrine 25 EC	Lamda-cyhalothrine	EC	30-60 ml/hl	14
Lamdoc 50 EC	Lamda-cyhalothrine	EC	20-25 ml/ha	10
Lazer	Lamda-cyhalothrine pyrimicabe	EC	1 L/ha	14
Leratex	Lamda-cyhalothrine	EC	25-60 ml/hl	14
Lufox	fenoxycarbe lufeneron	EC	100-150 ml/hl	28
Match gold	Lufenuron	EC	1L/ha	28
Méthoate 40 EC	Diméthoate	EC	100 ml/hl	14
Nomolt	Teflubenzuron	SC	33ml/hl	14
Phytomilin 25WP	Diflubenzuron	WP	50 g/hl	14
Proact 50 EC	Emamectin benzoate	EC	200 ml/ha	7
Proclaim	Emamectin benzoate	WG	350g/ha	14
Proteus 170 OD	Thiaclopride deltamethrine	OD	0,6 L/ha	14
Pyrical 480 EC	Chloropyriphos	EC	125 ml/hl	21
Pyro 48 SC	Thiaclopride	SC	20 ml/hl	14
Rider	Lamda-cyhalothrine	WP	90 g/ha	14
Tatareeva 2,5 EC	Lamda-cyhalothrine	EC	35 ml/hl	14
Tristar	Bifenthrine	EC	12-40 ml/ha	14
Voliam flexi 300 SC	Chlorantranipilode + thiamethoxam	SC	300 ml/ha	/
Voliam targo 063 SC	Chlorantranipilode + abamectine	SC	0,3-0,45 L/ha	/

Annexe 3

Calcul de Quotient pluviométrique d'Emberger

Pour déterminer l'étage bioclimatique de la région de Sidi Bel Abbès, le quotient pluviométrique d'Emberger (Q_2) modifiée par Stewart (1969) est calculé avec les données climatiques de la période (1994 – 2019) comme suit :

$$Q_2 = 3,43 \times P / M - m$$

Où :

P : Pluviométrie moyenne annuelle (mm) ;

M : moyenne des températures maximales du mois le plus chaud exprimé en °C ;

m : moyenne des températures minimales du mois le plus froid exprimé en °C ;

3,43 : k (coefficient de Stewart établi pour l'Algérie et le Maroc) ;

M - m : Amplitude thermique (°C).

Annexe 4

Tableau 1. Identification et principales caractéristiques des arboriculteurs propriétaires des vergers d'études.

	Nom et prénom des propriétaires	Culture	Variété	Superficie	Altitude	Latitude	Longitude	Station
1	Bousaahla Said	Poirier	Santa Maria	2 ha	594 m	35°12'34"N	0°50'05"W	SehalaThaoura
2	Bousaahla Maachou	Pommier	Golden Delicious	2 ha	592 m	35°13'01"N	0°50'25"W	SehalaThaoura
3	Bousahla Said	Pommier	Royal Gala	1.5 ha	556 m	35°12'50"N	0°50'20"W	SehalaThaoura
4	Bousahla Said	Pommier	Golden Delicious	1 ha	643 m	35°12'36"N	0°50'20"W	SehalaThaoura
5	Bousahla Said	Pommier	Golden Delicious	1 ha	657m	35°12'27"N	0°50'21"W	SehalaThaoura
6	Bousahla Said	Pommier	Golden Delicious	1.5 ha	657m	35°12'08"N	0°50'05"W	SehalaThaoura
7	Bousahla Said	Pommier	Royal Gala	1 ha	657m	35°12'09"N	0°50'18"W	SehalaThaoura
8	Bousahla Said	Pommier	Golden Delicious	1 ha	657m	35°12'05"N	0°50'28"W	SehalaThaoura
9	Bouhachlef Youcef	Pommier	Golden Delicious	2 ha	578 m	35°10'35"N	0°52'05"W	SehalaThaoura
10	Bousahla Benatou	Pommier	Golden Delicious	4 ha	576 m	35°11'15"N	0°50'17"W	SehalaThaoura
12	Bousahla Bouazza	Pommier	Golden Delicious	2 ha	642 m	35°11'49"N	0°50'58"W	SehalaThaoura
13	Bousahla Benatou	Pommier	Golden Delicious	1,25 ha	572 m	35°12'45"N	0°50'10"W	SehalaThaoura
14	Bousahla Benatou	Pommier	Golden Delicious	2 ha	570 m	35°12'12"N	0°50'07"W	SehalaThaoura
15	Madiouni Abbas	Pommier	Golden Delicious	4 ha	568 m	35°12'32"N	0°52'03"W	SehalaThaoura
16	Madiouni Habib	Pommier	Golden Delicious	1,25 ha	650 m	35°12'38"N	0°52'09"W	SehalaThaoura

17	Bouromana Mohamed	Pommier	Golden Delicious	1,7 ha	562 m	35°11'41"N	0°49'46"W	SehalaThaoura
18	Bousahla Bloufa	Pommier	Golden Delicious	0,5 ha	710 m	35°13'12"N	0°53'35"W	SehalaThaoura
19	Belhajat Mekki	Pommier	Golden Delicious	1 ha	696 m	35°12'56"N	0°53'29"W	SehalaThaoura
20	Safi Mohamed	Pommier	Golden Delicious	1,25 ha	716 m	35°14'43"N	0°51'12"W	SehalaThaoura
21	Bousahla Abdelkader	Pommier	Golden Delicious	2 ha	580 m	35°12'39"N	0°49'51"W	SehalaThaoura
22	Bousahla Abdelkader	Poirier	Santa Maria	4 ha	582 m	35°12'46"N	0°49'48"W	SehalaThaoura
23	Les freres Chabi	Pommier	Granny Smith	1,5 ha	554 m	35°08'16"N	0°41'00"W	Sidi Lahcen
24	Les freres Chabi	Pommier	Granny Smith	2,25 ha	546 m	35°08'26"N	0°40'55"W	Sidi Lahcen
25	Les freres Chabi	Pommier	Golden Smoothie	1,25 ha	551m	35°08'24"N	0°40'42"W	Sidi Lahcen
26	Les freres Chabi	Pommier	Golden Smoothie	2,25 ha	551 m	35°08'10"N	0°40'53"W	Sidi Lahcen
27	Les freres Chabi	Pommier	Jéromine	2,5 ha	561 m	35°08'49"N	0°42'00"W	Sidi Lahcen
28	Les freres Chabi	Pommier	Golden Smoothie	2,5 ha	555 m	35°08'34"N	0°42'02"W	Sidi Lahcen
29	Les freres Chabi	Poirier	Santa Maria	1 ha	560 m	35°08'38"N	0°42'02"W	Sidi Lahcen
30	Les freres Chabi	Poirier	Santa Maria	1 ha	558 m	35°08'24"N	0°42'03"W	Sidi Lahcen
31	Benyamina Mohamed	Pommier	Gala Brookfield	4 ha	560m	35°08'26"N	0°41'55"W	Sidi Lahcen
32	Benyamina Mohamed	Pommier	Gala Galaxy	2 ha	561 m	35°08'25"N	0°41'55"W	Sidi Lahcen
33	Benyamina Mohamed	Pommier	Gala Brookfield	4 ha	561 m	35°08'19"N	0°41'54"W	Sidi Lahcen
34	Khloufi Zouaoui	Pommier	Golden Delicious	4 ha	676 m	35°00'16"N	0°45'24"W	Tabia
35	Selmi Salem	Pommier	Golden Delicious	4 ha	680 m	34°59'59"N	0°47'35"W	Tabia

36	Morjani Rachid	Pommier	Granny Smith	1,5 ha	683 m	34°59'49"N	0°44'11"W	Tabia
37	Morjani Rachid	Pommier	Gala Galaxy	3 ha	681 m	35°00'07"N	0°44'03"W	Tabia
38	Morjani Rachid	Pommier	Golden Delicious	2,5 ha	680 m	35°00'07"N	0°44'09"W	Tabia
39	Morjani Rachid	Poirier	Eliot	3,5 ha	686 m	34°59'47"N	0°44'01"W	Tabia
40	Hasnaoui Ali	Poirier	Passe Crassane	1 ha	673 m	34°59'57"N	0°47'32"W	Tabia
41	Hasnaoui Ali	Poirier	Passe Crassane	1,5 ha	677 m	35°00'00"N	0°47'21"W	Tabia
42	Hasnaoui Ali	Poirier	Passe Crassane	1,5 ha	677 m	34°59'59"N	0°47'11"W	Tabia
43	Hasnaoui Ali	Poirier	Passe Crassane	1,5 ha	679 m	35°00'02"N	0°47'02"W	Tabia
44	Hasnaoui Ali	Poirier	Passe Crassane	0,5 ha	678 m	34°59'45"N	0°47'29"W	Tabia
45	Benyamina Mohamed	Poirier	Santa Maria	2 ha	679m	35°00'18"N	0°45'19"W	Tabia
46	Benyamina Mohamed	Poirier	Santa Maria	2 ha	674 m	35°00'10"N	0°45'20"W	Tabia
47	Benissa Zouaoui	Pommier	Golden Delicious	3,5 ha	695 m	35°00'16"N	0°34'19"W	Tenira
48	Boudali Mohamed	Pommier	Golden Delicious	2 ha	705 m	35°00'20"N	0°36'04"W	Tenira
49	Boudali Mohamed	Pommier	Golden Delicious	2 ha	715 m	35°00'37"N	0°36'21"W	Tenira
50	Demouche Ibrahim	Pommier	Granny Smith	1,5 ha	699 m	35°00'26"N	0°35'23"W	Tenira
51	Demouche Ibrahim	Poirier	Cascade	1,5 ha	698 m	35°00'28"N	0°35'16"W	Tenira
52	Demouche Ibrahim	Poirier	Cascade	1,5 ha	702 m	35°00'15"N	0°35'09"W	Tenira
53	Benissa Zouaoui	Pommier	Gala Galaxy	2,5 ha	682 m	35°00'15"N	0°34'24"W	Tenira
54	Benacer Khaled	Pommier	Golden Delicious	2,5 ha	683 m	34°59'57"N	0°34'55"W	Tenira

55	Les freres Chabi	Pommier	Gala Buckeye	1 ha	698 m	35°00'51"N	0°33'27"W	Tenira
56	Les freres Chabi	Pommier	Golden Reinders	2 ha	685 m	35°00'41"N	0°33'16"W	Tenira
57	Les freres Chabi	Pommier	Golden Reinders	2,25 ha	696m	35°00'34"N	0°33'19"W	Tenira
58	Les freres Chabi	Pommier	Golden Pinkgold	1 ha	656 m	35°01'08"N	0°30'28"W	Tenira
59	Les freres Chabi	Pommier	Golden Reinders	0,5 ha	643 m	35°01'26"N	0°30'34"W	Tenira
60	Les freres Chabi	Pommier	Eurly Red One	2 ha	659 m	35°01'15"N	0°30'39"W	Tenira
61	les freres Chabi	Pommier	Eurly Red One	1,5 ha	653 m	35°01'29"N	0°30'47"W	Tenira
62	Belfarh Mustapha	Poirier	Santa Maria	2 ha	632 m	35°02'08"N	0°28'53"W	Tenira
63	Ketteb Elhadj	Poirier	Santa Maria	2 ha	623 m	35°02'35"N	0°27'29"W	Tenira
64	Merdes Khatir	Pommier	Fuji	0,5 ha	502 m	35°06'47"N	0°18'57"W	Tenira
65	Merdes Khatir	Pommier	Fuji	2 ha	513 m	35°06'48"N	0°19'00"W	Tenira
66	Merdes khatir	Poirier	Santa Maria	2 ha	513 m	35°06'49"N	0°19'14"W	Tenira
67	Merdes khatir	Poirier	Santa Maria	1 ha	512 m	35°06'50"N	0°19'11"W	Tenira
68	Demouche ibrahim	Pommier	Granny Smith	1ha	698 m	35°00'21"N	0°35'11"W	Tenira
69	Les freres Chabi	Poirier	Cascade	2 ha	689 m	34°59'57"N	0°35'29"W	Tenira
70	Les freres Chabi	Pommier	Granny Smith	1 ha	691 m	35°00'01"N	0°35'11"W	Tenira
71	Bensakrane Mohamed	Poirier	Santa Maria	2,25 ha	595 m	35°02'55"N	0°23'51"W	Tenira
72	Les freres Chabi	Pommier	Golden Suprême	2 ha	694 m	35°00'30"N	0°33'13"W	Tenira

Annexe 5

Tableau 1. Les insecticides utilisés par les exploitants pour la lutte contre *C. pomonella* (Index phytosanitaire, 2017).

Site d'étude	Intensité de traitement	Insecticide utilisé
Sehala Thaoura	6-8	Pyrical 480 EC, Méthoate 40 EC, Lazer, Lamdoc 50 EC, Fastac 5 Ec, Chlorofos 48 EC et Karatika
Sidi Lahcen	11-15	Calypso, Karaté zeon, Carbofor, Coragen 20 Sc, Coragen 20 Sc, Insegar, Match gold, Méthoate 40 EC, Nomolt, Proact 50 EC, Proclaim, Pyrical 480 EC, Voliam flexi 300 SC, Voliam targo 063 SC
Tabia	11-15	Calypso, Karaté zeon, Chlorofos 48 EC, Coragen 20 Sc, Coragen 20 Sc, Décis 25 EC, Dursban, Fastac 5 Ec, Insegar, Lazer, Match gold, Nomolt, Proclaim, Voliam flexi 300 SC, Voliam targo 063 SC
Tenira	11-15	Calypso, Karaté zeon, Carbofor, Coragen 20 Sc, Cobra, Coragen 20 Sc, Décis 25 EC, Fastac 5 Ec, Insegar, Lazer, Match gold, Méthoate 40 EC, Nomolt, Proact 50 EC, Pyrical 480 EC, Voliam targo 063 SC

Annexe 6

Protocole de préparation de l'ester de poire (pour la capture des adultes femelles).

- Dans un monocol de 250 ml, on introduit, tout en agitant 20 ml de propanol, 20 ml d'acide propénoïque, 6 billes de verre et 5 ml d'acide sulfurique. Puis le monocol est surmonté d'un réfrigérant à boucles et chauffé à reflux durant 30 minutes.
- Dans une ampoule de coulée de 125 ml, on verse 50 ml d'eau déminéralisée glacée. On y introduit ensuite le contenu du ballon le plus rapidement possible et on laisse décanter durant 10 minutes. Puis on élimine la phase aqueuse et on verse 50 ml d'une solution à 5% d'hydrogénocarbonate de potassium (agiter avec prudence) et laisse décanter encore 10 minutes (avec élimination de la phase aqueuse).
- La phase organique est ensuite versée dans un erlenmeyer de 100 ml contenant 5 grammes de sulfate de magnésium anhydre et on agite le contenu pendant 15 minutes. Vigoureusement jusqu'à rectification du produit brut.



Tableau 1. Températures maximales et minimales de la région de Sidi Bel Abbes (2018 – 2019).

Date	Max, T, (°C)	Min, T, (°C)	Date	Max, T, (°C)	Min, T, (°C)	Date	Max, T, (°C)	Min, T, (°C)	Date	Max, T, (°C)	Min, T, (°C)
01/04/2018	25	0	01/04/2019	18,1	11,3	23/04/2018	30,4	16,7	23/04/2019	22,1	4,9
02/04/2018	26,6	13	02/04/2019	22,7	6,1	24/04/2018	27,2	9,4	24/04/2019	20,2	8,5
03/04/2018	20,4	10,4	03/04/2019	23,6	6,6	25/04/2018	16,8	13,6	25/04/2019	24	5,2
04/04/2018	18,2	6,6	04/04/2019	17,1	8,5	26/04/2018	16	13	26/04/2019	21	10,2
05/04/2018	26,2	1,9	05/04/2019	19,5	8,9	27/04/2018	22,3	10,6	27/04/2019	23,2	4,1
06/04/2018	29,3	13,4	06/04/2019	15	6,1	28/04/2018	24,7	7,6	28/04/2019	27	4,6
07/04/2018	17,8	10,6	07/04/2019	16,5	7,4	29/04/2018	15,5	10,9	29/04/2019	26,7	8,4
08/04/2018	15,7	6,8	08/04/2019	20,5	4,5	30/04/2018	15,3	7,9	30/04/2019	26,6	6,7
09/04/2018	25,7	4,7	09/04/2019	17,6	7,6	01/05/2018	15,5	7	01/05/2019	30,1	7,4
10/04/2018	17,2	7,5	10/04/2019	17,1	5,4	02/05/2018	17	4,2	02/05/2019	21,2	14,5
11/04/2018	13,5	7,5	11/04/2019	17,5	7,4	03/05/2018	20,5	5,1	03/05/2019	18,6	14,1
12/04/2018	17,9	6,5	12/04/2019	20,1	1,3	04/05/2018	21	5,8	04/05/2019	20,5	12,3
13/04/2018	13,5	8,5	13/04/2019	21,5	0,6	05/05/2018	22	6	05/05/2019	24,3	10
14/04/2018	14,4	4,8	14/04/2019	27	0,8	06/05/2018	24,2	5,4	06/05/2019	27,9	8
15/04/2018	18,4	8	15/04/2019	30,7	1,8	07/05/2018	23,1	13	07/05/2019	30	6,1
16/04/2018	20,4	5,4	16/04/2019	28	7,6	08/05/2018	22,1	12,4	08/05/2019	28,5	9,4
17/04/2018	22,2	2,6	17/04/2019	32,1	8	09/05/2018	20,7	10	09/05/2019	27,5	10,4
18/04/2018	23,3	3,1	18/04/2019	16	12,9	10/05/2018	23,7	8,9	10/05/2019	32,2	10,4
19/04/2018	22,9	4,8	19/04/2019	13,2	10,8	11/05/2018	26,7	9,4	11/05/2019	32,5	12,6
20/04/2018	23,3	8,4	20/04/2019	17,6	1,5	12/05/2018	22,7	10,5	12/05/2019	28,7	10,5
21/04/2018	31,2	7,5	21/04/2019	13,1	9,2	13/05/2018	21,5	9,6	13/05/2019	29,1	6,3
22/04/2018	33,9	17	22/04/2019	17,5	10,1	14/05/2018	24,6	4	14/05/2019	27,5	6
15/05/2018	26	4,7	15/05/2019	31,5	8,6	13/06/2018	28	12,7	13/06/2019	27,1	11,3
16/05/2018	24,5	7	16/05/2019	32,8	9	14/06/2018	30,2	10,5	14/06/2019	25,3	16,1
17/05/2018	17,7	14,6	17/05/2019	25,5	8	15/06/2018	32,2	11,6	15/06/2019	29,5	12,1

18/05/2018	17,5	13	18/05/2019	23,6	8,3	16/06/2018	35,5	12,2	16/06/2019	28,5	11,9
19/05/2018	19	11,4	19/05/2019	21,5	11,2	17/06/2018	34,5	14	17/06/2019	29,5	15,5
20/05/2018	21,1	9,1	20/05/2019	26	8,4	18/06/2018	35,1	11,4	18/06/2019	29,2	12,9
21/05/2018	24	9,5	21/05/2019	27	13,3	19/06/2018	29,5	14	19/06/2019	31,1	13,5
22/05/2018	26,5	7,5	22/05/2019	29,1	7,7	20/06/2018	32,1	13	20/06/2019	29,7	14,2
23/05/2018	32,4	12	23/05/2019	32,4	8,6	21/06/2018	31,2	13,5	21/06/2019	27,1	13
24/05/2018	34,6	17,6	24/05/2019	28,1	10	22/06/2018	31,1	16	22/06/2019	30,2	11,4
25/05/2018	25,5	13,5	25/05/2019	23,6	9,9	23/06/2018	37,5	16,1	23/06/2019	28,7	15,5
26/05/2018	26	8,4	26/05/2019	25,3	14	24/06/2018	40	18,5	24/06/2019	31	19,4
27/05/2018	25,2	11,1	27/05/2019	29,2	8,4	25/06/2018	30,7	18,3	25/06/2019	33	15,4
28/05/2018	23,5	11,6	28/05/2019	33,5	10	26/06/2018	32,5	19,4	26/06/2019	34	17,1
29/05/2018	23	10,3	29/05/2019	27,5	11,4	27/06/2018	30,3	16,1	27/06/2019	35	19
30/05/2018	23,4	11,6	30/05/2019	26,1	9,5	28/06/2018	33,2	17	28/06/2019	36,7	19,1
31/05/2018	28	8,7	31/05/2019	30,3	8	29/06/2018	31,5	15	29/06/2019	37	19
01/06/2018	25,5	12,9	01/06/2019	29	8	30/06/2018	30,2	16,4	30/06/2019	32,3	19,7
02/06/2018	23,2	11,4	02/06/2019	28,7	8,6	01/07/2018	29,7	16,1	01/07/2019	35,2	17,3
03/06/2018	25,2	9,1	03/06/2019	34,1	12	02/07/2018	32,4	15,5	02/07/2019	34,4	18,3
04/06/2018	26,5	10	04/06/2019	32,7	9,7	03/07/2018	34	17,2	03/07/2019	31	16,5
05/06/2018	22,7	13,5	05/06/2019	24	17	04/07/2018	31,2	19,5	04/07/2019	31,3	19,8
06/06/2018	22,4	12,5	06/06/2019	31,7	10,8	05/07/2018	33,4	17	05/07/2019	35,6	20,9
07/06/2018	25,2	12,4	07/06/2019	27	11	06/07/2018	33,6	15,8	06/07/2019	38	21,1
08/06/2018	32,8	7,1	08/06/2019	30,2	11,8	07/07/2018	34,5	19,8	07/07/2019	39,3	22,5
09/06/2018	23,5	15,1	09/06/2019	26	15,4	08/07/2018	30,6	20,8	08/07/2019	27,3	17,8
10/06/2018	22	12,2	10/06/2019	24,3	14,4	09/07/2018	35	20,4	09/07/2019	29,5	15,7
11/06/2018	25,7	11,2	11/06/2019	28	7,5	10/07/2018	35,2	15,1	10/07/2019	33	14,1
12/06/2018	25,2	13,3	12/06/2019	28,6	9,5	11/07/2018	37,2	15,8	11/07/2019	35,2	20
12/07/2018	33,7	17,3	12/07/2019	38,2	21,5	10/08/2018	35,2	20,9	10/08/2019	35	20,5
13/07/2018	27,7	17,9	13/07/2019	34,2	21	11/08/2018	34,5	21	11/08/2019	31,2	21,3
14/07/2018	37,82	13,5	14/07/2019	27,5	17,8	12/08/2018	34,5	22	12/08/2019	31	21,5
15/07/2018	30,6	20,1	15/07/2019	34,5	17	13/08/2018	35,5	19,3	13/08/2019	32,5	15,4

16/07/2018	32,2	16,8	16/07/2019	39,2	16,1	14/08/2018	35,2	16,6	14/08/2019	36	15,7
17/07/2018	36,7	16	17/07/2019	32,5	20,5	15/08/2018	36	12,6	15/08/2019	35,1	13,9
18/07/2018	33,7	19	18/07/2019	34	15,9	16/08/2018	32,7	19,5	16/08/2019	34,6	15,7
19/07/2018	37,5	22	19/07/2019	37	19,5	17/08/2018	32,1	17,9	17/08/2019	38,4	16,4
20/07/2018	35,7	20,8	20/07/2019	33,5	21,2	18/08/2018	33	17,8	18/08/2019	36,2	20,5
21/07/2018	36	20,9	21/07/2019	34,5	22	19/08/2018	33,5	18,5	19/08/2019	36,4	17,6
22/07/2018	31,7	22,4	22/07/2019	39,3	20,5	20/08/2018	32	16,6	20/08/2019	35	18,5
23/07/2018	37,1	18,1	23/07/2019	40	21,7	21/08/2018	32,6	15,2	21/08/2019	32,5	17,3
24/07/2018	34,7	18,4	24/07/2019	40	21,1	22/08/2018	32	16,9	22/08/2019	31,5	21,1
25/07/2018	35,2	18,9	25/07/2019	35,5	21,2	23/08/2018	31,6	17	23/08/2019	34	17,4
26/07/2018	35,5	20	26/07/2019	33	20	22/08/2018	32	16,9	22/08/2019	31,5	21,1
27/07/2018	37,5	16,9	27/07/2019	31,1	17,9	25/08/2018	37	14	25/08/2019	33	13,4
28/07/2018	37,5	18,1	28/07/2019	32,9	17	26/08/2018	35,2	17,2	26/08/2019	32,5	19,5
29/07/2018	34,5	22,2	29/07/2019	33,5	17,8	27/08/2018	40	14,1	27/08/2019	29	18,4
30/07/2018	34,7	16,9	30/07/2019	37	17,8	28/08/2018	35,2	17,9	28/08/2019	32	13,5
31/07/2018	37	13,9	31/07/2019	34	20	29/08/2018	34	20,1	29/08/2019	33	14,4
01/08/2018	37	15,5	01/08/2019	33	22,4	30/08/2018	31,5	16,3	30/08/2019	32,3	16,5
02/08/2018	35	15,8	02/08/2019	35,1	21,4	31/08/2018	33,7	14,1	31/08/2019	31,4	15,6
03/08/2018	36,1	15,9	03/08/2019	34,3	21,4	01/09/2018	33,9	13,5	01/09/2019	28	14,1
04/08/2018	35,5	15,3	04/08/2019	36	22,3	02/09/2018	32,6	13	02/09/2019	33	10,7
05/08/2018	35,5	16,2	05/08/2019	39,5	23,9	03/09/2018	33,5	29,6	03/09/2019	28,1	17
06/08/2018	36,6	17,6	06/08/2019	42	24,5	04/09/2018	32	17,3	04/09/2019	33,1	15,2
07/08/2018	38,5	17,4	07/08/2019	39	24,3	05/09/2018	32,4	15,4	05/09/2019	31	13
08/08/2018	40,2	18	08/08/2019	36	19,8	06/09/2018	31,3	12,4	06/09/2019	29,3	14,6
09/08/2018	33,5	24,7	09/08/2019	37,7	21,4	07/09/2018	30,8	15,7	07/09/2019	29	14
08/09/2018	30,4	15,3	08/09/2019	27,4	18,9	07/10/2018	28,6	11,6	07/10/2019	27,9	9
09/09/2018	33,5	21,6	09/09/2019	26	16,3	08/10/2018	27,7	15	08/10/2019	25,9	11,8
10/09/2018	28,5	19,6	10/09/2019	24,5	13,4	09/10/2018	26,3	14,8	09/10/2019	30,3	8,9
11/09/2018	31,2	18,4	11/09/2019	20,6	12,2	10/10/2018	29,5	17,1	10/10/2019	28,6	11,2
12/09/2018	28	20,4	12/09/2019	21,1	11,6	11/10/2018	26,8	10,9	11/10/2019	31	11

13/09/2018	24,2	18,6	13/09/2019	27	14,4	12/10/2018	29,3	11,9	12/10/2019	29,3	14,5
14/09/2018	25	17	14/09/2019	33	16,9	13/10/2018	31,7	12,3	13/10/2019	31,9	11,5
15/09/2018	26,5	16,5	15/09/2019	29,4	19,3	14/10/2018	30,2	11,6	14/10/2019	26,5	20,5
16/09/2018	25,5	17,2	16/09/2019	27,5	15	15/10/2018	22,4	15,3	15/10/2019	24	15,5
17/09/2018	37,6	20	17/09/2019	30,5	15,3	16/10/2018	17,6	9,1	16/10/2019	27,4	8,7
18/09/2018	30,4	19,9	18/09/2019	27,5	19,4	17/10/2018	20,6	13,7	17/10/2019	26,5	10,5
19/09/2018	31,2	17,5	19/09/2019	30	17,8	18/10/2018	25,1	8,4	18/10/2019	27,7	10,1
20/09/2018	30	15,8	20/09/2019	31	18,9	19/10/2018	20	11,1	19/10/2019	28,3	10,5
21/09/2018	29,6	13,6	21/09/2019	27	20,9	20/10/2018	26,5	12,9	20/10/2019	23,5	15,7
22/09/2018	29,9	14,7	22/09/2019	27,1	18,8	21/10/2018	30	15,5	21/10/2019	20,5	12,1
23/09/2018	32,4	13,8	23/09/2019	31	15,5	22/10/2018	24,4	13,5	22/10/2019	13,3	10,9
24/09/2018	31,6	15,2	24/09/2019	32	14,4	23/10/2018	24,3	13,4	23/10/2019	16,9	9
25/09/2018	29,4	14,4	25/09/2019	29,2	14,8	24/10/2018	22,6	7	24/10/2019	16,8	10,5
26/09/2018	28,1	15,2	26/09/2019	31	12,6	25/10/2018	26,4	5	25/10/2019	22,5	4,6
27/09/2018	29,2	15,1	27/09/2019	31	11,8	26/10/2018	29,6	6,1	26/10/2019	24,9	5,5
28/09/2018	25	12,4	28/09/2019	31	15,3	27/10/2018	22,5	14,4	27/10/2019	24,1	6
29/09/2018	23,3	11,2	29/09/2019	32,2	15,3	28/10/2018	12,6	8	28/10/2019	24	6,1
30/09/2018	27,4	12,4	30/09/2019	31,1	13,5	29/10/2018	13,5	3,3	29/10/2019	24,7	8,5
01/10/2018	29,6	12,6	01/10/2019	32,3	12,9	30/10/2018	17,6	6	30/10/2019	24,8	9,4
02/10/2018	26,7	13	02/10/2019	27,2	13,4	31/10/2018	16	6,4	31/10/2019	24,4	11,5
03/10/2018	24,9	9	03/10/2019	25,7	11,3						
04/10/2018	23,3	9,1	04/10/2019	30,2	7,5						
05/10/2018	26,4	9,8	05/10/2019	29,3	8,6						
06/10/2018	23,5	10	06/10/2019	29,9	9,1						

Source : Station météorologique de SBA.

Annexe 7

Tableau 1. Le nombre moyen d'adultes de *C. pomonella*(mâles et femelles) dans les vergers de pommier (variété : Golden Reinders, Gala Galaxy) et de poirier (variété : Santa Maria) des sites de : Sidi Lahcen, Tabia et Tenira, pour les deux années : 2018 et 2019.

Semaines	Nombre moyen d'adultes
Semaine 0	0
Semaine 1	7
Semaine 2	15
Semaine 3	41
Semaine 4	76
Semaine 5	29
Semaine 6	72
Semaine 7	67
Semaine 8	44
Semaine 9	41
Semaine 10	22
Semaine 11	12
Semaine 12	0
Semaine 13	50
Semaine 14	63
Semaine 15	66
Semaine 16	19
Semaine 17	2
Semaine 18	22
Semaine 19	14
Semaine 20	20
Semaine 21	12
Semaine 22	0
Semaine 23	14
Semaine 24	20
Semaine 25	14
Semaine 26	10
Semaine 27	6
Semaine 28	5
Semaine 29	1
Semaine 30	0

Tableau 2. Le nombre moyen d'adultes de *C. pomonella* (mâles et femelles) dans les vergers de pommier (Golden Reinders et Gala Galaxy) et de poirier (variété : Santa maria) des sites de Tenira, Sidi Lahcen et Tabia (nombre moyen d'adultes \pm SE), par année d'étude : 2018 et 2019.

Semaines	Nombre moyen des adultes	
	2108	2019
Semaine 0	0	0
Semaine 1	0	3
Semaine 2	13	9
Semaine 3	52	35
Semaine 4	104	79
Semaine 5	34	23
Semaine 6	118	71
Semaine 7	99	62
Semaine 8	59	38
Semaine 9	79	34
Semaine 10	19	20
Semaine 11	10	11
Semaine 12	0	0
Semaine 13	67	46
Semaine 14	91	54
Semaine 15	68	38
Semaine 16	30	11
Semaine 17	2	1
Semaine 18	23	18
Semaine 19	11	12
Semaine 20	19	19
Semaine 21	9	9
Semaine 22	0	0
Semaine 23	7	11
Semaine 24	22	17
Semaine 25	12	11
Semaine 26	8	7
Semaine 27	5	4
Semaine 28	2	2
Semaine 29	1	0
Semaine 30	0	0

Tableau 3. Le nombre moyen d'adultes de *C. pomonella* (mâles et femelles) dans les vergers de pommier de la variété Golden Reinders des sites de Sidi Lahcen, Tabia et Tenira (nombre moyen d'adultes \pm SE), pour les deux années d'étude : 2018 et 2019.

Semaines	Nombre moyen des adultes
Semaine 0	10
Semaine 1	18
Semaine 2	53
Semaine 3	97
Semaine 4	32
Semaine 5	98
Semaine 6	89
Semaine 7	57
Semaine 8	69
Semaine 9	33
Semaine 10	15
Semaine 11	0
Semaine 12	60
Semaine 13	78
Semaine 14	69
Semaine 15	31
Semaine 16	34
Semaine 17	34
Semaine 18	17
Semaine 19	26
Semaine 20	17
Semaine 21	0
Semaine 22	17
Semaine 23	27
Semaine 24	15
Semaine 25	8
Semaine 26	7
Semaine 27	5
Semaine 28	2
Semaine 29	1
Semaine 30	0

Tableau 4. Le nombre moyen d'adultes de *C. pomonella* (mâles et femelles) dans les vergers de pommier de la variété Golden Reinders des sites de Sidi Lahcen, Tabia et Tenira (nombre moyen d'adultes \pm SE), par année d'étude :2018 et 2019.

Semaines	Nombre moyen des adultes	
	2108	2019
Semaine 0	0	13
Semaine 1	20	18
Semaine 2	47	49
Semaine 3	104	88
Semaine 4	34	26
Semaine 5	105	79
Semaine 6	98	73
Semaine 7	60	53
Semaine 8	75	45
Semaine 9	34	29
Semaine 10	15	16
Semaine 11	0	0
Semaine 12	66	56
Semaine 13	87	73
Semaine 14	79	41
Semaine 15	37	16
Semaine 16	0	0
Semaine 17	37	31
Semaine 18	16	19
Semaine 19	31	25
Semaine 20	21	15
Semaine 21	0	0
Semaine 22	18	16
Semaine 23	22	22
Semaine 24	19	13
Semaine 25	9	7
Semaine 26	7	7
Semaine 27	5	5
Semaine 28	1	2
Semaine 29	0	0
Semaine 30	0	0

Tableau 5. Le nombre moyen d'adultes de *C. pomonella* (mâles et femelles) dans les vergers de pommier de la variété GalaGalaxy des sites de Sidi Lahcen, Tabia et Tenira (nombre moyen d'adultes \pm SE), pour les deux années d'étude : 2018 et 2019.

Semaines	Nombre moyen des adultes
Semaine 0	3
Semaine 1	5
Semaine 2	9
Semaine 3	11
Semaine 4	18
Semaine 5	21
Semaine 6	18
Semaine 7	14
Semaine 8	24
Semaine 9	7
Semaine 10	4
Semaine 11	0
Semaine 12	11
Semaine 13	23
Semaine 14	18
Semaine 15	7
Semaine 16	2
Semaine 17	10
Semaine 18	7
Semaine 19	9
Semaine 20	4
Semaine 21	0
Semaine 22	4
Semaine 23	19
Semaine 24	12
Semaine 25	6
Semaine 26	3
Semaine 27	0
Semaine 28	0
Semaine 29	0
Semaine 30	3

Tableau 6. Le nombre moyen d'adultes de *C. pomonella* (mâles et femelles) dans les vergers de pommier de la variété GalaGalaxy des sites de Sidi Lahcen, Tabia et Tenira (nombre moyen d'adultes \pm SE), par année d'étude : 2018 et 2019.

Semaines	Nombre moyen des adultes	
	2108	2019
Semaine 0	0	3
Semaine 1	4	5
Semaine 2	7	9
Semaine 3	12	11
Semaine 4	18	18
Semaine 5	20	21
Semaine 6	17	18
Semaine 7	15	12
Semaine 8	27	10
Semaine 9	9	4
Semaine 10	5	3
Semaine 11	0	0
Semaine 12	12	8
Semaine 13	24	20
Semaine 14	19	17
Semaine 15	8	6
Semaine 16	2	2
Semaine 17	12	7
Semaine 18	6	8
Semaine 19	4	9
Semaine 20	3	5
Semaine 21	0	0
Semaine 22	2	4
Semaine 23	21	16
Semaine 24	11	12
Semaine 25	4	6
Semaine 26	4	3
Semaine 27	1	2
Semaine 28	0	0
Semaine 29	0	0
Semaine 30	0	3

Tableau 7. Le nombre moyen d'adultes de *C. pomonella* (mâles et femelles) dans les vergers de poirier de la variété Santa Maria des sites de Sidi Lahcen, Tabia et Tenira (nombre moyen d'adultes \pm SE), pour les deux années d'étude : 2018 et 2019.

Semaines	Nombre moyen des adultes
Semaine 0	3
Semaine 1	7
Semaine 2	13
Semaine 3	23
Semaine 4	26
Semaine 5	38
Semaine 6	13
Semaine 7	6
Semaine 8	7
Semaine 9	7
Semaine 10	4
Semaine 11	0
Semaine 12	17
Semaine 13	29
Semaine 14	29
Semaine 15	15
Semaine 16	3
Semaine 17	7
Semaine 18	6
Semaine 19	12
Semaine 20	6
Semaine 21	0
Semaine 22	6
Semaine 23	7
Semaine 24	4
Semaine 25	4
Semaine 26	3
Semaine 27	0
Semaine 28	0
Semaine 29	0
Semaine 30	3

Tableau 8. Le nombre moyen d'adultes de *C. pomonella* (mâles et femelles) dans les vergers de poirier de la variété Santa Maria des sites de Sidi Lahcen, Tabia et Tenira (nombre moyen d'adultes \pm SE), par année d'étude : 2018 et 2019.

Semaines	Nombre moyen des adultes	
	2108	2019
Semaine 0	0	4
Semaine 1	7	6
Semaine 2	14	12
Semaine 3	23	21
Semaine 4	26	26
Semaine 5	40	35
Semaine 6	13	17
Semaine 7	5	11
Semaine 8	9	10
Semaine 9	8	4
Semaine 10	4	3
Semaine 11	0	0
Semaine 12	16	15
Semaine 13	34	24
Semaine 14	29	31
Semaine 15	18	11
Semaine 16	3	3
Semaine 17	6	7
Semaine 18	6	6
Semaine 19	11	14
Semaine 20	5	6
Semaine 21	0	0
Semaine 22	8	4
Semaine 23	8	6
Semaine 24	5	4
Semaine 25	5	3
Semaine 26	3	3
Semaine 27	2	2
Semaine 28	0	0
Semaine 29	0	0
Semaine 30	0	4

Tableau 9. Activité de vol de *C. pomonella* dans les vergers de pommier extensifs (variétés : Golden Delicious et Gala Royal) du site de Sehala Thaoura (nombre moyen d'adultes \pm SE), pour les deux années d'étude : 2018 et 2019.

Semaines	Nombre moyen des adultes 2018 - 2019	
	Golden Delicious	Gala Royal
Semaine 0	0	0
Semaine 1	5	3
Semaine 2	20	16
Semaine 3	59	46
Semaine 4	107	90
Semaine 5	33	23
Semaine 6	102	84
Semaine 7	94	83
Semaine 8	66	55
Semaine 9	58	52
Semaine 10	33	26
Semaine 11	11	7
Semaine 12	0	0
Semaine 13	71	56
Semaine 14	95	70
Semaine 15	67	56
Semaine 16	20	11
Semaine 17	1	0
Semaine 18	37	26
Semaine 19	16	10
Semaine 20	29	22
Semaine 21	12	7
Semaine 22	1	1
Semaine 23	14	10
Semaine 24	18	16
Semaine 25	10	11
Semaine 26	6	5
Semaine 27	3	2
Semaine 28	1	1
Semaine 29	1	0
Semaine 30	0	0

Tableau 10. Activité de vol de *C. pomonella* dans les vergers de pommier (variétés : Golden Delicious et Gala Royal) du site de Sehala Thaoura pour l'année 2018 (nombre moyen d'adultes \pm SE).

Semaines	Nombre moyen des adultes 2018	
	Golden Delicious	Gala Royal
Semaine 0	0	0
Semaine 1	5	3
Semaine 2	20	16
Semaine 3	59	46
Semaine 4	107	90
Semaine 5	33	23
Semaine 6	102	84
Semaine 7	94	83
Semaine 8	66	55
Semaine 9	58	52
Semaine 10	33	26
Semaine 11	11	7
Semaine 12	0	0
Semaine 13	71	56
Semaine 14	95	70
Semaine 15	67	56
Semaine 16	20	11
Semaine 17	1	0
Semaine 18	37	26
Semaine 19	16	10
Semaine 20	29	22
Semaine 21	12	7
Semaine 22	1	1
Semaine 23	14	10
Semaine 24	18	16
Semaine 25	10	11
Semaine 26	6	5
Semaine 27	3	2
Semaine 28	1	1
Semaine 29	1	0
Semaine 30	0	0

Tableau 11. Activité de vol de *C. pomonella* dans les vergers de pommier extensifs (variétés : Golden Delicious et Gala Royal) du site de Sehala Thaourapour l'année 2019 (nombre moyen d'adultes \pm SE).

Semaines	Nombre moyen des adultes 2019	
	Golden Delicious	Gala Royal
Semaine 0	0	0
Semaine 1	5	3
Semaine 2	20	16
Semaine 3	59	46
Semaine 4	107	90
Semaine 5	33	23
Semaine 6	102	84
Semaine 7	94	83
Semaine 8	66	55
Semaine 9	58	52
Semaine 10	33	26
Semaine 11	11	7
Semaine 12	0	0
Semaine 13	71	56
Semaine 14	95	70
Semaine 15	67	56
Semaine 16	20	11
Semaine 17	1	0
Semaine 18	37	26
Semaine 19	16	10
Semaine 20	29	22
Semaine 21	12	7
Semaine 22	1	1
Semaine 23	14	10
Semaine 24	18	16
Semaine 25	10	11
Semaine 26	6	5
Semaine 27	3	2
Semaine 28	1	1
Semaine 29	1	0
Semaine 30	0	0

Annexe 8

Tableau 1. Localisation spatiale des effectifs de larves diapausantes dans les vergers de pommier (nombre moyen de larves \pm SE), pour les des deux années d'études : 2018 et 2019.

Année	Nombre de bandes pièges	Nombre moyen des larves diapausantes	
		Extrémité	Centre
2018	30	34	39
2019	30	60	74

Tableau 2. Répartition spatiale des effectifs de larves diapausantes de *C. pomonella* au sein d'un verger de pommier (variété Golden Delicious) dans le site de Tenira, en 2018. Sur la carte, les numéros : 1 à 30 correspondent au numéro de chaque bande piège et **4** : verger intensif situé dans le site de Tenira.

Année	Identifiant	Site d'étude	Culture	Variété	Bandes pièges	Localisation	Nombre de larves
2018	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	1	Extrémité	1
2018	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	2	Extrémité	0
2018	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	3	Extrémité	0
2018	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	4	Extrémité	2
2018	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	5	Extrémité	1
2018	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	6	Extrémité	1
2018	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	7	Extrémité	0

2018	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	8	Extrémité	7
2018	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	9	Extrémité	1
2018	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	10	Extrémité	1
2018	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	11	Centre	0
2018	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	12	Centre	6
2018	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	13	Centre	4
2018	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	14	Centre	2
2018	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	15	Centre	2
2018	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	16	Centre	0
2018	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	17	Centre	0
2018	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	18	Centre	2
2018	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	19	Centre	5
2018	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	20	Centre	1
2018	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	21	Centre	3
2018	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	22	Centre	0
2018	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	23	Centre	8
2018	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	24	Centre	2
2018	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	25	Centre	3
2018	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	26	Centre	15
2018	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	27	Centre	0
2018	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	28	Centre	3
2018	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	29	Centre	8

2018	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	30	Centre	6
-------------	---	--------	---------	------------------	----	--------	---

Tableau 3.Répartition spatiale des effectifs de larves diapausantes de *C. pomonella* au sein d'un verger de pommier (variété Golden Delicious) dans le site de Tenira, en 2019. Sur la carte, les numéros : 1 à 30 correspondent au numéro de chaque bande piège et **4** : verger intensif situé dans le site de Tenira.

Année	Identifiant	Site d'étude	Culture	Variété	Bandes pièges	Localisation	Nombre de larves
2019	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	1	Extrémité	2
2019	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	2	Extrémité	0
2019	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	3	Extrémité	0
2019	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	4	Extrémité	6
2019	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	5	Extrémité	3
2019	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	6	Extrémité	4
2019	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	7	Extrémité	2
2019	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	8	Extrémité	1
2019	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	9	Extrémité	3
2019	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	10	Extrémité	1
2019	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	11	Centre	2
2019	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	12	Centre	8
2019	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	13	Centre	1
2019	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	14	Centre	2
2019	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	15	Centre	5
2019	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	16	Centre	0

2019	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	17	Centre	0
2019	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	18	Centre	1
2019	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	19	Centre	1
2019	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	20	Centre	0
2019	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	21	Centre	4
2019	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	22	Centre	1
2019	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	23	Centre	0
2019	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	24	Centre	0
2019	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	25	Centre	0
2019	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	26	Centre	1
2019	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	27	Centre	0
2019	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	28	Centre	0
2019	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	29	Centre	1
2019	4	Tenira	Pommier	Golden Delicious	30	Centre	0

Tableau 3. Comparatif de répartition spatiale des effectifs de larves diapausantes de *C. pomonella* entre deux vergers de pommier de la variété Golden Delicious : l'un intensif du site de Tenira (17) et l'autre extensif du site de Sehala Thaoura (4), en 2018.

Année	Culture	Variété	Bandes pièges	Localisation	Nombre de larves	
					Tenira	Sehala
2018	Pommier	Golden Delicious	1	Extrémité	1	11
2018	Pommier	Golden Delicious	2	Extrémité	0	61
2018	Pommier	Golden Delicious	3	Extrémité	0	9
2018	Pommier	Golden Delicious	4	Extrémité	2	12
2018	Pommier	Golden Delicious	5	Extrémité	1	27
2018	Pommier	Golden Delicious	6	Extrémité	1	19
2018	Pommier	Golden Delicious	7	Extrémité	0	43
2018	Pommier	Golden Delicious	8	Extrémité	7	39
2018	Pommier	Golden Delicious	9	Extrémité	1	51
2018	Pommier	Golden Delicious	10	Extrémité	1	89
2018	Pommier	Golden Delicious	11	Centre	0	109
2018	Pommier	Golden Delicious	12	Centre	6	19
2018	Pommier	Golden Delicious	13	Centre	4	47
2018	Pommier	Golden Delicious	14	Centre	2	65
2018	Pommier	Golden Delicious	15	Centre	2	59
2018	Pommier	Golden Delicious	16	Centre	0	97
2018	Pommier	Golden Delicious	17	Centre	0	78
2018	Pommier	Golden Delicious	18	Centre	2	108

2018	Pommier	Golden Delicious	19	Centre	5	91
2018	Pommier	Golden Delicious	20	Centre	1	35
2018	Pommier	Golden Delicious	21	Centre	3	17
2018	Pommier	Golden Delicious	22	Centre	0	72
2018	Pommier	Golden Delicious	23	Centre	8	89
2018	Pommier	Golden Delicious	24	Centre	2	23
2018	Pommier	Golden Delicious	25	Centre	3	55
2018	Pommier	Golden Delicious	26	Centre	15	22
2018	Pommier	Golden Delicious	27	Centre	0	27
2018	Pommier	Golden Delicious	28	Centre	3	7
2018	Pommier	Golden Delicious	29	Centre	8	34
2018	Pommier	Golden Delicious	30	Centre	6	31

Tableau 4. Effet de la distance des bandes pièges par rapport à la bordure sur le nombre des larves diapausantes, pour les deux années d'études (2018 et 2019) pour les vergers de pommier, extensifs et intensifs, sans haie.

Distance à la bordure (mètre)	Nombre de larves	
	2018	2019
0	2	3
5	9	11
10	11	14
15	10	9
20	7	10
25	2	7
30	7	3
35	5	5
40	4	4
45	3	3
50	2	5
55	1	3
60	2	2

Tableau 5. Effet de la proportion des haies sur le nombre des larves diapausantes, pour les deux années d'études (2018 et 2019) dans les vergers de pommier.

Proportion des haies	Nombre de larves	
	2018	2019
0	10	13
10	5	9
20	4	7
30	3	5
40	2	3
50	0	1

Tableau 6. Localisation spatiale des effectifs de larves diapausantes dans les vergers de pommier (nombre moyen de larves \pm SE), pour les des deux années d'études : 2018 et 2019.

Année	Nombre de bandes pièges	Nombre moyen des larves diapausantes	
		Extrémité	Centre
2018	30	6	11
2019	30	7	10

Tableau 5. Effet de la proportion des haies sur le nombre des larves diapausantes, pour les deux années d'études (2018 et 2019), dans les vergers de poiriers.

Proportion des haies	Nombre de larves	
	2018	2019
0	9	11
10	5	7
20	3	5
30	2	3
40	1	2
50	1	0

Annexe 9

Tableau 1. Taux d'infestation des différentes variétés de pomme et de poire (% moyen \pm SE), par année d'étude : 2018 et 2019.

Variétés	Nombre de fruits Contrôlés	Nombre moyen des fruits infestés	
		2108	2019
Cascade		1,9	3,2
Early Red One		8	10,2
Eliot		1,6	2,2
Fuji		3,6	5,3
Gala Brookfield		4,1	5
Gala Buckeye		3,4	5,8
Gala Galaxy		3,6	4
Golden Delicious		20	21,6
Golden Pinkgold	1 000	4,7	7,5
Golden Reinders		6,9	9,1
Golden Smoothie		11,8	16,9
Golden Suprême		5,80	7,5
Granny Smith		6,3	11,9
Jeromine		5	6,9
Passe Crassane		0,3	0,5
Royal Gala		13	9,7
Santa Maria		5,3	5,2

Tableau 2.Taux d'infestation des principales variétés de pomme (% moyen \pm SE), par année d'étude : 2018 et 2019.

Variétés	Nombre de fruits Contrôlés	Nombre moyen des fruits infestés	
		2108	2019
Fuji		3,6	5,3
Gala Brookfield		4,1	5
Gala Galaxy		3,6	4
Golden Delicious	1 000	20	21,6
Golden Reinders		6,9	9,1
Golden Smoothie		11,9	16,9
Granny Smith		6,3	11,9

Tableau 3.Taux d'infestation des pommes (% moyen \pm SE), par orientation de la canopée des arbres.

Variétés	Nombre de fruits Contrôlés	Nombre moyen des fruits infestés Selon l'orientation de la canopée				
		Centre	East	Nord	Sud	ouest
Gala Brookfield		2,9	7,1	1,7	3,7	2,2
Golden Smoothie	1 000	7,4	31,7	4,3	17,5	5,7
Granny Smith		5,7	16,7	3,1	11,4	4,5

Tableau 4.Taux d'infestation (% moyen \pm SE) des pommes Golden Delicious en fonction de différents systèmes de conduite des vergers, pour les deux années d'études (2018et2019).

Système de conduite	Nombre de fruits Contrôlés	Nombre moyen des fruits infestés	
		2108	2019
Intensif		2	3,1
Extensif non irrigué	1 000	27,8	21,2
Extensif irrigué		10,9	11,2

Tableau 5.Taux d'infestation des principales variétés de poire (% moyen \pm SE), par année d'étude : 2018 et 2019.

Variétés	Nombre de fruits Contrôlés	Nombre moyen des fruits infestés	
		2108	2019
Cascade		1,9	3,1
Eliot	1 000	1,6	2,2
Passe Crassane		0,3	0,5
Santa Maria		5,3	5,2

Tableau 5.Taux d'infestation (% moyen \pm SE) des poiresGolden Delicious en fonction de différents systèmes de conduite des vergers, pour les deux années d'études (2018et2019).

Système de conduite	Nombre de fruits Contrôlés	Nombre moyen des fruits infestés	
		2108	2019
Intensif		2,5	3
Extensif non irrigué	1 000	12,7	10,6
Extensif irrigué		6,3	7,3

**PRODUCTIONS
SCIENTIFIQUES**

Publications internationales

Mahi T, Harizia A, Benguerai A, Canelo T, Bonal R, 2021. Assessment and forecast of damages caused by *Cydia pomonella* in apple orchards of Northern Africa (Algeria). Bull. Insect. 74(1), 139-146 (2021) <http://www.bulletinofinsectology.org/pdfarticles/vol74-2021-139-146>.

Communications internationales

Mahi T, Harizia A, Benguerai A. Fumigant toxicity of *Artemisia herba alba* Asso essential oil against the codling moth (*Cydia pomonella* L.). Séminaire International sur la Biodiversité, Environnement et Santé organisé, 21 et 22 Septembre 2021, Université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen.

Mahi T, Harizia A, Benguerai A. The damage of codling moth (*Cydia pomonella* L.) in two apple orchards (region of Sidi Bel Abbas). International Congress Valorization Of Bio resources: Application And Impact on Sustainable Development, 26-27 November 2019, University M'hamed Bougara Boumerdes.

Mahi T, Harizia A, Benguerai A. Dynamique spatio-temporelle du carpocapse (*Cydia pomonella*) dans la région de Sidi Bel Abbas. The 1st International Seminar Of Processing Technologies Of Agriculture In The Saharan Region (TAGS_2019), 2-3 November 2019, Douz, Kebili (Tunisia).

Mahi T, Harizia A, Benguerai A, Ouair D. Contribution à l'étude de l'activité antifongique des extraits de des feuilles de *Rosmarinus Officinalis*. Colloque International AGROSEM II, 9-10 Décembre 2018, Université Mohamed Kheider de Biskra-Algerie.

Communications nationales

Mahi T, Harizia A, Benguerai A. Variabilité des rendements en huile essentielle d'*Artemisia herba alba* collecté de la région de Sidi Bel Abbas et de Tlemcen. Conférence Nationale sur l'Environnement et le Développement Durable, 22-23 Janvier 2020, Université Mustapha Stambouli de Mascara.

Mahi T, Harizia A, Benguerai A. Analyse comparative des infestations du carpocapse *Cydia pomonella* dans deux parcelles de poiriers dans la région de Sidi Bel Abbas. L'Apport des Biotechnologies sur la Protection de l'Environnement, 15-16 Décembre 2019, Université Mohamed Boudiaf de M'sila.

Mahi T, Harizia A, Benguerai A. Le piégeage comme moyen de lutte dans deux vergers de pommiers dans la région de Sidi Bel Abbas. 1^{er} Séminaire Scientifique sur l'Etat de la Biodiversité dans les Parcours Steppiques : Inventaire et Valorisation, 28-29 Octobre 2019, Université Larbi Tebessi de Tébessa.

Mahi T, Harizia A, Benguerai A. Une stratégie de lutte contre le carpocapse *Cydia pomonella* dans la région de Tabia (Sidi Bel Abbas). 2^{eme} édition du symposium national : Protection des Végétaux en zones Arides, 12 Novembre 2019, Université Mohamed Kheider de Biskra-Algérie.

Mahi T, Harizia A, Benguerai A. Spatial distribution of the diapausing larva of the Codling moth in Sidi Bel Abbas's apple orchards. 5th GESD Laboratory Scientific day, 15 Mars 2022, Université Mustapha Stambouli de Mascara.

Assessment and forecast of damages caused by *Cydia pomonella* in apple orchards of Northern Africa (Algeria)

Tayeb MAHI¹, Abdelkader HARIZIA², Abdelkader BENGUERAI², Tara CANELO³, Raul BONAL^{3,4}

¹Research Laboratory on Biological Systems and Geomatics, Faculty of Natural and Life Sciences, Mascara University, Algeria

²Research Laboratory in Geo-Environment and Spaces Development, Faculty of Natural and Life Sciences, Mascara University, Algeria

³Forest Research Group, INDEHESA, University of Extremadura, Plasencia, Spain

⁴Department of Biodiversity, Ecology and Evolution, Faculty of Biological Sciences, Complutense University of Madrid, Spain

Abstract

The codling moth, *Cydia pomonella* (L.), is a major pest in apple orchards worldwide. We carried out a two-year study in Northern Africa (Algeria), where the environmental conditions could affect codling moth phenology and host selection. Infestation rates in Golden Smoothie apple orchards (18% on average) were twice as high compared to Gala Brookfield and Granny Smith due to differences in the nutrient content and maturation phenology. A significantly higher proportion of fruits were attacked in the eastern and southern sides of the canopies, doubling those recorded at the centre, northern or western orientations. Infestation rates at the eastern sides of Golden Smoothie apple trees (average 32%) were especially remarkable. Adult flight phenology did not differ between years, and infestation rates were related to the number of adults caught in the middle of the first flight period (beginning of May). Hence, farmers could predict infestation rates in advance and start treatments against eggs and larvae to avoid further damages when necessary. In the two study years, adult moth numbers were already very high then, with peaks of more than 40 adults collected per trap weekly (four times the threshold recommended to start treatment). The application of insecticides in our study area does not start until the last days of April, but our results show that this is too late. Treatments targeting eggs and larvae should start no later than April 12th, when adult numbers are not so high yet and there are already eggs. Only doing this it will be possible to keep apple infestation rates below the acceptable threshold for commercialization in this region of Algeria (Sidi Bel Abbes).

Key words: apple cultivars, apple damage, codling moth, flight phenology, orchards.

Introduction

The codling moth *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera Tortricidae) is a major pest in apple *Malus domestica* Borkh. (Rosales Rosaceae), pear *Pyrus communis* L. (Rosales Rosaceae) and walnut *Juglans regia* L. (Fagales Juglandaceae) orchards, being one of the most harmful pests in economic terms for fruit production worldwide (Riedl, 1983; Lacey and Unruh, 2005; Asser-Kaiser *et al.*, 2007). Codling moth larvae bore through the mesocarp towards the seed chamber and severely reduce apple quality (Öztemiz *et al.*, 2017). The fruit market demands high-quality fruits with no signs of damage by this pest. However, in spite of chemical control treatments, infestation rates often remain over 1%, which is an unacceptable level of damage according to the guidelines of apple production (Chen and Dorn, 2010; Pajač *et al.*, 2011). To be effective, control management needs to be based on sound information on pest life cycles and infestation rates, which may change based on geography. In this article, we study both in the main apple production region of Algeria, an area for which these data remain scarce.

The codling moth is distributed worldwide after being introduced from its native European distribution range (Riedl 1983; Willet *et al.*, 2009). In Europe, the life-cycle differs with latitude, in the north of its distribution range it is univoltine, whereas in the south of the continent, it may have up to three generations per year (Ricci *et al.*, 2009). In northern Africa, the number of generations may

be as high as five, depending on the latitude and elevation (Muhammad *et al.*, 2014; Guermah and Medjdoub-Bensaad, 2018). In turn, infestation rates may vary among host plants and among cultivars within the same plant species, as many hosts are fruit trees. In some trees (e.g., apple trees), certain cultivars have different sugar contents and maturation times that may make them more or less vulnerable to codling moth attacks (Lombarkia and Derridj, 2002; Brahim *et al.*, 2013; Joshi *et al.*, 2015).

The efficiency of any pest control management at a small (i.e. orchard) scale depends on its adaptation to the local phenology of codling moth populations (Judd *et al.*, 2005; Mahzoum *et al.*, 2017; Tomas *et al.*, 2018). Additionally, whenever possible, it is important to have clues (e.g. adult counts in traps) that allow forecasting the fruit damages and schedule pest control treatments. Furthermore, it is necessary to record infestation rates in a standard way to make measurements comparable. In this regard, in Algeria, the scarcity of detailed information on codling moth phenology and/or the lack of standard sampling method for adults and infestation rates complicate pest control planning. The general objective of this study is to contribute to reduce this knowledge gap and provide useful information to guide stakeholder decision-making and management.

We carried out a study in one of the major fruit production areas of northern Africa, the region of Sidi Bel Abbes (north-western Algeria). The codling moth *C. pomonella*, aphids *Aphis pomi* De Geer (Hemiptera Aphididae) and

Dysaphis plantaginea (Passerini) (Hemiptera Aphididae), the European red mite *Panonychus ulmi* (Koch) (Acari Tetranychidae) and scab *Venturia inaequalis* (Cooke) G. Wint. (Pleosporales Venturiaceae) are the most harmful pests and plant pathogen in these apple orchards. *C. pomonella* was by far the main moth species in our study area (accounting for more than 99% of the individuals trapped). Besides, we only collected 8 larvae that were identified thanks to DNA barcoding to the genus level as *Cadra* sp. (Tayeb Mahi *et al.*, unpublished results).

For two years (2018 and 2019), we monitored apple infestation rates and the number of larvae and adults following the first flight period. We did so in orchards subjected to the same management but with three different cultivars of apples, Golden Smoothie, Granny Smith and Royal Gala. We specifically assessed: i) whether infestation rates differed between apple varieties, ii) whether canopy orientation had an effect on the proportion of apples attacked by moths, iii) whether adult flight phenology varied between the two study years, and iv) whether the number of larvae and infestation rates were related to the number of adults caught at each orchard.

Materials and methods

Study sites and experimental design

All experiments and observations were conducted in the municipality of Tenira, the largest apple-producing region of Sidi Bel Abbes (Northwestern Algeria) (35°11'38"N 0°38'29"W). Fieldwork was carried out from the last week of March to the last week of June in two different years (2018 and 2019). The first flight period of adult moths takes place at this time of the year, when climatic conditions are also favourable for apple production (figure 1).

The experimental design consisted of three replicates of each of the three apple cultivars: Golden Smoothie, Granny Smith and Royal Gala (total 9 orchards, table 1). These varieties were chosen because they were among the most common in the region. To focus on the effect of apple variety and minimize undesired confounding factors, all the orchards selected had similar characteristics: density 2800 trees/ha and tree heights from 2.5 to 3.5 m; orchard age, size and altitude differed very little as well (table 1). The maximum distance between study sites was 3 kilometres. Apple production did not differ too much either: it ranged from 40000 to 50000 kg per hectare at the orchards of the three varieties. In our study area, the orchards were regularly managed at fixed dates with conventional insecticides, namely, Chlorpyrifos ethyl (PYRYCAL 480 EC) on April 28th with doses of 1 L/ha, Lambda cyhalothrine (KARATE ZEON) twice (May 20th and 30th) with doses of 0.5 L/ha and, finally, on June 15th with Fenoxycab (INSEGAR) with doses of 0.5 kg/ha at the very end of the first generation.

Fruit damage

We recorded damage on apple fruits by the first generation of codling moth larvae at the end of June, when adult first flight had finished. Following Ricci *et al.* (2009), we

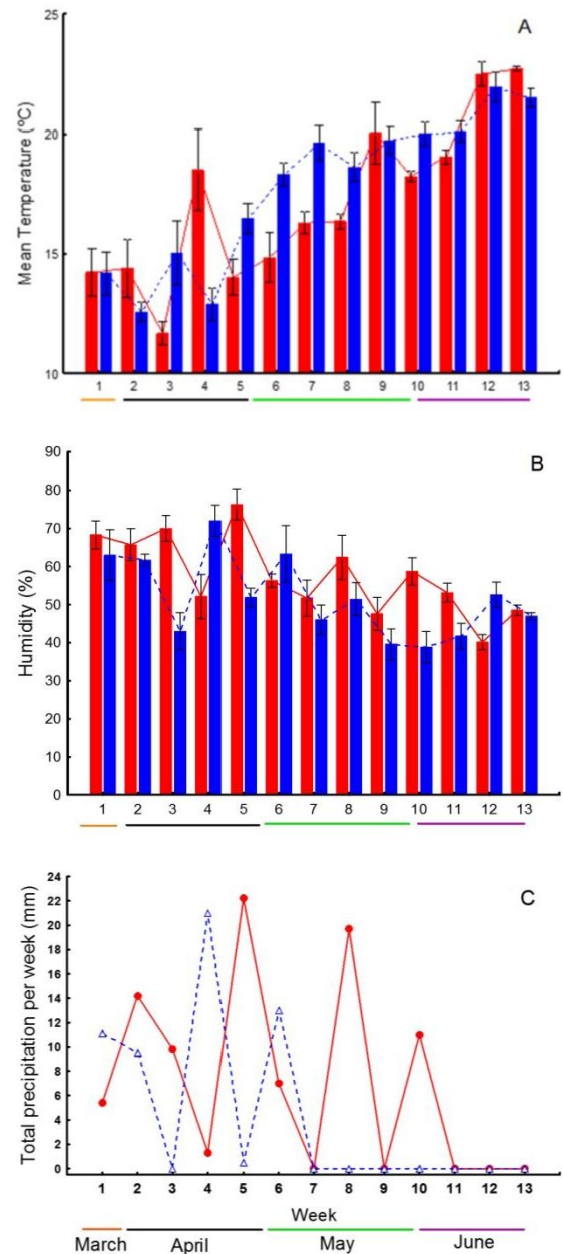
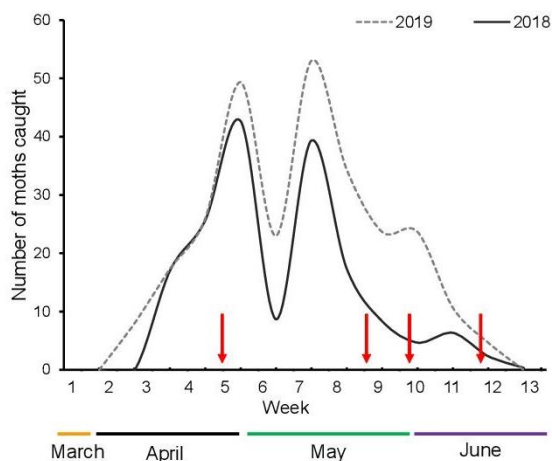


Figure 1. Mean temperatures (mean \pm SE) (**1A**), air humidity (mean \pm SE) (**1B**) and accumulated rainfall (mm) (**1C**). Data for 2018 (continuous red line, red bars) and 2019 (dashed blue line, blue bars) during the 13 weeks of the study period are shown. Week one starts in March 28th. Months are indicated with lines of different colours.

calculated infestation rates on 1000 fruits per orchard: at each orchard, 20 trees and 50 fruits per tree were taken randomly. To analyse the effect of canopy orientation, at each tree we collected 10 fruits per orientation (north, south, east, and west) and 10 more at the middle of the canopy. All these apple fruits were inspected in the field to see whether they had been attacked by *C. pomonella*

Table 1. Characteristics of the experimental orchards.

Orchard	Cultivar	Area (ha)	Elevation/m	Latitude/N	Longitude/W	Age (years)
1	Golden Smoothie	1.25	551	35°08'24"	0°40'42"	18
2	Golden Smoothie	2.25	551	35°08'10"	0°40'53"	18
3	Golden Smoothie	2.5	555	35°08'34"	0°42'02"	18
4	Gala Brookfield	2	560	35°08'31"	0°41'53"	14
5	Gala Brookfield	2	561	35°08'19"	0°41'54"	14
6	Gala Brookfield	2	659	35°01'15"	0°30'39"	18
7	Granny Smith	1.5	554	35°08'16"	0°41'00"	14
8	Granny Smith	1.5	699	35°00'26"	0°35'23"	14
9	Granny Smith	2	689	34°59'57"	0°35'29"	14

**Figure 2.** Flight phenology of *C. pomonella* adults (87% males) during the first flight periods of 2018 (continuous line) and 2019 (dashed line). The 13 study weeks and the corresponding months are shown. Week one starts on March 28th. The red arrows show the dates in which the insecticide treatments were applied.

or not. Infestation by *C. pomonella* can be visually checked easily, as attacked apple fruits show a dark scar (entrance hole with larval excrements inside).

Infestation rates were calculated as the number of infested fruits divided by 50 (the total number of fruits evaluated per tree). Rates were assessed in the last week of June, when adult first flight is over (figure 2) and most of the larvae of the first generation are finishing their development. By that date, almost all the infested apples are still in the canopy and we rarely saw any on the floor. In the case of the study trees, in very few could we see one or two fallen apple fruits. This did not bias or underestimate infestation rates, as all trees produced at least 150 apples. Manual fruit thinning (including the removal of infested apples) started in the first week of July, and hence did not affect our assessment of infestation rates.

Codling moth flight phenology

Codling moth males and females were monitored at each orchard with one green cardboard delta trap (two sides of 15 cm and a base of 20 cm) placed at one tree in the middle of the field. In all of them the distance from

the border was at least 25 m. The trap was hung in the outside part of the canopy at a height of 1.5 m above the ground on the last week of March. The traps were baited with red rubber septa with 3 mg of codlemone (commercial sex pheromone, PH-227-1 RR, RUSSEL IPM) (to attract males) and 2 ml of a pear ester (kairomone - (E, Z)-2,4-decadienoate) (synthesized at our chemistry laboratory to attract both males and females). These were deposited on the stuck plates of the traps, as recommended by Knight and Light (2005). The traps were checked weekly and all moths were counted, sexed and then removed. Pheromone and synthesized pear ester were renewed monthly and weekly respectively, and sticky inserts were changed if necessary. To take into account the potential effect that temperature could have on adult flight, we analysed mean daily temperatures, air humidity and rainfall recorded at the meteorological station of Sidi Bel Abbes (35°10'26"N 0°35'43"W), 20 km from the study area.

Number of larvae in the first generation

We assessed the number of larvae corresponding to the first generation using cardboard strip traps attached to the tree trunk. Larvae crawling down the trunk after finishing their development stopped when they arrived at the traps, within which they pupated. At each inspection, the number of larvae in the traps could be easily recorded. The traps were set at the beginning of May, in the middle of the first flight period (figure 2), when the first signs of infestation are usually observed in the developing apples. The final inspection of the traps was carried out on June 25th, once the first flight period was over (figure 2) and the larvae of the first generation had finished their development. After this, the cardboards were removed and replaced.

Statistical analysis

We analysed the effect of the apple variety on infestation rates using a generalized linear mixed model (GLMM). Infestation rate was the dependent variable (binomial distribution, number of apples infested vs non-infested), whereas the apple variety and the year were the independent factors. In a second GLMM we assessed whether canopy orientation (independent factor) had any effect on infestation rates after controlling for the year and apple variety. We also used a GLMM to test whether the variety and the year (independent factors) had any

effect on the number of larvae collected at each tree (Poisson distributed dependent variable). Finally, we performed a linear mixed model LMM to assess the relationship between the number of adults trapped at each orchard (independent variable) and the mean infestation rates (dependent variable). The same analyses were performed to examine the relationship between the number of adults per orchard and the mean number of larvae per tree.

In all GLMMs, the tree and the orchard identities were included as random factors, with the former nested in the latter. In LMMs, we only used one random factor (orchard identity), as the dependent variables were averaged per orchard. In GLMMs, we used Logit-link functions when the dependent variable was binomial and logarithmic for Poisson. The significance of the dependent variables was tested using the likelihood ratio test (LRT). Pairwise posthoc comparisons between the different levels of the significant independent factors were assessed using Tukey's tests. All the GLMMs were performed with the statistical analysis programme R Core Team (2016) using the following libraries: multcomp (Hothorn *et al.*, 2008), lme4 (Bates *et al.*, 2015) and ggplot2 (Wickham, 2016). The LMMs were carried out with the STATISTICA 7.0 software package (Statsoft. Ltd, Sweden).

Results

Fruit damage

Apple infestation rates differed across years ($df = 1$, $LRT = 22.30$, $P < 0.001$) and apple varieties ($df = 2$, $LRT = 7.98$, $P = 0.01$, figure 3). The interaction between the two factors was not significant ($df = 2$, $LRT = 3.30$, $P = 0.19$), as in both years, infestation rates were higher in Golden Smoothie apples, followed by Granny Smith and Gala Brookfield apples (figure 3). Posthoc tests showed that there were pairwise significant differences between Golden Smoothie and Gala Brookfield apples, and marginally significant differences with Granny Smith ones. On the other hand, infestation rates did not differ significantly between Gala Brookfield and Granny Smith apples (table 2).

Infestation rates differed significantly among canopy orientations ($df = 4$, $LRT = 805.74$, $P < 0.001$, figure 4). All posthoc pairwise comparisons were significant except between centre and west (table 3). The effect did not differ across years (interaction between factors not significant ($df = 4$, $LRT = 0.63$, $P = 0.95$), but it was affected by the apple cultivar ($df = 8$, $LRT = 38.97$, $P < 0.001$). In all cases, the highest infestation rates were recorded in the east, followed by the south, centre-west, and north; however, the magnitude of the differences changed between

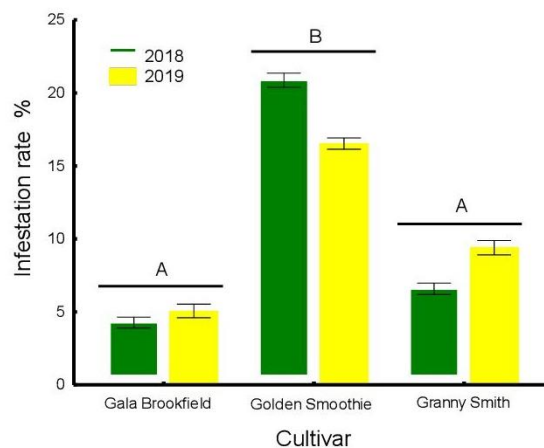


Figure 3. Apple infestation rates (mean \pm SE) in the three different apple cultivars and years. Different letters on the bars indicate statistically significant differences between groups.

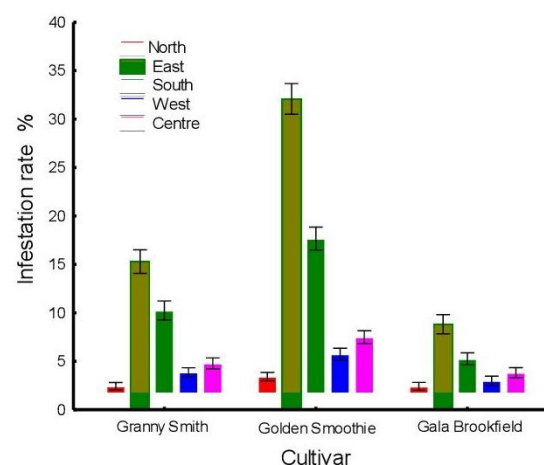


Figure 4. Apple infestation rates (mean \pm SE) in relation to canopy orientation.

cultivars (e.g., the differences between east and south were higher in Golden Smoothie apples than in Granny Smith apples, figure 4).

Codling moth flight phenology, larvae numbers and damage forecast

In 2018 and 2019, there were two major peaks of adult captures followed by a much smaller one (figure 2), this pattern was observed for the three apple varieties. Temperature increased during the first adult flight period in both years, but the average of daily mean temperatures

Table 2. Results of the pairwise comparisons (Tukey tests) of infestation rates between apple varieties.

Comparison	Estimate \pm SE	Z	P
Golden Smoothie - Gala Brookfield	1.25 \pm 0.35	3.52	0.001
Granny Smith - Gala Brookfield	0.51 \pm 0.35	1.43	0.32
Golden Smoothie - Granny Smith	-0.74 \pm 0.35	-2.09	0.09

Table 3. Results of the pairwise comparisons (Tukey tests) of infestation rates between canopy orientations.

Comparison	Estimate ± SE	Z	P
East-Centre	1.51 ± 0.08	17.37	0.001
North-Centre	-0.71 ± 0.12	-5.66	0.001
South-Centre	0.82 ± 0.09	8.96	0.001
West-Centre	-0.26 ± 0.11	-2.38	0.11
North-East	-2.22 ± 0.11	-20.01	0.001
South-East	-0.68 ± 0.07	-9.68	0.001
West-East	-1.77 ± 0.09	-18.75	0.001
South-North	1.53 ± 0.11	13.37	0.001
West-North	0.44 ± 0.13	3.40	0.005
West-South	-1.09 ± 0.09	-10.98	0.001

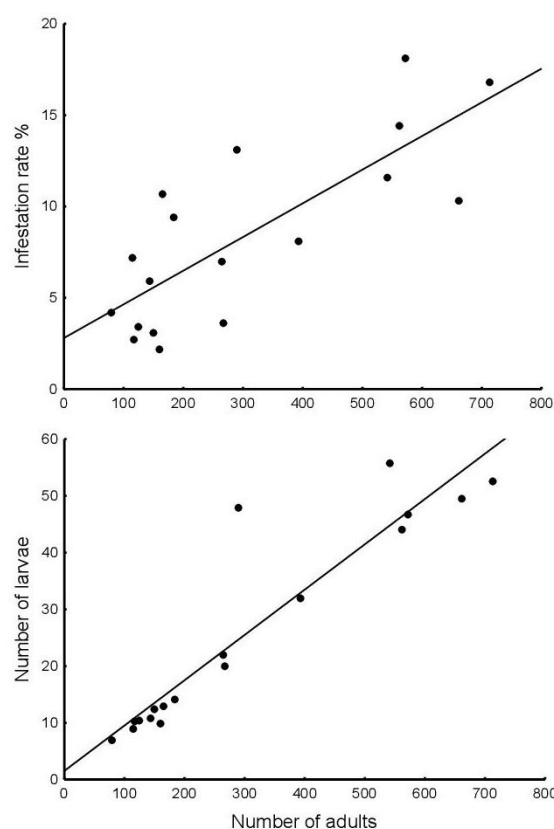
Table 4. Results of the pairwise comparisons (Tukey tests) of the number of larvae between apple cultivars.

Comparison	Estimate ± SE	Z	P
Golden Smoothie - Gala Brookfield	0.96 ± 0.42	2.29	0.05
Granny Smith - Gala Brookfield	0.02 ± 0.42	0.06	0.99
Granny Smith - Golden Smoothie	-0.93 ± 0.42	-2.22	0.06

did not differ between 2018 and 2019 ($F_{1,166} = 0.91$, $P = 0.34$, figure 1A). Mean air humidity was higher in 2018 ($F_{1,162} = 9.23$, $P < 0.01$), especially in the last 5 weeks of the study period (figure 1B). In 2019, no rainfall was recorded in those weeks (figure 1C), although the average daily rainfall across the whole study period did not differ significantly between years ($F_{1,166} = 1.31$, $P = 0.25$).

There were significant differences between years in the number of larvae trapped ($df = 1$, $LRT = 5.94$, $P = 0.01$). However, the effect of the year depended on the variety ($df = 2$, $LRT = 42.59$, $P < 0.001$). In Golden Smoothie apples, the number of larvae collected was significantly higher in 2018 than in 2019, whereas in the other two varieties, it was similar in both years. The pairwise posthoc tests showed that the pairwise comparisons between Golden Smoothie apples and the other two were very close to statistical significance (table 4).

The number of adults trapped was 1012 in 2018 and 821 in 2019. In both years males represented an 87% of the total sample, with almost no differences (1%) among varieties. The average number of larvae per tree was positively related to the number of adults trapped at the end of the first flight period ($F_{1,14} = 4344$, $P < 0.001$, figure 5, model $R^2 = 0.83$). Mean infestation rates were strongly related to the number of adult moths as well ($F_{1,14} = 274$, $P < 0.001$, figure 5, model $R^2 = 0.67$). The mean number of larvae per tree and infestation rates were also related to the number of adults collected at the middle of the first flight period ($F_{1,14} = 2800$, $P < 0.001$, model $R^2 = 0.48$) and ($F_{1,14} = 176$, $P < 0.01$, model $R^2 = 0.36$), respectively. The effect of the year or the interaction between the covariates and the factor were not significant in any model ($P > 0.30$ in all cases).

**Figure 5.** Relationship between the number of adults (87% males) collected at each orchard with apple infestation rates ($y = 0.018x + 2.798$) and with the mean number of larvae collected per tree ($y = 0.079x + 1.515$).

Discussion and conclusions

Fruit damage

Previous reports have shown differences in susceptibility to *C. pomonella* attacks among cultivars (Audemard *et al.*, 1979; Stoeckli *et al.*, 2009). We also found it in our study area: infestation rates in Golden Smoothie were twice as high compared to Gala Brookfield and Granny Smith. Some authors have proposed that codling moth females would prefer Golden Smoothie cultivar because of its sugar and polyphenol richness and its large crops (Lombarkia and Derridj, 2002; Brahim *et al.*, 2013). In our study area there were not significant differences among varieties in fruit production, but the sugar content could differ.

In addition, the semiochemicals could also play a role in host selection. Light *et al.* (2001) and Coracini *et al.* (2004) demonstrated that the volatiles produced by green apples could provoke olfactory responses in *C. pomonella* and stimulate egg laying. Some sesquiterpenes, (E,E)- α -Farnesene among them, are present in apples (Murray *et al.*, 1964) and have been shown to both attract *C. pomonella* adults and stimulate egg laying (Sutherland and Hutchins, 1972; Light *et al.*, 2001; Coracini *et al.*, 2004). In our study the pear ester was not very effective for trapping females, what could suggest that they are not too much attracted by these compounds. However, we must be cautious before making this statement, as the methodology used (combination of pear ester and pheromones in rubber septa) could have reduced its efficiency. In addition, attractiveness may change geographically and be higher in other *C. pomonella* populations (Preti *et al.*, 2021).

The phenology of fruit maturation may also explain infestation rates variability. Joshi *et al.*, (2015) reported that females preferred to oviposit on later maturing Golden Delicious cultivars than in the early maturing Gala ones. Accordingly, Sutherland *et al.*, (1977) found that codling moths preferred Golden Delicious, but only during the first generation, and Mahzoum *et al.*, (2017) confirmed the same in Morocco. Early in the season the late maturing Golden apples are comparatively richer in sugars and polyphenols than other varieties, what attracts egg-laying females (Yan *et al.*, 1999). Thus, if our study shows higher infestation rates in Golden Smoothie, this could differ later in the season (second and third flight periods). However, since most damage is due to the first generation larvae, our results will largely resemble the final infestation rates in each variety.

In the three study cultivars, the eastern and southern sides of the trees suffered stronger attacks than the rest. The highest rates were recorded in the east, especially for the Golden Smoothie. Interestingly, infestation followed the same decreasing trend in the three varieties, and was always lowest in the north. Factors such as temperature, light and humidity may explain these results. Stoeckli *et al.*, (2008) and Mahzoum *et al.*, (2017) reported that, during the first generation (G1), infestation rates were lower in the northern (coolest) side of the canopy. Arthropods are ectothermal organisms (Kührt *et al.*, 2006), and in April-May adults might avoid northern orientations. Moreover, adverse weather conditions increase mortality

of newly hatched larvae searching for fruits (Geier, 1963, Jackson, 1979), what could also reduce infestation rates in the cooler northern side of the canopies. These differences among canopy orientations could however change along the year, and disappear during the second and the third generations as temperatures increase. Whatever the case may be, these results have important methodological implications, and stress that it is mandatory to sample all sides of the canopy and its centre. This method should be implemented in Algeria to obtain unbiased and comparable data on infestation rates (as already recommended by Blomefield, (1997) for South Africa, MacLellan, (1962) for Australia and Meni Mahzoum *et al.*, (2017) for Morocco).

Codling moth flight phenology, larvae numbers and damage forecast

The meteorological conditions during the study were frequently favourable for the codling moth flight (dry weather with temperatures over 15°C, see Geier 1963). Average temperatures did not differ significantly between years, but there were some differences at the beginning and the end. The first flight started one week earlier in 2019, as temperatures were slightly higher in late March and higher temperatures advance adult emergence (Damos *et al.*, 2018). In both years it ended in the second fortnight of June (June 21st), but the number of adults collected in the last four weeks was lower in 2018. In that year there was a higher humidity and rainfall in late May-June, and adverse weather conditions hampers adult moth movement (Geier, 1963). In other regions of Algeria, the first flight begins at a similar date (Guermah and Medjdoub-Bensaad, 2016; 2018) and may finish earlier or later depending on the weather conditions and altitude, as both affect temperature and hence *C. pomonella* development speed (Brahim *et al.*, 2013; Iraqui and Hmimna, 2016).

Other environmental factors, such as the effects of crop management and orchard practices, may also influence codling moth biological parameters, and their role should not be underestimated (Joshi *et al.*, 2016). Our study orchards were treated with insecticide from the middle of the first flight (late April) period onwards, what may have effects on both adults and larvae. *C. pomonella* populations are larger in abandoned orchards (absence of chemical insecticide programs) than in commercial (sprayed) ones (Joshi *et al.*, 2016). Moreover, insecticide may affect not only insect numbers, but also *C. pomonella* phenology at different stages of the life cycle (Boivin *et al.*, 2003, Lue, 2005; Joshi *et al.*, 2016). Boivin *et al.* (2003) showed that the fixation of alleles that confer resistance against pesticides could have pleiotropic effects and delay adult emergence. However, the emergence dates in our study sites were very similar (beginning of April) to those recorded at Algerian organic orchards (not treated with insecticides) (Belkadi and Hamli, 1998; Guermah and Medjdoub-Bensaad, 2016). This lack of differences may be because our data correspond to first generation adults, and the side effects of insecticide resistance on phenology (if occurred) would be more likely from the second generation onwards (Boivin *et al.*, 2003).

In spite of the slight differences in the onset of adult

flight, the peaks of moth abundance were coincident between years and allowed anticipating larval population size and fruit damage. The number of adults collected during the whole first flight period was strongly correlated with the number of larvae and infestation rates. The moderate differences between orchards in apple production have probably favoured such a strong correlation. As the number of apples available for ovipositioning does not differ too much among orchards, infestation rates will mostly depend on the number of adult moths at each site. Thus, our data show that using a single adult trap per apple orchard is enough to assess those key variables for pest management. Moreover, we found that these data can predict in advance, as the number of adults trapped at the middle of the first flight period (first week of May) was already very high and significantly related to the final number of larvae and infestation rates.

Summarizing, our results show that infestation rates were higher in Golden Smoothie, and stress that unbiased estimations of apple infestation rates need to be balanced among canopy orientations. Adult flight phenology did not change too much between years, and the number of adults trapped in the middle of the first flight period (early May) predicted final infestation rates. Current control management in northern Algeria starts at the end of April, but our data show that is too late according to *C. pomonella* flight phenology. By that time, the accumulated number of adults collected per trap since the beginning of the season was over 200, with weekly peaks of more than 40, largely higher than the 5-10 recommended to start treatments (Charmillot and Höhn, 2004). In the second week of April the number of adults trapped was in both years over 10, and the adults emerged at the beginning of the month would have already laid eggs (Geier, 1963). In the Sidi Bel Abbes area (Algeria), insecticide treatments against eggs and larvae should start no later than April 12th to reduce apple infestation rates below the acceptable threshold for commercialization.

Acknowledgements

Tayeb Mahi would like to thank the head of the Laboratory of Research on Biological Systems and Geomatic of the University of Mascara, Abderahmanne Hamimed, for material support. The authors are also thankful to many commercial apple orchard owners in Sidi Bel Abbes region for allowing access to their orchards to conduct field research work.

References

- ASSER-KAISER S., FRITSCH E., ÜNDORF-SPAHN K., KIENZLE J., BERLE K. E., GUND N. A., REINEKE A., ZEBITZ C. P. W., HECKEL D. G., HUBER J., JEHLE J. A., 2007.- Rapid emergence of baculovirus resistance in codling moth due to dominant, sex-linked inheritance.- *Science*, 317 (5846): 1916-1917.
- AUDEMARD H., EL IDRISSE M. A., 1979.- Etude de la sensibilité des poires aux attaques de carpocapse (*Laspeyresia pomonella* L.): premiers résultats.- *Comptes Rendus des Séances de l'Académie d'Agriculture de France*, 65 (5): 427-437.
- BATES D., MAECHLER M., BOLKER B., WALKER S., 2015.- Fitting linear mixed-effects models using lme4.- *Journal of Statistical Software*, 67: 1-48.
- BELKADI S., HAMLICHI C., 1998.- Etude du comportement du carpocapse du pommier (*Laspeyresia pomonella* L.) et estimation des dégâts au niveau de la Station Régionale de Protection des Végétaux de Aïn-touta, pp. 78-86. In: *2èmes journées techniques phytosanitaire. Institut National de Protection des Végétaux*.
- BLOMEFIELD T., PRINGLE K., SADIE A., 1997.- Field observations on oviposition of codling moth, *Cydia pomonella* (Linnaeus) (Lepidoptera: Olethreutidae), in an unsprayed apple orchard in South Africa.- *African Entomology*, 5 (2): 319-336.
- BOIVIN T., BOUVIER J., BESLAY D., SAUPHANOR B., 2003.- Phenological segregation of insecticide resistance alleles in the codling moth *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae): a case study of ecological divergences associated with adaptive changes in populations.- *Genetical Research*, 81 (3): 169-177.
- BRAHIM I., LOMBARKIA N., MEDJEDBA A., 2013.- Study of spawning behavior of codling moth (*Cydia pomonella* L.) (Lepidoptera, Tortricidae) on two varieties of apple tree (*Malus domestica* Borkh.).- *Agronomie Africaine*, 25 (3): 195-205.
- CHARMILLOT P. J., HÖHN H., 2004.- *Carpocapse des pomme et des poire* *Cydia pomonella* L., n. 101.- Agroscope RAC et FAW, Wädenswil, Switzerland.
- CHEN M. H., DORN S., 2010.- Microsatellites reveal genetic differentiation among populations in an insect species with high genetic variability in dispersal, the codling moth, *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera, Tortricidae).- *Bulletin of Entomological Research*, 100 (1): 75-85.
- CORACINI M., BENGTSSON M., LIBLIKAS I., WITZGALL P., 2004.- Attraction of codling moth males to apple volatiles.- *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 110 (1): 1-10.
- DAMOS P. T., KOULOSSIS N. A., KOVEOSA D. S., 2018.- Degree-day phenological model for *Cydia pomonella* and its validation in a Mediterranean climate.- *Bulletin of Insectology*, 71 (1): 131-142.
- GEIER P. W., 1963.- The life history of codling moth, *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae), in the Australian Capital Territory.- *Australian Journal of Zoology*, 11 (3): 323-367.
- GUERMAH D., MEDJDOUB-BENSAAD F., 2016.- Population dynamics of the codling moth *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) on two apple varieties in Algeria.- *International Journal of Biological Research and Development*, 6 (2): 1-8.
- GUERMAH D., MEDJDOUB-BENSAAD F., 2018.- Dégâts causés par le carpocapse *Cydia pomonella* L. dans deux parcelles de pommier de variété dorset golden dans la région de Draa Ben Khedda et golden delicious dans la région de Sidi Naamane (Algerie).- *Lebanese Science Journal*, 19 (3): 330-342.
- HOTHORN T., BRETZ F., WESTFALL P., 2008.- Simultaneous inference in general parametric models.- *Biometrical Journal*, 50 (3): 346-363.
- IRAQUI S. E., HMIMINA M., 2016.- Assessment of control strategies against *Cydia pomonella* (L.) in Morocco.- *Journal of Plant Protection Research*, 56 (1): 82-88.
- JACKSON M., 1979.- Codling moth egg distribution on unmanaged apple trees.- *Annals of the Entomological Society of America*, 72 (3): 361-368.
- JOSHI N. K., RAJOTTE E. G., MYERS C. T., KRAWCZYK G., HULL L. A., 2015.- Development of a susceptibility index of apple cultivars for codling moth, *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae) oviposition.- *Frontiers in Plant Science*, 6: 1-13.

- JOSHI N. K., RAJOTTE E. G., NAITHANI K. J., KRAWCZYK G., HULL L. A., 2016.- Population dynamics and flight phenology model of codling moth differ between commercial and abandoned apple orchard ecosystems.- *Frontiers in Physiology*, 7: 28-40.
- JUDD G. J. R., GARDINER M. G. T., DELURY N. C., KARG G., 2005.- Reduced antennal sensitivity, behavioural response and attraction of male codling moths, *Cydia pomonella* (L.), to their pheromone (E,E)-8,10-dodecadien-1-ol following various pre-exposure regimes.- *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 114 (1): 65-78.
- KNIGHT A. L., LIGHT D. M., 2005.- Developing action threshold for codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) with pear ester and codlemone-baited traps in apple orchards treated with sex pheromone mating disruption.- *Canadian Entomologist*, 137: 739-747.
- KÜHRT U., SAMIETZ J., DORN S., 2006.- Thermal response in adult codling moth.- *Physiological Entomology*, 31 (1): 80-88.
- LACEY L. A., UNRUH T. R., 2005.- Biological control of codling moth (*Cydia pomonella*, Lepidoptera: Tortricidae) and its role in integrated pest management, with emphasis on entomopathogens.- *Vedalia*, 12 (1): 33-60.
- LIGHT D. M., KNIGHT A. L., HENRICK C. A., RAJAPASKA D., LINGREN B., DICKENS J. C., REYNOLDS K. M., BUTTERY R. G., MERRILL G., ROITMAN J., CAMPBELL B. C., 2001.- A pear derived kairomone with pheromonal potency that attracts male and female codling moth, *Cydia pomonella* (L.).- *Naturwissenschaften*, 88 (8): 333-338.
- LOMBARKIA N., DERRIDJ S., 2002.- Incidence of apple fruit and leaf surface metabolites on *Cydia pomonella* oviposition.- *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 104 (1): 79-87.
- LUE E., 2005.- *Trade-offs between insecticide resistance and development time in codling moth*. - [online] URL: <https://nature.berkeley.edu/classes/es196/projects/2005final/Lue.pdf>
- MACLELLAN C. R., 1962.- Mortality of codling moth eggs and young larvae in an integrated control orchard.- *Canadian Entomologist*, 94 (6): 655-666.
- MENI MAHZOUM A., LAZRAQ A., EL GHADRAOUTI L., RAIS C., LOUAHLIA S., 2017.- Study of the dynamics of codling moth larvae (*Cydia pomonella* L.) in three varieties of Apple (*Malus domestica* Borkh.) in the region of Laanouer (Morocco).- *Research Journal of Pharmaceutical Biological and Chemical Sciences*, 8 (2): 696-703.
- MUHAMMAD S., MUKHTAR A., MUHAMMAD A., MAQSOOD H., SADAT S. K., 2014.- Codling moth damage assessment in apple fruit and its management using insecticide bioassays.- *European Journal of Experimental Biology*, 4 (5): 82-89.
- MURRAY K. E., HUELIN F. E., DAVENPORT J. B., 1964.- Occurrence of farnesene in the natural coating of apples.- *Nature*, 204 (4953): 80-80.
- ÖZTEMİZ S., KÜDEN A., NAS S., LAVKOR I., 2017.- Efficacy of *Trichogramma evanescens* and *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* in control of *Cydia pomonella* (L.) in Turkey.- *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 41: 201-207.
- PAJAČ I., PEJIC I., BARIĆ B., 2011.- Codling moth, *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) - major pest in apple production: an overview of its biology, resistance, genetic structure and control strategies.- *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 76 (2): 87-92.
- PRETI M., KNIGHT A. L., FAVARO R., BASOALTO E., TASIN M., ANGELI S., 2021.- Comparison of new kairomone-based lures for *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) in Italy and USA.- *Insects*, 12 (1): 72.
- RICCI B., FRANCK P., TOUBON J. F., BOUVIER J. C., SAUPHANOR B., LAVIGNE C., 2009.- The influence of landscape on insect pest dynamics: a case study in south eastern France.- *Landscape Ecology*, 24 (3): 337-349.
- RIEDL H., 1983.- Analysis of codling moth phenology in relation to latitude, climate and food availability, pp. 233-252. In *Diapause and life cycle strategies in insects* (BROWN V. K., HODEK I., Eds).- Dr. W. Junk, The Hague, The Netherlands.
- STOECKLI S., MODY K., DORN S., 2008.- Influence of canopy aspect and height on codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) larval infestation in apple, and relationship between infestation and fruit size.- *Journal of Economic Entomology*, 101 (1): 81-89.
- STOECKLI S., MODY K., GESSLER C., CHRISTEN D., DORN S., 2009.- Quantitative trait locus mapping of resistance in apple to *Cydia pomonella* and *Lyronetia clerkella* and of two selected fruit traits.- *Annals of Applied Biology*, 154 (3): 377-387.
- SUTHERLAND O. R. W., HUTCHINS R. F. N., 1972.- α -Farnesene, a natural attractant for codling moth larvae.- *Nature*, 239: 170.
- SUTHERLAND O. R. W., WEARING C., HUTCHINS R. F. N., 1977.- Production of α -farnesene, an attractant and oviposition stimulant for codling moth, by developing fruit of ten varieties of apple.- *Journal of Chemical Ecology*, 3 (6): 625-631.
- TOMAŠ V., ŠIMIĆ D., MIHALJEVIĆ I., DUGALIĆ K., VILJEVAČ VULETIĆ M., VUKOVIĆ D., ZDUNIĆ Z., BARIĆ B., BRMEŽ M., 2018.- The efficiency of biological control treatments of codling moth (*Cydia pomonella* L.) on three different apple varieties.- *Applied Ecology and Environmental Research*, 16 (2): 1293-1303.
- WICKHAM H., 2016.- *ggplot2: elegant graphics for data analysis*.- Springer-Verlag, New York, USA.
- WILLETT M. J., NEVEN L., MILLER C. E., 2009.- The occurrence of codling moth in low latitude countries: validation of pest distribution reports.- *HortTechnology*, 19 (3): 633-637.
- YAN F., BENGTSSON M., WITZGALL P. J., 1999.- Behavioral response of female codling moths, *Cydia pomonella* to apple volatiles.- *Chemical Ecology*, 25 (6): 1343-1351.

Authors' addresses: Tayeb MAHI (corresponding author: mahi.tayeb@univ-mascara.dz) Research Laboratory on Biological Systems and Geomatics, Faculty of Natural and Life Sciences, Mascara University, 29000 Mascara, Algeria; Abdelkader HARIZIA, Abdelkader BENGUERAI, Research Laboratory in Geo-Environment and Spaces Development, Faculty of Natural and Life Sciences, Mascara University, 29000 Mascara, Algeria; Raul BONAL, Department of Biodiversity, Ecology and Evolution, Faculty of Biological Sciences, Complutense University of Madrid, 28040 Madrid, Spain; Tara CANELO, Forest Research Group, INDEHESA, Centro Universitario de Plasencia, Avda Virgen del Puerto 2, University of Extremadura, 10600 Plasencia, Spain.

Received October 8, 2020. Accepted March 15, 2021.