



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 Batna 1

Institut des Sciences Vétérinaires et des Sciences Agronomiques

Département des Sciences Agronomiques

Laboratoire d'Amélioration des Techniques de Protection Phytosanitaire
en Agrosystèmes Montagneux : cas des Aurès (LATPPAM)

THÈSE

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE DOCTORAT EN SCIENCES

SPECIALITE : SCIENCES AGRONOMIQUES

OPTION : AGROTECHNIE

Thème

**Induction systémique de la résistance du pommier aux attaques du
carpocapse des pommes et des poires *Cydia pomonella* L.
(Lepidoptera, Tortricidae) par l'apport exogène des métabolites
primaires.**

Présentée par : M^{me} BOUHIDEL Ilhem

Jury :

Mr	LAAMARI MALIK	Professeur	Univ. Batna 1	Président
Mme	LOMBARKIA NADIA	Professeur	Univ. Batna 1	Directrice de thèse
Mr	BENSACI OUSSAMA ALI	MC.A.	Univ. Batna 1	Examineur
Mr	BOUNECHADA MUSTAPHA	Professeur	Univ. Ferhat Abbas Sétif 1	Examineur
Mr	MEBARKIA ABDELKRIM	Professeur	Univ. Ferhat Abbas Sétif 1	Examineur
Mme	RAZI SABAH	MC.A.	Univ. Med Khider Biskra	Examinatrice

Année universitaire : 2023 – 2024

DEDICACES

À la mémoire de mon très cher père : Saiid

A ma très chère mère : Fatima

A mon mari Djamel

A mes chers enfants : Fady, Oussama et ma petite Lyna.

A mes frères : Zoubir, Riadh et Fares

A mes sœurs : Djamila, Nadjwa et Ibtissem

A toute ma famille,

Je dédie ce modeste travail.

ILHEM

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail ; malgré sa dureté et sa longue durée ; où j'ai beaucoup appris tant sur le plan scientifique que personnel, je voudrais tout d'abord remercier Dieu le tout-puissant de m'avoir donné la force, le courage et la volonté afin de mener à bien ce travail. Je voudrais ensuite remercier toutes les personnes qui m'ont soutenu et qui ont cru en moi pour mener à bien cette thèse. Qu'elles trouvent dans ces mots l'expression de ma grande gratitude.

- Je tiens à exprimer ma sincère gratitude à ma directrice de thèse, Madame LOMBARKIA Nadia, Professeur à l'Université de Batna 1, pour la confiance qu'elle m'a témoignée en acceptant la direction scientifique de mon travail, pour le temps précieux qu'elle m'a accordé, pour ses qualités pédagogiques et scientifiques, sa modestie, sa patience et surtout pour ses précieux conseils et encouragements. Je lui suis profondément reconnaissante.
- Je remercie vivement Mr LAAMARI Malik, Professeur à l'Université Batna 1, pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de présider mon jury et de juger ce modeste travail.
- Mes sincères remerciements vont à : Monsieur BENSACI Oussama Ali, Maître de Conférence "A", à l'université de Batna 1, à Madame RAZI Sabah, Maître de Conférence "A", à l'université Mohamed Khider Biskra, et à Monsieur BOUNECHADA Mustapha, professeur à l'université Ferhat Abbas Sétif 1 et Monsieur MEBARKIA Abdelkrim, professeur à l'université Ferhat Abbas Sétif 1, de m'avoir accordé un peu de leur précieux temps pour lire et évaluer ce travail et de m'avoir fait l'honneur d'accepter de faire partie du jury.
- Je tiens également à exprimer ma sincère gratitude à tous mes étudiants du département des Sciences Agronomiques de l'université Batna1 (Ingénieurs et Masters) que j'ai encadré sur ce sujet et qui ont participé sur le terrain à la réalisation de ce travail.
- Un grand merci aux propriétaires de vergers qui nous ont permis d'accéder librement à leurs vergers à tout moment pour réaliser nos expériences.
- Enfin, je tiens à remercier toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à ce travail, que ce soit par leur participation ou leurs encouragements. Merci à mon mari le Professeur BELLALA Djamel, à Mme BADA Leila, à Mme CHADDA Dounia, BOUSAAD Khadra et à Mr BEGHAMI Riadh.

Table des matières

Liste des tableaux.....	i
Liste des figures.....	ii
Introduction.....	01
 Partie bibliographique 	
Chapitre I : Modalités de sélection de la plante-hôte par les insectes	
1.1. Les comportements de recherche et de choix de la plante-hôte.....	04
1.1.1. Recherche de la plante-hôte à distance.....	04
1.1.1.1/ Médiateurs chimiques utilisés dans la localisation à distance.....	04
1.1.1.2/ Caractéristiques visuelles de la plante.....	05
1.1.2. L'insecte au contact des plantes.....	05
1.1.2.1/ Stimuli physiques.....	05
1.1.2.2/ Stimuli chimiques.....	06
1.2. Organes impliqués dans la sélection de la plante-hôte.....	08
1.2.1. Les photorécepteurs.....	08
1.2.2. Les mécanorécepteurs.....	08
1.2.3. Les chimiorécepteurs.....	09
 Chapitre II : Mécanismes des défenses des plantes contre les insectes	
2.1. Défenses constitutives.....	11
2.1.1. Les barrières structurales constitutives.....	11
2.1.2. Les barrières chimiques constitutives.....	11
2.2. Défenses induites.....	12
2.2.1. Défenses induites directes.....	13
2.2.2. Défenses induites indirectes.....	16

Chapitre III : Implication des sucres solubles dans les réponses aux stress chez les plantes

3.1. Rôle métabolique des sucres.....	17
3.2. Rôles biochimiques des sucres dans les réponses aux stress.....	17
3.3. Rôle signalétique des sucres solubles.....	18
3.4. Régulation de l'expression des gènes par les sucres solubles.....	18

Chapitre IV : Aperçu générale sur le pommier *Malus domestica* Borkh. et son ravageur le carpocapse *Cydia pomonella* L.

4.1. Présentation du pommier.....	19
4.1.1. Origine et répartition.....	19
4.1.2. Importance économique.....	19
4.1.3. Maladies et ravageurs du pommier.....	19
4.2. Présentation du carpocapse des pommes et des poires <i>Cydia pomonella</i> L.....	20
4.2.1. Origine et aire de répartition.....	20
4.2.2. Description du carpocapse (<i>Cydia pomonella</i> L.).....	20
4.2.3. Cycle de vie	21
4.2.4. Dégâts occasionnés par <i>C. pomonella</i>	23
4.3. Méthodes de protection du pommier contre le carpocapse.....	23
4.3.1. L'estimation du risque.....	23
4.3.2. Lutte chimique.....	24
4.3.3. Luttes alternatives.....	24

Partie expérimentale

Chapitre I : Matériel et méthodes

1.1. Matériel expérimental.....	27
1.1.1. Matériel végétal.....	27
1.1.2. Matériel de laboratoire.....	28
1.1.3. Matériel du terrain	30

1.2. Méthodes de travail.....	32
1.2.1. Présentation des régions et des vergers d'étude.....	32
1.2.1.1. Situation géographique des régions d'étude.....	32
1.2.1.2. Présentation des vergers d'études (Ain Touta et Chelia).....	32
1.2.2. Critères de choix des vergers d'études.....	34
1.2.3. Dispositifs expérimentaux.....	35
1.2.4. Application des traitements.....	38
1.2.5. Estimation des dégâts.....	40
1.2.6. Détermination de types de dégâts larvaires	40
1.2.7. Estimation de la population par piégeage des larves.....	41
1.2.8. Efficacité des traitements.....	43
1.2.9. Analyses statistiques.....	43

Chapitre II : Résultats et Discussion

2.1. Résultats.....	44
2.1.1. Détermination de la dose du sorbitol la plus efficace.....	44
2.1.1.1. Dégâts larvaires à la récolte sur les deux variétés pendant l'année 2017.....	44
2.1.1.2. Types de dégâts larvaires enregistrés à la récolte sur les deux variétés pendant l'année 2017.....	47
2.1.1.3. Dénombrement de larves et chrysalides capturées dans les bandes pièges durant l'année 2017.....	50
2.1.2. Comparaison entre l'efficacité du sucre-alcool avec des sucres solubles.....	52
2.1.2.1. Dégâts larvaires à la récolte sur les deux variétés durant l'année 2018.....	52
2.1.2.2. Types de dégâts larvaires enregistrés à la récolte sur les deux variétés durant l'année 2018.....	54
2.1.2.3. Dénombrement de larves et nymphes capturées dans les bandes pièges durant l'année 2018.....	58
2.1.3. Combinaison du sorbitol avec un traitement phytosanitaire.....	60
2.1.3.1. Dégâts larvaires à la récolte sur les deux variétés durant l'année 2019.....	60
2.1.3.2. Types de dégâts larvaires enregistrés sur les deux variétés durant l'année 2019.....	65
2.1.3.3. Dénombrement de larves et chrysalides capturées dans les bandes pièges durant l'année 2019.....	69
2.1.4. Comparaison entre les deux variétés de pommes au cours des années 2017, 2018 et 2019.....	73

2.1.5. Effet du traitement à base de sorbitol 100 ppm sur les deux variétés de pommes en 2017, 2018 et 2019.....	74
2.2. Discussions.....	76
2.2.1. Effet des traitements au sorbitol sur les dégâts larvaires à la récolte.....	76
2.2.2. Effet des traitements au sorbitol sur le type de dégâts larvaires.....	81
2.2.3. Effet des traitements au sorbitol sur les chrysalides et les larves collectées dans les bandes de pièges.....	83
2.2.4. Comparaison entre les deux variétés de pommes au cours des années 2017, 2018 et 2019.....	85
2.2.5. Effet des traitements à base de sorbitol 100 ppm sur les deux variétés de pommes en 2017, 2018 et 2019.....	86
Conclusion et perspectives	88
Références bibliographiques	91
Annexes	
Résumés	

Liste des tableaux

Tableau 1. Caractéristiques des variétés de pommes étudiées	27
Tableau 2. Caractéristiques des vergers expérimentaux (Ain Touta et Chelia)	33
Tableau 3. Modalités testées et doses utilisées dans les essais réalisés sur pommiers en 2017	36
Tableau 4. Modalités testées et doses utilisées dans les essais réalisés sur pommiers en 2018	37
Tableau 5. Modalités testées et doses utilisées dans les essais réalisés sur pommiers en 2019	38
Tableau 6. Pourcentages de fruits attaqués sur arbre à la récolte et efficacités des traitements Abbott, dans les essais conduits en verger de pommiers à Ain Touta en 2017 sur les variétés Royal Gala et Golden Delicious.	45
Tableau 7. Pourcentage de fruits attaqués et tombés au sol à la récolte et efficacités des traitements Abbott dans les essais conduits en verger de pommiers d’Ain Touta en 2017 sur les variétés Royal Gala et Golden Delicious.	45
Tableau 8. Pourcentage de fruits attaqués sur arbre à la récolte et efficacités des traitements Abbott, dans les essais reconduits en 2018, sur la variété Golden Delicious.	46
Tableau 9. Pourcentage de fruits attaqués et tombés au sol à la récolte et efficacités des traitements Abbott, dans les essais reconduits en 2018, sur la variété Golden Delicious.	47

Liste des figures

Figures	Page
Figure 1. Structure de la cuticule des plantes	07
Figure 2. Schéma d'organisation des sensilles cuticulaires chimioréceptrices chez les insectes	10
Figure 3. Mécanisme de la résistance induite chez les plantes	13
Figure 4. Représentation simplifiée des événements moléculaires déclenchés chez les plantes après perception d'agressions biotiques.	15
Figure 5. Répartition générale de <i>Cydia pomonella</i> (L.)	20
Figure 6. Différents stades de <i>Cydia pomonella</i> L	21
Figure 7. Schéma d'une génération de <i>C. pomonella</i>	22
Figure 8. Différents types de dégâts du carpocapse sur fruits	23
Figure 9. Fruits des variétés de pommes étudiées : (a) Royal Gala ; (b) Golden Delicious	28
Figure 10. Sucres utilisés dans l'expérimentation	29
Figure 11. Insecticide (Décis 25 EC)	29
Figure 12. Pulvérisateurs à dos	30
Figure 13. Bandes-pièges	31
Figure 14. Piège à phéromones	31
Figure 15. Photos de Situation géographique des vergers d'études : (a) Verger de Ain Touta ; (b) : Verger de Chelia	34
Figure 16. Vue générale des vergers d'études : (a) Verger de Ain Touta ; (b) : Verger de Chelia	35
Figure 17. Plan expérimental des essais réalisés sur pommiers en 2017.	36
Figure 18. Plan expérimental des essais réalisés sur pommiers en 2018.	37

Figure 19. Plan expérimental des essais réalisés sur pommiers en 2019	37
Figure 20. Installation des pièges à phéromones	39
Figure 21. Fruits attaqués par <i>C. pomonella</i> L : (a) fruits attaqués sur arbres ; (b) fruits attaqués et tombés au sol	40
Figure 22. Dommages causés par <i>C. pomonella</i> sur pommes	41
Figure 23. Récupération des larves dans les bandes piégées	42
Figure 24. Attaques larvaires actives, stoppées et cicatrisées sur les fruits des variétés (a) Royal Gala et (b) Golden Delicious sur arbre à la récolte, dans les essais conduits en 2017 dans le verger d'Ain Touta.	48
Figure 25. Attaques larvaires actives, stoppées et cicatrisées sur les fruits tombés au sol des variétés (a) Royal Gala et (b) Golden Delicious, dans les essais conduits en 2017 dans le verger d'Ain Touta.	49
Figure 26. Nombre total moyen des larves et chrysalides en fonction des traitements réalisés dans le verger de Ain Touta en 2017 sur les variétés (a) Royal Gala et (b) Golden Delicious.	50
Figure 27. Nombre moyen des larves mâles, larves femelles et de chrysalides en fonction des traitements réalisés dans le verger de Ain Touta en 2017 sur les variétés (a) Royal Gala et (b) Golden Delicious.	51
Figure 28. Pourcentage de pommes attaquées sur arbre et efficacité Abbott en fonction des différents traitements réalisés dans le verger d'Ain Touta en 2018 sur les variétés (a) Royal Gala et (b) Golden Delicious.	53
Figure 29. Pourcentage de pommes attaquées et tombés au sol et efficacité Abbott en fonction des différents traitements réalisés dans le verger d'Ain Touta en 2018 sur les variétés (a) Royal Gala et (b) Golden Delicious.	54

Figure 30. Attaques larvaires actives, stoppées et cicatrisées sur les fruits des variétés (a) Royal Gala et (b) Golden Delicious sur arbre à la récolte, dans les essais réalisées en 2018 dans le verger d'Ain Touta.	55
Figure 31. Attaques larvaires actives, stoppées et cicatrisées sur les fruits tombés au sol des variétés (a) Royal Gala et (b) Golden Delicious à la récolte, dans les essais conduits en 2018 dans le verger d'Ain Touta	57
Figure 32. Nombre total moyen des larves et chrysalides en fonction des traitements réalisés dans le verger de Ain Touta en 2018 sur les variétés (a) Royal Gala et (b) Golden Delicious.	58
Figure 33. Nombre moyen des larves mâles, larves femelles et de chrysalides en fonction des traitements réalisés dans le verger de Ain Touta en 2018 sur les variétés (a) Royal Gala et (b) Golden Delicious	59
Figure 34. Pourcentage de fruits attaqués sur arbres et efficacité Abbott dans des essais conduits en 2019, en vergers de pommier (A : verger de Ain Touta) et (B : verger de Chelia), sur les variétés (a) Royal Gala et (b) Golden Delicious.	61
Figure 35. Pourcentage de fruits infestés et tombés au sol et efficacité Abbott dans des essais conduits en 2019, en vergers de pommier (A : verger de Ain Touta) et (B : verger de Chelia), sur les variétés (a) Royal Gala et (b) Golden Delicious.	63
Figure 36. Attaques larvaires actives, stoppées et cicatrisées sur les fruits des variétés (a) Royal Gala et (b) Golden Delicious, sur arbre à la récolte, dans les essais conduits en 2019, en vergers de pommier (A : verger de Ain Touta) et (B : verger de Chelia).	65

<p>Figure 37. Attaques larvaires actives, stoppées et cicatrisées sur les fruits tombés au sol des variétés (a) Royal Gala et (b) Golden Delicious, à la récolte, dans les essais conduits en 2019, en vergers de pommier (A : verger de Ain Touta) et (B : verger de Chelia.</p>	67
<p>Figure 38. Nombre total moyen de larves et de nymphes dans les bandes pièges placées dans (A) le verger d'Ain Touta et (B) le verger de Chelia en 2019, sur les variétés (a) Royal Gala et (b) Golden Delicious.</p>	70
<p>Figure 39. Nombre de larves mâles, de larves femelles et de chrysalides dans les bandes pièges placées dans le verger d'Ain Touta en 2019 sur les variétés (a) Royal Gala et (b) Golden Delicious.</p>	71
<p>Figure 40. Nombre de larves mâles, de larves femelles et de chrysalides dans les bandes pièges placés dans le verger de Chelia en 2019, sur les variétés (a) Royal Gala et (b) Golden Delicious.</p>	72
<p>Figure 41. Pourcentage d'infestation par <i>Cydia pomonella</i> des variétés de pommes Golden Delicious et Royal Gala à la récolte, en 2017, 2018 et 2019 pour le verger Ain Touta, et en 2019 pour le verger de Chelia.</p>	73
<p>Figure 42. Pourcentage de fruits infestés (sur arbre et tombés au sol) par <i>Cydia pomonella</i> à la récolte, des variétés de pommes (a) Golden Delicious et (b) Royal Gala, en 2017, 2018 et 2019 pour le verger Ain Touta, et en 2019 pour le verger de Chelia.</p>	74
<p>Figure 43. Efficacité des traitements au sorbitol à 100 ppm sur les arbres de (a) Royal Gala et (b) Golden Delicious, en 2017, 2018 et 2019 dans le verger d'Ain Touta, et en 2019 dans le verger de Chelia.</p>	75

Introduction

Le pommier joue un rôle socio-économique important en Algérie, avec une superficie totale d'environ 31 171 hectares et une production annuelle de 522 317 tonnes en 2022 (**FAO Stat, 2023**). L'Aurès, région montagneuse de l'Est Algérien, est l'une des principales zones de production de pommes en Algérie, notamment dans les régions de Batna et de Khenchela, où la culture du pommier est une activité intéressante et lucrative (**DSA, 2023a**). La superficie plantée en pommiers à Khenchela est estimée à 6000 hectares pour la campagne 2022-2023, avec une production de 1 815 000 quintaux, concentrée dans les communes de Bouhmama, M'sara, Yabous, Chelia, Khirane, Taouzianet, Remila, Tamza, Kaïs, Ensigha et Babar. La wilaya de Batna est considérée comme la deuxième wilaya productrice de pommes du pays après la wilaya de Khenchela, avec une production estimée à 1 370 000 quintaux pour la campagne agricole 2022-2023, et des vergers de pommiers d'une superficie de 5 500 hectares concentrés dans les communes d'Arris, Ichemoul, Foum El-toube, Inoughissen, Meryal, Oued Taga, Hidoussa et AinTouta (**DSA, 2023b**).

Cependant, cette culture est confrontée à un certain nombre de maladies et de ravageurs, en particulier le carpocapse *C. pomonella*, qui est considéré comme l'un des insectes ravageurs des vergers de pommiers les plus nuisibles dans le monde, causant des pertes annuelles de plus de 62 milliards de dollars à l'échelle mondiale (**Pszczolkowski, 2023**). Cette espèce est difficile à contrôler car les larves passent la majeure partie de leur vie à l'intérieur du fruit (**Losel et al., 2000 ; Ju et al., 2023**). Elles creusent des galeries dans la cavité du péricarpe et se nourrissent de la chair de la pomme, laissant des excréments à la surface et provoquant la nécrose du fruit (**Aydoğan et Unlü, 2019 ; Ju et al., 2023**). L'infestation des pommes provoque des dégâts qui réduisent la qualité des fruits, voire les rendent impossibles à commercialiser (**Stoeckli et al., 2012**). Dans les vergers non gérés, l'infestation peut atteindre 80 % (**Wan et al., 2019 ; Kashirskaya et al., 2021**) et peut même conduire à une perte totale de la production (**Aydoğan et Unlü, 2019 ; Mahi et al., 2021**).

Pour contrôler ce ravageur et réduire ses populations, les agriculteurs ont très souvent recours à la lutte chimique basée sur des formulations d'insecticides polyvalents et un nombre élevé de traitements (**Hmimina, 2007 ; Akrouf et al., 2023a ; Li et al., 2024**), ce qui entraîne de nombreux problèmes. Ces insecticides sont non spécifiques et éliminent les prédateurs et parasitoïdes nécessaires au contrôle naturel des ravageurs (**Akrouf et al., 2023b**). De plus,

Introduction

l'apparition de résistances de *C. pomonella* aux insecticides rend ces produits moins efficaces (Yang et Zhang, 2015 ; Ju *et al.*, 2023). Cette surutilisation augmente également les coûts de production et nuit à la santé des consommateurs et à l'environnement. Pour résoudre ces problèmes, certains agriculteurs utilisent des pièges sexuels pour raisonner les traitements et ne traitent que lorsque le seuil d'intervention est dépassé. Cependant, cette approche s'est révélée insuffisante lorsque les populations sont abondantes (Akrouit *et al.*, 2023b). L'utilisation d'insecticides à base de pathogènes naturels du carpocapse, comme *Bacillus thuringiensis* est coûteuse et doit être ingérée en grande quantité pour être efficace. Dans de telles situations, les fruits sont souvent endommagés avant que les larves ne meurent (Pszczolkowski, 2023). Une autre mesure de lutte qui a fait ses preuves dans plusieurs vergers est la confusion sexuelle, mais le succès de cette technique est conditionné par un certain nombre de paramètres difficilement contrôlables (taille de la parcelle, faible population initiale, parcelle isolée des autres parcelles de pommiers, coûts prohibitifs, etc.) (Morel *et al.*, 2013). Compte tenu de tous ces facteurs, la lutte contre le carpocapse reste un défi majeur pour les producteurs, nécessitant une recherche constante de nouvelles approches efficaces et durables.

Ainsi, l'utilisation des infra-doses de métabolites primaires pour perturber la ponte du carpocapse semble être un moyen prometteur de lutter contre ce ravageur, de réduire les dégâts et/ou de diminuer l'utilisation de produits phytosanitaires (Derridj *et al.*, 2011 ; Ondet, 2018 ; Arnault *et al.*, 2021).

Ces métabolites, appliqués à faible dose à la surface de la plante, constituent des signaux qui sont perçus par l'insecte au contact et influencent ensuite son comportement dans la sélection de la plante hôte pour l'oviposition (Lombarkia et Derridj, 2002, 2008 ; Derridj *et al.*, 2011 ; Amat *et al.*, 2024). Ils agissent également comme des molécules de signalisation chez les plantes capables d'activer des réponses de défense et donc d'augmenter leur résistance aux bioagresseurs (Trouvelot *et al.*, 2014 ; Tarkowski *et al.*, 2019 ; Yoon *et al.*, 2021 ; Li *et al.*, 2021 ; De Pascali *et al.* 2022). C'est le nouveau concept de " Sweet Immunity " ou "défense renforcée par les sucres" (Bolouri-Moghaddam et Van Den Ende, 2013 ; Arnault, *et al.*, 2021).

De nombreuses études ont exploré l'efficacité des sucres contre les bioagresseurs en arboriculture, viticulture, horticulture et grandes cultures, notamment dans le cadre des projets USAGE (2012-2015) et SWEET (2015-2019) en France et ANADIAG en Europe (Espagne, France, Grèce et Italie) de 2000 à 2007. Ces projets ont rapporté des résultats intéressants d'essais au champ utilisant des applications foliaires exogènes d'infra-doses de sucres contre certains herbivores et pathogènes tels que les chenilles de lépidoptères (carpocapse, pyrale), les

Introduction

insectes piqueurs suceurs (thrips, cicadelles), les oomycètes (mildiou et pourriture noire 'black rot' de la vigne) et d'autres ravageurs (Ferré *et al.*, 2008 ; Derridj, 2009, Derridj *et al.*, 2011, 2012 ; Arnault, 2015 ; Lambion et Mazollier 2016 ; Demaret, 2017 ; Ondet, 2018, Ondet *et al.*, 2019 ; Furet, 2019 ; Jacquot et Wright, 2019 ; Thibord *et al.*, 2019 ; Arnault *et al.*, 2012, 2015, 2016, 2018, 2021).

En Algérie, précisément à l'université de Batna 1, Lombarkia *et al.* ont mené depuis 2009 jusqu'à aujourd'hui plusieurs études, ciblant le carpocapse *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera, Tortricidae) sur les pommiers dans différentes régions. Ils ont testé différents sucres solubles (glucose, fructose et saccharose) et les résultats ont été très encourageants.

Les sucres solubles, saccharose et fructose, ont été approuvés comme substances de base pour la lutte contre le carpocapse (règlements d'exécution CE n°916/2014 et 2015/1392 respectivement) (Arnault *et al.* 2018 ; Ondet *et al.*, 2019). Cependant, aucune étude n'a été réalisée sur les sucres alcools, ce qui fait l'originalité de ce travail. Nous avons donc décidé de tester un sucre-alcool, le sorbitol, qui selon (Berüter *et al.*, 1997 ; Roessingh *et al.*, 1999 ; Roessingh *et al.*, 2000) est l'un des principaux métabolites primaires synthétisés par les plantes rosacées, jouant un rôle crucial dans la reconnaissance entre ces plantes et leurs ravageurs.

Durant ce travail, (i) dans un premier temps, une série d'essais a été menée en 2017 dans un verger de pommiers de la région de Batna sur deux variétés, Golden Delicious et Royal Gala, afin d'évaluer l'effet " Sucre-alcool " et de déterminer la dose la plus significative de ce type de sucre pour lutter contre le carpocapse *C. pomonella*. (ii) En 2018, des essais ont été menés dans la région de Batna pour comparer l'efficacité de sucre-alcool (sorbitol) avec des sucres ayant la propriété d'induire des réactions de résistance systémique chez le pommier, un disaccharide (saccharose) et des monosaccharides (fructose et glucose) sur deux variétés de pommes (Golden Delicious et Royal Gala). (iii) En 2019, des essais ont été réalisés sur les variétés Golden Delicious et Royal Gala dans des vergers situés dans deux sites géographiquement différents (Batna et Khenchela) afin d'évaluer l'effet de la combinaison du sorbitol avec un traitement chimique et d'étudier la possibilité de réduire la dose de ce produit phytosanitaire.

Partie bibliographique

Chapitre I : Modalités de sélection de la plante-hôte par les insectes

La plupart des insectes phytophages ont une durée de vie relativement courte, ils doivent donc être capables de chercher puis de sélectionner leur ressource trophique ou celle de leur progéniture avec efficacité, tout en adaptant ces comportements de recherche à l'environnement dans lequel ils évoluent. Les insectes disposent d'équipements sensoriels, mais aussi de registres comportementaux qui permettent une exploitation optimale de l'environnement végétal auquel ils sont confrontés (Thiéry *et al.*, 2013 ; Calatayud *et al.*, 2020).

1.1. Les comportements de recherche et de choix de la plante-hôte

Chez les insectes phytophages, la capacité de la femelle à localiser puis à reconnaître la plante appropriée est une des clés du succès de la descendance, en particulier lorsque les stades larvaires jeunes sont peu mobiles et ne peuvent corriger les erreurs de la mère. Le processus de localisation de la plante (recherche de sites d'accouplements, de refuge, de nutrition ou de ponte) peut se résumer en deux principales étapes : la localisation à distance et la reconnaissance finale au contact (Schoonhoven *et al.*, 2005 ; Thiéry *et al.*, 2013 ; Calatayud *et al.*, 2020).

1.1.1. Recherche de la plante-hôte à distance

La localisation à distance des plantes par les insectes est basée sur la combinaison des informations olfactives et visuelles (Brévault et Quilici, 2007). Les insectes détectent l'habitat de l'hôte grâce à des signaux chimiques perceptibles à distance émis par les plantes. Après leur arrivée dans l'habitat de l'hôte, la localisation s'effectue surtout à partir des caractéristiques visuelles de l'hôte (Thiéry *et al.*, 2013).

1.1.1.1/ Médiateurs chimiques utilisés dans la localisation à distance

Les médiateurs chimiques interviennent de façon importante dans l'attraction à distance des insectes vers la plante hôte (Bernays et Chapman, 1994 ; Thiéry *et al.*, 2013 ; Wang *et al.*, 2020). Ils correspondent très généralement à un mélange de composés organiques volatils qui sont perçus par les organes sensoriels situés sur les antennes de l'insecte.

Les composés volatils sont par définition des produits pouvant se disperser dans l'air par diffusion à partir de la zone d'émission. Les composés volatils se classent habituellement suivant leur famille chimique, leur origine biochimique, ou encore leurs propriétés physico-chimiques. Ils comprennent une grande variété d'alcools à chaîne courte, aldéhydes, cétones, esters, phénols aromatiques, lactones, mono- et sesquiterpènes (Thiéry *et al.*, 2013).

Partie bibliographique

Les études ont montré que la plante peut émettre des mélanges de, parfois, plus d'une centaine de composés olfactifs, cependant, l'insecte n'en détecte bien souvent qu'une dizaine, dont seulement quelques-uns sont réellement importants dans son choix (**Thiéry et al., 2013, Tibebu, 2018**).

1.1.1.2/ Caractéristiques visuelles de la plante

Les insectes, une fois arrivés dans l'habitat de la plante hôte, localisent les structures de plantes essentiellement, voire exclusivement, grâce à la vision (**Thiéry et al., 2013**). Les trois caractéristiques visuelles (stimuli visuels) des plantes qui influencent le comportement de sélection de l'hôte chez les insectes sont : La couleur, la silhouette (la forme) et la taille (**Schoonhoven et al., 2005**). Il a été montré, par exemple pour les mouches des fruits de la famille des Téphritidés, qu'elles repèrent leurs fruits dans leur environnement en fonction de différentes caractéristiques visuelles comme la silhouette de l'arbre ; puis, lorsqu'elles se rapprochent, la différence de qualité spectrale et de réfraction lumineuse entre le feuillage et les fruits les guide vers leurs cibles ; enfin, à près d'un mètre de distance, la taille et la forme des fruits déterminent leurs choix finaux (**Thiéry et al., 2013**).

1.1.2. L'insecte au contact des plantes

Lors de la sélection de la plante pour la ponte, la phase de contact est décisive. Cela d'autant plus que la majorité des larves néonates ont une mobilité et des réserves énergétiques faibles. Leur survie est en grande partie conditionnée par la localisation des œufs choisie par la femelle. Lorsque l'insecte se trouve sur la surface de la plante, il est en contact avec des stimuli physiques et chimiques souvent étroitement associés.

1.1.2.1/ Stimuli physiques

La sélection d'une plante par un insecte phytophage peut être expliquée en partie par des caractéristiques physiques du site de ponte comme la taille, la forme, la couleur, l'épaisseur de la feuille, la densité des trichomes et des stomates, la présence de cristaux des cires épicuticulaires ou de minéraux comme la silice, la texture ou le relief de la surface végétale (**Kanno et Harris, 2000 ; Thiéry et al., 2013**).

Chez certains papillons crépusculaires ou nocturnes, la texture joue un rôle important dans le choix du site de ponte (**Ramaswamy, 1988**). Pour le carpocapse par exemple, une surface lisse est favorable à la ponte et à l'adhérence de l'œuf (**Thiéry et Gabel, 1993**), alors que chez d'autres comme la noctuelle du maïs *Helicoverpa zea* (Lepidoptera, Noctuidae), c'est une surface pubescente qui est favorable à la femelle qui utilise les trichomes pour s'accrocher lors du dépôt de l'œuf (**Ramaswamy, 1988**).

Partie bibliographique

1.1.2.2/ Stimuli chimiques

Les informations chimiques complètent les informations physiques pour former dans le système nerveux central l'image sensorielle d'une plante hôte recherchée par l'insecte. Cette image sensorielle est ainsi reconnue par l'insecte (*host plant search image*) (Städler, 2002 ; Thiéry *et al.*, 2013).

Kennedy et Booth (1951) cités par Thiéry *et al.* (2013), ont basé la sélection de la plante hôte sur les métabolites à la fois secondaires et primaires, chacune des catégories pouvant avoir des effets positifs ou négatifs sur l'insecte selon leur qualité et/ou leur quantité. Les propriétés spécifiques de la perméabilité cuticulaire aux métabolites primaires signifient également que ces substances ubiquitaires peuvent en réalité constituer des images chimiques très spécifiques (Fuchs *et al.*, 2020 ; Wang *et al.*, 2020).

A. La cuticule végétale et les cires épicuticulaires

La cuticule végétale constitue la dernière étape au cours de laquelle l'insecte est en contact avec de nouveaux stimuli qui lui permettent d'accepter ou de refuser la plante pour pondre et/ou se nourrir. Même dans le cas où l'insecte pond dans le sol, la surface de la plante peut déterminer sa ponte (Finch et Collier, 2000). La cuticule est composée de lipides solubles ou de cires, et d'une matrice de cutine qui est un polymère lipidique insoluble (Figure 1). Parmi les cires, on distingue les cires épicuticulaires et intracuticulaires.

Les cires épicuticulaires sont celles qui constituent la partie la plus superficielle des cuticules et qui sont en contact avec l'insecte lorsqu'il atterrit et/ou se déplace sur la plante. C'est un film amorphe duquel émergent des structures cristallines constituées exclusivement de composés aliphatiques : alcanes, alcools, aldéhydes, acides gras et alkyl acétates. Cette composition les différencie des cires intracuticulaires, qui contiennent une forte majorité de triterpénoïdes et quelques composés aliphatiques (Jetter *et al.*, 2000; Vogg *et al.*, 2004). D'autres molécules non constitutives des cires peuvent être libérées lors des extractions de composés de surface. Elles sont à l'origine emprisonnées dans les cires parce qu'elles les traversent. C'est le cas des métabolites primaires et secondaires (Derridj, 1996 ; Mewis *et al.*, 2002 ; Vrieling et Derridj, 2003).

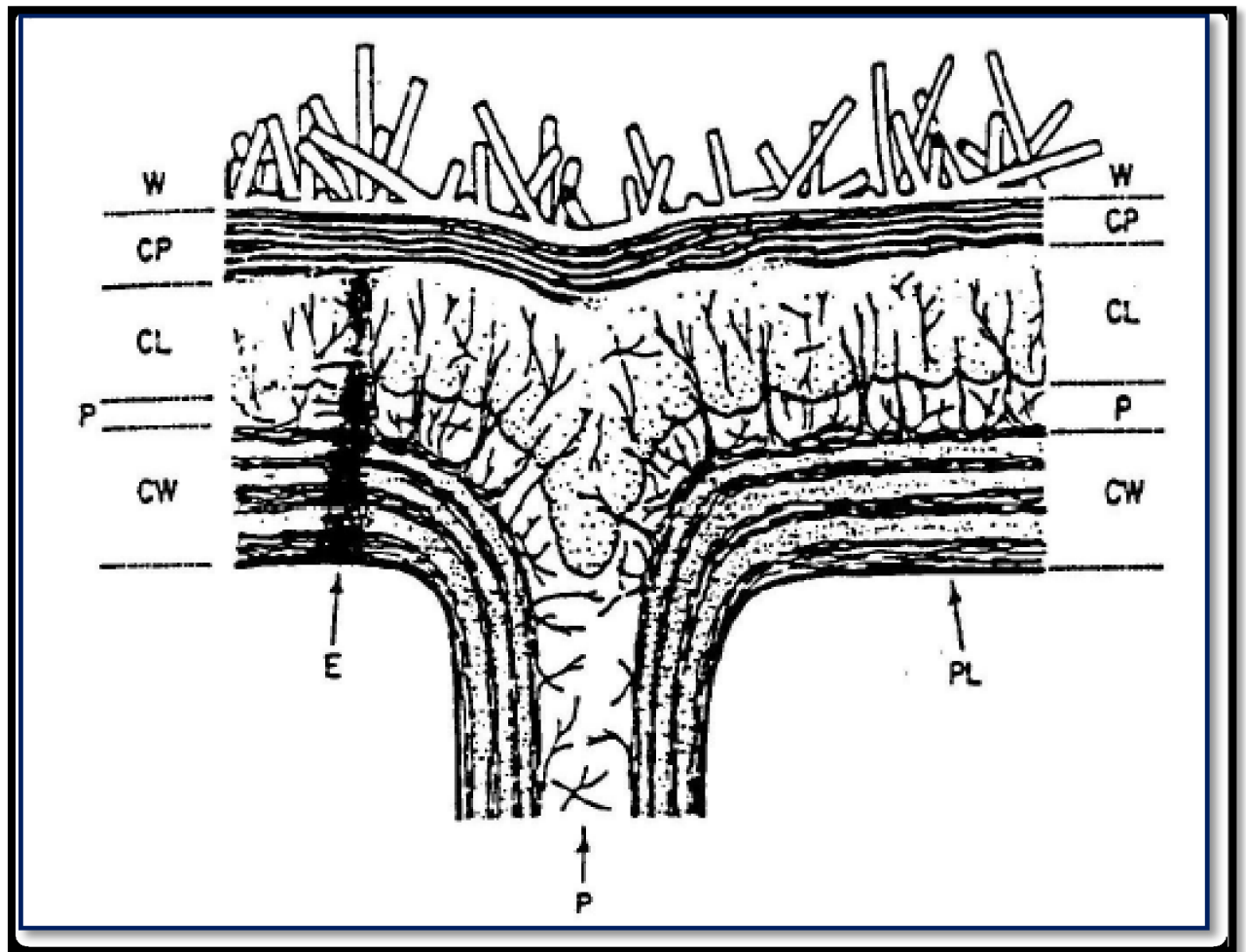


Figure 1. Structure de la cuticule des plantes (d'après Jeffree, 1986).

W : cires épicuticulaires, CP : cuticule primaire, CL: cuticule secondaire, P: pectine et lamelle moyenne, CW: paroi cellulaire, PL: plasmalemme.

B. Les métabolites de surface

Les métabolites primaires issus de la photosynthèse, les sucres, les vingt acides aminés libres, les acides organiques, les composés phénoliques et les métabolites secondaires tels que les alcaloïdes de la pyrrolizidine et les glucosinolates sont présents à la surface des feuilles. Une pulvérisation foliaire d'eau ultrapure pendant quelques secondes à une pression de 17 litres par minute permet de récupérer de très faibles quantités (quelques ng par cm²) de métabolites primaires (Fiala *et al.*, 1993 ; Derridj, 1996 ; Vrieling et Derridj, 2003).

Il a été démontré, sur des cuticules isolées sans stomates, que la diffusion des sucres solubles tels que le saccharose, le fructose et le glucose est sélective et varie selon les espèces végétales (Stammitti *et al.*, 1995). Les proportions des acides aminés libres à la surface de *Senecio* sp. (Asteraceae) permettent de discriminer les genres entre eux, ainsi que les espèces végétales (Soldaat *et al.*, 1996). Par conséquent, bien que présents dans toutes les plantes photosynthétiques, les

Partie bibliographique

métabolites primaires, grâce aux propriétés de perméabilité de la cuticule, peuvent donner à l'insecte des informations très spécifiques et stables par leurs proportions à la surface de la plante. Par exemple, les sucres solubles et les sucres alcools sont impliqués dans la reconnaissance et l'acceptation de la plante par de nombreux insectes pour la ponte (**Fiala *et al.*, 1993 ; Lombarkia et Derridj, 2002, 2008 ; Städler, 2002 ; Maher *et al.*, 2006**). Les quantités quant à elle, sont plus variables et fournissent des informations sur la physiologie de la plante et son adaptation à l'environnement.

1.2. Organes impliqués dans la sélection de la plante-hôte

Le système nerveux périphérique des insectes, est composé par l'ensemble des cellules sensorielles localisées à la périphérie du corps juste sous la cuticule. Selon leur morphologie et leur localisation, ces cellules sensorielles envoient des afférences soit vers le cerveau, soit vers les ganglions. Ces neurorécepteurs, abrités dans des expansions cuticulaires, permettent la détection de stimuli provenant de l'environnement (odeur, molécule sapide, stimulus visuel ou du toucher, sons, température ou humidité). On distingue les chimiorécepteurs, les mécanorécepteurs et les photorécepteurs (**Thiéry *et al.*, 2013**).

1.2.1. Les photorécepteurs

La lumière est perçue par différents types des récepteurs visuels (photorécepteurs). Dans la plupart des cas, ces récepteurs sont regroupés en organe sur la tête (yeux et ocelles) (**Thiéry *et al.*, 2013**). Certaines espèces possèdent simplement des récepteurs épidermiques et, dans d'autres cas, la lumière a un effet direct sur les cellules du cerveau (**Chapman, 2003 ; Thiéry *et al.*, 2013**).

Les yeux permettent à partir des informations transmises par chaque photorécepteur de reconstituer une image. Ils peuvent transmettre au système nerveux de l'insecte jusqu'à 100 images par seconde. Comparé à l'œil humain qui ne transmet qu'environ 20 images par seconde, cela en fait un dispositif très efficace pour détecter des objets en mouvements rapides. La qualité spectrale (les couleurs), les dimensions (la taille) et l'allure (la forme), sont des informations visuelles importantes détectées par les insectes pour sélectionner leurs plantes hôtes (**Schoonhoven *et al.*, 1998**).

1.2.2. Les mécanorécepteurs

La mécanoréception, d'après **Calatayud *et al.* (2013)**, correspond à la perception des signaux informationnels impliquant une énergie mécanique, thermique ou hygrométrique. Ces stimuli sont divers : ils font appel au toucher, au mouvement, à la gravité, au vent, à la vibration des ailes, la pression de l'air ou de l'eau, à la température, au son

Les insectes disposent de structures spécialisées, les sensilles, qui sont capables de détecter ces stimuli. Elles sont réparties sur presque tout le corps de l'insecte mais sont surtout concentrées sur

Partie bibliographique

les pattes, les antennes, les pièces buccales et les organes génitaux ou de ponte (**Calatayud et al., 2013, Amat et al., 2024**).

1.2.3. Les chimiorécepteurs

Les sensilles chimioréceptrices, olfactives et gustatives (**Figure 2**), ont pour fonction de détecter la présence de composés chimiques en suspension dans l'air ou dans un liquide. Les chimiorécepteurs olfactifs sont principalement rencontrés chez les insectes sur les antennes, en plus petit nombre sur les pièces buccales, sur les palpes maxillaires et parfois en petit nombre sur l'ovipositeur. Ils sont impliqués dans la localisation à distance de la nourriture, des sites de ponte et du partenaire sexuel (antennes), et dans l'analyse des odeurs du substrat alimentaire ou de ponte (pièces buccales, ovipositeur) (**Calatayud et al., 2013**).

En ce qui concerne les chimiorécepteurs gustatifs, ils sont principalement présents sur les pièces buccales, l'extrémité des pattes et l'ovipositeur, mais on les trouve également sur les antennes, les ailes et le reste du corps (**Chapman, 2003, Amat et al., 2024**). La chimioréception de contact permet aux insectes de contrôler la qualité de la nourriture ingérée, d'identifier les substances caractéristiques de leur plante hôte ou d'identifier les individus appartenant à la même colonie. Les récepteurs gustatifs sont également importants pour l'oviposition chez de nombreux insectes. Ces récepteurs sont sensibles aux composés en solution dans un liquide ou adsorbés à la surface de substrats plus secs comme les feuilles (**Calatayud et al., 2013**).

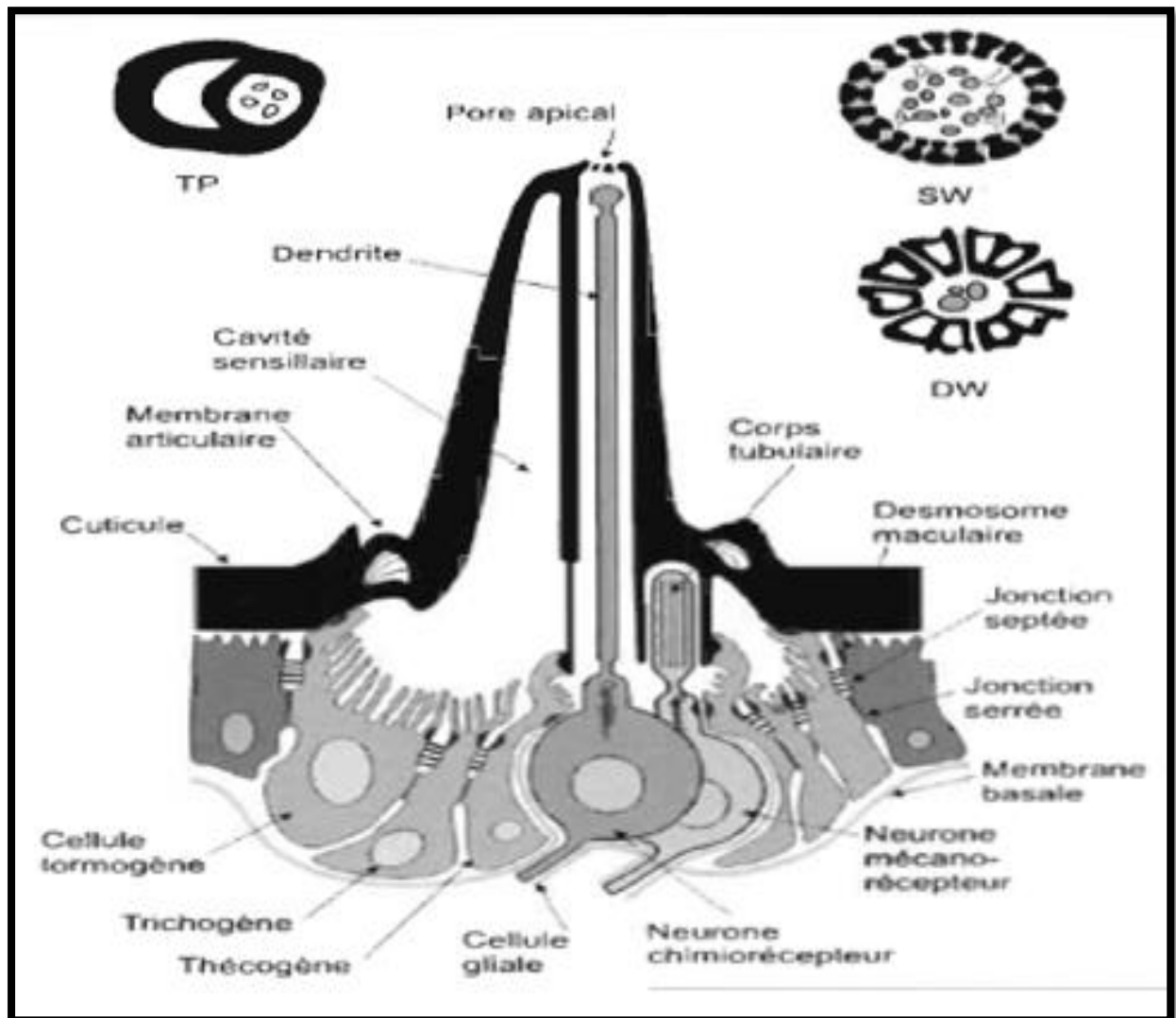


Figure 2. Schéma d'organisation des sensilles cuticulaires chimioréceptrices chez les insectes (Hansen, 1978 cité par Calatayud *et al.*, 2013).

Le schéma central représente une coupe longitudinale de sensille gustative typique. Celle-ci est composée de plusieurs éléments cellulaires ; des cellules épithéliales accessoires (cellule trichogène, thécogène et tormogène) et des cellules nerveuses bipolaires (neurones gustatifs et mécanorécepteurs). Les cellules accessoires ont pour fonction de mettre en place l'appareil cuticulaire (la soie, la membrane articulaire et la gaine interne) puis elles se modifient en cellules sécrétrices, responsables de la composition de la lymphe sensillaire qui établit un milieu aqueux tampon entre le milieu extérieur et les neurones sensoriels. De part et d'autre de ce schéma sont représentées des coupes transversales de sensilles, respectivement gustatives (TP = « terminal pore») à gauche, et olfactives (SW = «single wall sensilla», DW = «double wall sensilla») à droite.

Les sensilles olfactives ont exactement la même organisation que les sensilles gustatives et ne s'en distinguent que par la présence de pores sur toute la surface de la soie externe, contrairement aux sensilles gustatives qui n'ont qu'un pore terminal ou une couronne de pores. Si elles possèdent une membrane articulaire basale, elles sont probablement des mécanoréceptrices (Calatayud *et al.*, 2013).

Chapitre II : Mécanismes des défenses des plantes contre les insectes

Au cours de leur évolution, toutes les plantes ont élaboré un véritable «système immunitaire» capable de déceler un danger, que ce dernier soit de nature biotique (microorganisme pathogène, insecte ravageur) ou abiotique (pluie, grêle, gel, vent) (**Hammond- Kosack et Jones 2000, Saijo et Loo, 2020**). En l'absence des lymphocytes et anticorps que l'on retrouve dans le système immunitaire humain, le « système phytoimmunitaire » se distingue par la variété des molécules de défense qu'il produit en réponse à un stress (**Benhamou et Rey, 2012**).

Les plantes ont développé des mécanismes physiologiques, biochimiques et moléculaires pour répondre rapidement et efficacement aux stress et acquérir un nouvel équilibre entre croissance et défense. Généralement, ces réponses se produisent à travers une cascade d'événements qui commencent par la perception des changements environnementaux et se terminent par l'expression d'un large spectre de gènes induits par les informations de la plante (**De Pascali et al., 2022**)

2.1. Défenses constitutives

Chaque plante possède, de façon naturelle, une variété de moyens de défense constitutifs (**Lamers et al., 2020**). Ces mécanismes varient d'une plante à l'autre, car ils sont très souvent le résultat d'une adaptation temporelle à des conditions climatiques ou environnementales particulières (**Benhamou et Rey, 2012 ; Iqbal, 2021**). La résistance constitutive ou passive existe chez toutes les plantes, mais à des degrés divers, elle se divise en deux grandes catégories : 1) les barrières structurales constitutives et 2) les substances chimiques préformées.

2.1.1. Les barrières structurales constitutives

Les barrières structurales constitutives des plantes telles que la pilosité foliaire, la présence de cires à la surface des feuilles, les épines ou trichomes, et l'épaisseur de l'épiderme et de l'écorce, représentent le premier obstacle physique à l'alimentation des insectes phytophages (**Vaissayre et al., 2013 ; Saijo et Loo, 2020 ; Iqbal, 2021**).

2.1.2. Les barrières chimiques constitutives

Les barrières chimiques constitutives sont fabriquées continuellement, même en l'absence du ravageur. Au sein de ces molécules, appelées phytoanticipines, sont regroupés les glucosinolates, les glycoalcaloïdes, les benzoxazinoïdes (BX), les alcaloïdes, les lactones, les saponines, les glycosides cyanogéniques et les huiles (**Benhamou et Rey, 2012 ; Tibebu, 2018**). Les phytoanticipines sont principalement activées par la β -glucosidase au cours de l'herbivorie, ce qui entraîne la libération de

Partie bibliographique

divers métabolites aglycones biocides qui jouent un rôle important dans la défense des plantes contre les herbivores (**Tibebu, 2018**).

2.2. Défenses induites

Lorsque la résistance dite passive est insuffisante pour contrer une attaque par des agents biotiques ou abiotiques particulièrement agressifs, une résistance active se met alors en place ayant pour objectif la protection contre l'agresseur. La défense induite, dite active parce qu'elle est induite en réponse à un stress, est un phénomène très bien synchronisé au plan spatio-temporel. Elle est la résultante de toute une cascade d'évènements cytomoléculaires impliquant une large gamme de molécules produites de façon coordonnée, selon divers sentiers métaboliques (**Benhamou et Rey, 2012 ; Lamers *et al.*, 2020 ; Orozco-Mosqueda *et al.*, 2023**).

Les défenses induites (**Figure 3**), rapportent **Lieutier *et al.* (2013) ; Tibebu (2018)**, vont agir directement sur la physiologie et/ou le comportement des bioagresseurs (défenses directes) et les systèmes de défenses dites indirectes, impliquant une interaction entre des végétaux et des organismes du troisième niveau trophique (généralement des arthropodes entomophages).

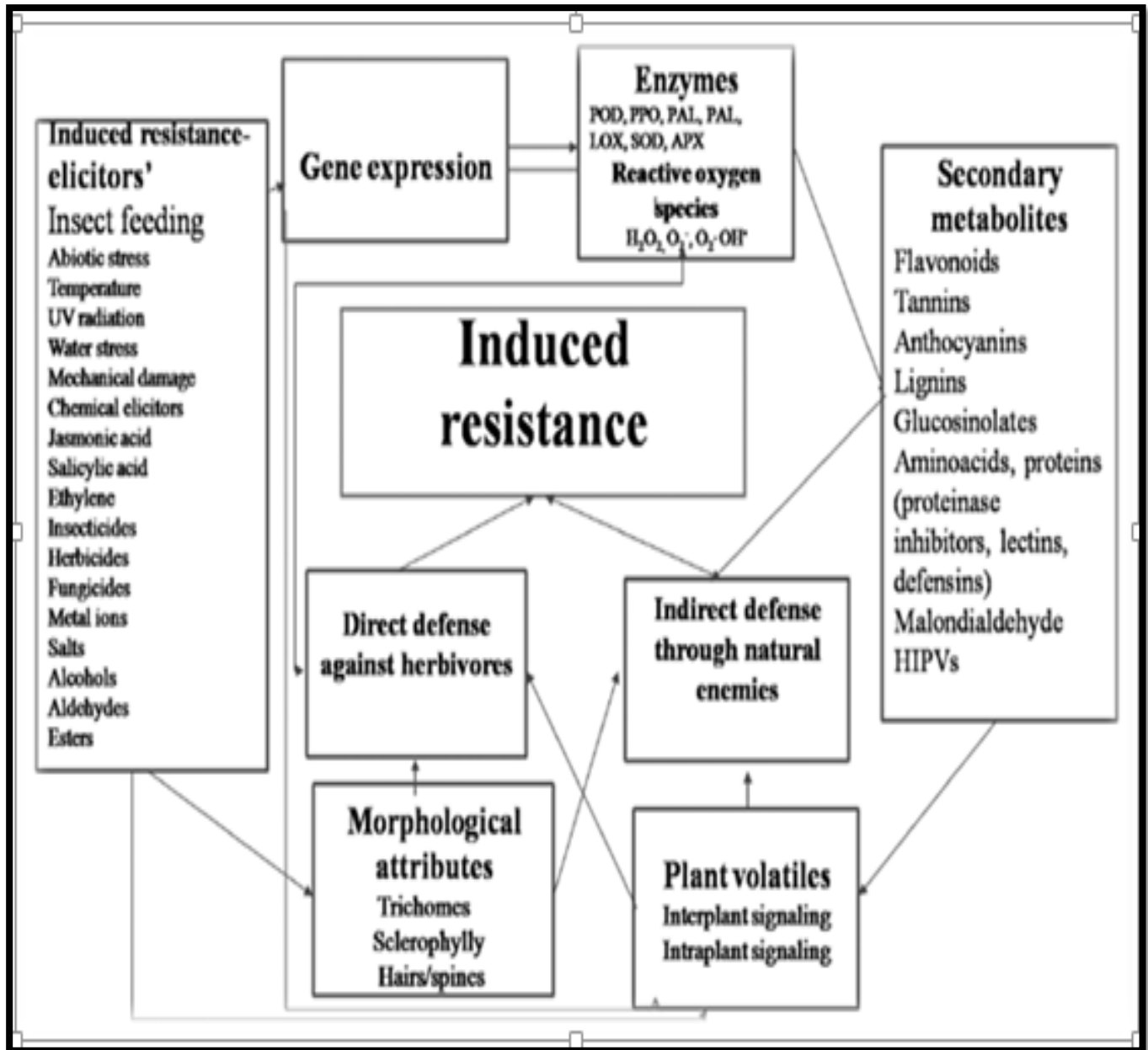


Figure 3. Mécanisme de la résistance induite chez les plantes (Tibebu, 2018).

2.2.1. Défenses induites directes

La résistance d'une plante ne peut se manifester qu'à la suite d'une attaque des bioagresseurs. On parle alors de résistance induite généralisée ou de résistance non spécifique, car les stratégies mises en place par la plante ne sont pas seulement ciblées contre l'agresseur ayant déclenché la machinerie, mais plutôt contre tout agresseur éventuel. Ainsi, la réponse induite de la plante s'inscrit dans une dualité d'action où la priorité est, dans un premier temps, de limiter l'attaque de l'agresseur, (réaction locale induite), et, dans un deuxième temps, d'alerter les cellules voisines afin qu'elles préparent activement leur propre défense (réaction systémique induite) (Benhamou et Rey, 2012 ; Lieutier *et al.*, 2013).

Partie bibliographique

2.2.1.1/ Réactions locales induites

La réaction induite locale ou réaction hypersensible, est exercé au niveau local, c'est-à-dire au site de l'agression (**Iqbal, 2021**). La réaction hypersensible agit sur les agresseurs par une combinaison de facteurs nutritionnels, physiques et chimiques, conduisant à la fois à des phénomènes d'antixénose et d'antibiose (**Lieutier et al., 2013**). Par exemple, Les lésions cellulaires mésophylliennes, provoquées par l'insertion des stylets des pucerons, peuvent induire toute une série de réactions locales qui impliquent des changements physiques tels que des modifications pariétales (**Divol et al., 2005**) et chimiques (**Lieutier et al., 2013**), comme la libération rapide de molécules d'oxygène réactives (OH^\cdot , H_2O_2 ...) qui dans certains cas conduisent à une réaction d'hypersensibilité se traduisant par la mort cellulaire autour du site d'alimentation (**Iqbal, 2021**). Lors de leur accès aux tubes criblés, de nombreuses protéines phloémiennes vont coaguler immédiatement après l'insertion des stylets et venir colmater la blessure (**Will et van Bel, 2006 ; Lieutier et al., 2013**). Quelques minutes après, un polymère de D-glucose associé par des liaisons β -1,3, la callose, se dépose et obstrue les plasmodesmes (**Lieutier et al., 2013**), ralentissant fortement le flux de sève et empêchant la prise alimentaire des aphides (**Will et al., 2007; Lieutier et al., 2013**). Les effets sur les insectes peuvent se manifester par une perturbation du comportement, une baisse de la consommation, un retard de croissance ou une mortalité plus élevée (**Larsson, 2002**).

2.2.1.2/ Réactions systémiques induites

L'expression de la résistance systémique induite (RSI) implique nécessairement la diffusion du message de stress en direction des tissus sains. Plusieurs molécules, connues sous le nom de messagers secondaires, ont été considérées comme des candidats idéals pour assurer cette signalisation (**Gaffney et al., 1993**), dont l'acide jasmonique (JA), un dérivé d'acide gras analogue aux prostaglandines médiatrices de l'inflammation produites chez les animaux (**Wasternack et Hause, 2013**). Par ailleurs, l'acide salicylique (SA), un dérivé aromatique, l'éthylène (ET), un gaz, ou encore l'acide abscissique (ABA), un sesquiterpénoïde, sont également des hormones associées à des réponses aux stress chez les plantes (**Heitz, 2018 ; Iqbal, 2021, Kheyri et al., 2022 ; Orozco-Mosqueda et al., 2023 ; Pérez Mora et al., 2024**). Elles interagissent de façon particulière avec la voie JA dans chaque type d'agression pour contrôler l'activation d'un spectre de défenses efficaces (**Heitz, 2018**). D'autres hormones, généralement associées au développement et à la croissance, comme l'auxine (IAA), l'acide gibbérellique (GA) sont affectées également, par exemple pour ralentir temporairement la croissance au site d'attaque lorsque les ressources doivent être redirigées vers la défense (**Heitz, 2018 ; Chen et al., 2020**).

Partie bibliographique

Parmi toutes les phytohormones (**Figure 4**), JA est essentielle pour favoriser le système de défense des plantes et interagit avec d'autres voies phytohormonales pour favoriser les réponses immunitaires des plantes (**Heitz, 2018 ; Iqbal, 2021 ; Pérez Mora et al., 2024**).

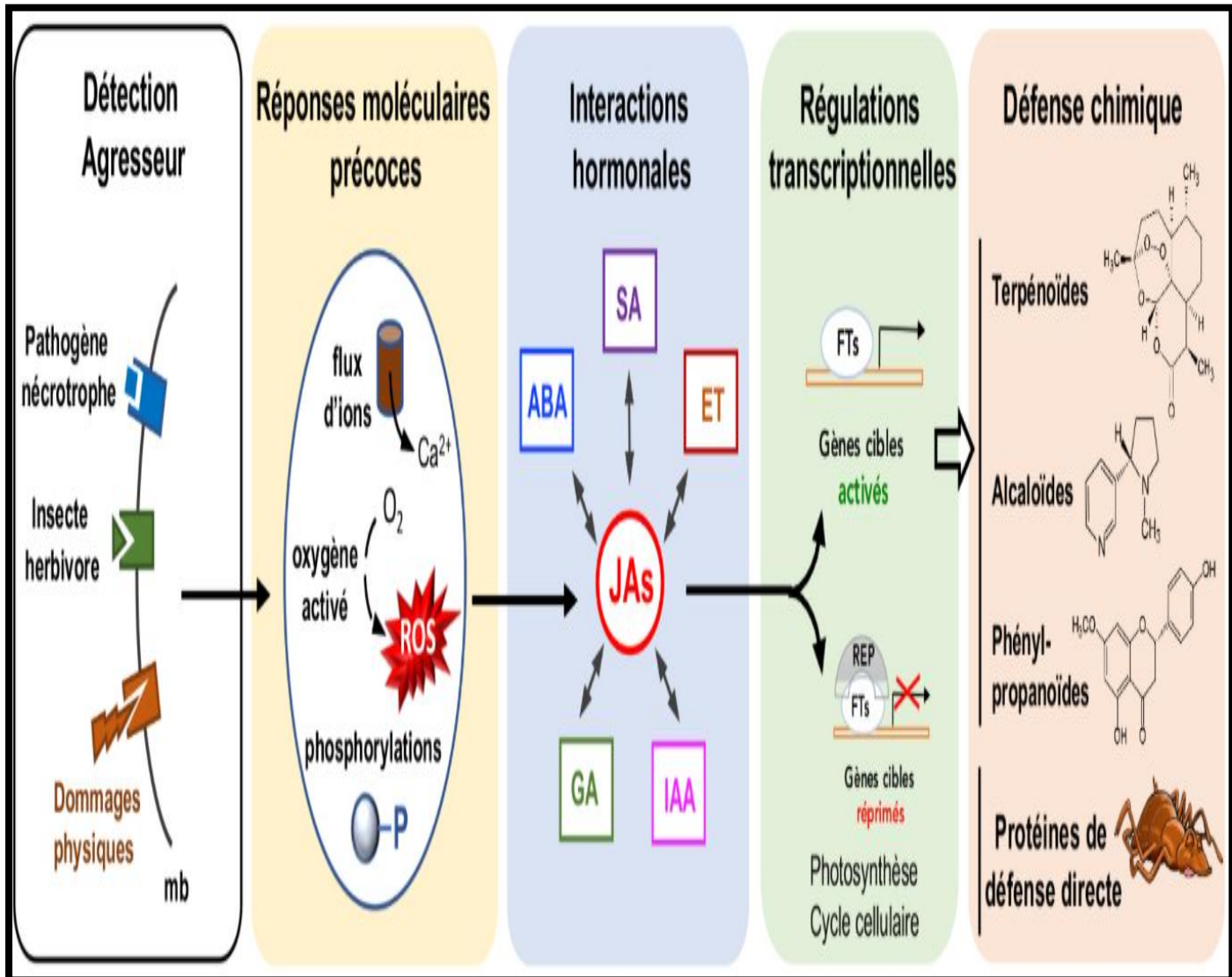


Figure 4. Représentation simplifiée des événements moléculaires déclenchés chez les plantes après perception d'agressions biotiques (Heitz, 2018).

Mb : membrane ; ROS : formes activées de l'oxygène ; ABA : acide abscissique ; ET : éthylène ; GA : gibbérellines ; IAA : auxine ; SA : acide salicylique ; JAs : jasmonates ; FT : facteur de transcription ; REP : répresseur.

Par ailleurs, l'activation des voies jasmonate/éthylène et salicylate dans la plante, rapportent **Lieutier et al. (2013) ; Heitz (2018)**, conduit à la production et à l'accumulation de protéines de défense comme les inhibiteurs de protéases et les chitinases, et de métabolites secondaires tels que les terpénoïdes, les phénylpropanoïdes, les glycosides cyanogéniques, les flavonoïdes, les tannins ou les alcaloïdes, qui présentent des propriétés d'antibiose ou d'antixénose (**Figures 3 et 4**).

Partie bibliographique

Les changements associés aux défenses systémiques induites comprennent non seulement l'accumulation de métabolites chimiques mais également la formation de barrières structurales (trichomes, feuilles durcies, épaisseur de la paroi cellulaire) (**Figure 3**). La densité des trichomes affecte négativement le comportement de ponte, l'alimentation et la nutrition des larves d'insectes nuisibles (**Tibebu, 2018**). La dureté des feuilles (sclérophilie) empêche la pénétration des tissus végétaux par les pièces buccales des insectes piqueurs-suceurs (**Tibebu, 2018**). Les parois cellulaires des feuilles sont également renforcées pendant l'alimentation par l'utilisation de différentes macromolécules, telles que la lignine, la cellulose, la subérine et la callose, ainsi que de petites molécules organiques, comme les composés phénoliques, et même des particules de silice inorganique (**Tibebu, 2018**).

2.2.2. Défenses induites indirectes

Les systèmes de défenses indirectes, d'après **Lieutier et al. (2013)**, impliquent une interaction entre des végétaux et des organismes du troisième niveau trophique (arthropodes entomophages) se traduisant par une réduction de la pression engendrée par les phytophages. Concrètement, les plantes vont pouvoir attirer (*via* les composés volatils organiques), nourrir (*via* le nectar extrafloral) ou héberger (*via* les domaties) des prédateurs ou des parasitoïdes en échange de leur protection vis-à-vis des phytophages.

Plus de 1000 espèces végétales appartenant à 93 familles produisent du nectar extrafloral 'NEF' (**Turlings et Wackers, 2004**), qui sert de source de nourriture alternative aux prédateurs ou aux parasitoïdes adultes à la recherche d'un hôte à parasiter. Chez de nombreuses plantes, la production de NEF est induite par l'attaque d'un insecte phytophage, cette production provoquant l'attraction d'entomophages et par conséquent diminuant le taux d'herbivorie (**Heil, 2008**).

Egalement, les plantes se défendent indirectement contre l'alimentation des insectes en émettant un mélange de composés organiques volatils (**Lieutier et al., 2013 ; Tibebu, 2018 ; Iqbal, 2021 ; Frago et al., 2022**), émis par des plantes soumises à l'attaque de phytophages COV ou HIPVs « Herbivore induced plant volatiles » (**Figure 3**). L'émission de ces composés, considérée comme un appel au secours en direction des entomophages, peut s'avérer particulièrement informative, puisqu'elle peut renseigner spécifiquement sur l'identité, le nombre et le stade de développement des phytophages présents (**Dicke et al., 2003**). Les COV produits par les plantes forment des mélanges olfactifs complexes alliant de 10 à 200 substances différentes dans un même bouquet odorant (**Dicke et al., 2003**).

Chapitre III : Implication des sucres solubles dans les réponses aux stress chez les plantes

3.1. Rôle métabolique des sucres

Les sucres solubles constituent la principale source de carbone et d'énergie indispensables au métabolisme cellulaire et à la synthèse des parois végétales. Ils sont produits par la photosynthèse ou la mobilisation des réserves (amidon, composants de la paroi,...). Ils sont ensuite transportés des tissus autotrophes qui les ont produits « sources » vers les tissus hétérotrophes qui en ont besoin « puits » (**Ruiz-Medrano *et al.*, 2001; VanBel, 2003**). La forme majoritaire de sucre de transport chez les végétaux est le saccharose, un diholoside non réducteur. Chez certaines espèces, il y a d'autres sucres mobiles tels que des oligosaccharides de la famille du raffinose (raffinose et stachyose) ou des sucres alcool (polyols, ex : mannitol et sorbitol) (**Dinant, 2008**). Il a été démontré que chez les Rosacées, les sucres mobiles sont principalement des polyols, bien que le saccharose soit également transporté (**Dinant, 2008 ; Van Bel et Hess, 2008**).

Les sucres solubles jouent non seulement le rôle de donneurs de squelettes carbonés et de substrats respiratoires, mais ils sont également impliqués dans de nombreux mécanismes de réponse aux stress, biotiques ou abiotiques, où ils agissent en tant que métabolites et en tant que signaux capables d'activer des voies de signalisation aboutissant à des modifications d'expression génétique (**Trouvelot *et al.*, 2014 ; Tarkowski *et al.*, 2019 ; Yoon *et al.*, 2021 ; Li *et al.*, 2021 ; De Pascali *et al.*, 2022**).

3.2. Rôles biochimiques des sucres dans les réponses aux stress

Les sucres solubles sont impliqués dans la régulation de processus développementaux, tels que le développement de l'embryon et de la graine (**Gangola *et al.*, 2018**), l'organogenèse post-embryonnaire (**Tarkowski *et al.*, 2019**) et les processus de sénescence (**Rolland *et al.*, 2006**). De plus, des situations de stress, telles que la sécheresse, les fortes salinités, les faibles températures (chilling et freezing) ou un excès d'énergie conduisent à une forte accumulation de sucres solubles, généralement interprétée comme une réponse adaptative (**Korn *et al.*, 2008**), où les sucres jouent un rôle de soluté compatible, intervenant dans la stabilisation des protéines et des membranes (**Seydel *et al.*, 2022**). Cependant, les sucres solubles sont également impliqués dans de nombreuses autres conditions de stress biotiques ou abiotiques, où ils ne sont pas suraccumulés comme dans les réponses au froid ou à la sécheresse (**De Pascali *et al.*, 2022**).

Partie bibliographique

Des expérimentations réalisant des pré-traitements de saccharose ont permis de mettre en évidence des phénomènes d'induction de résistance à une infestation par le champignon filamentueux *Magnaporthe oryzae* chez le riz (**Gomez-Ariza et al., 2007**). Les travaux réalisés par **Derridj et al., (2011, 2012)**, **Arnault et al. (2015, 2016, 2018, 2021)**, ont également montré qu'un apport exogène de sucres solubles (fructose, glucose, saccharose, tréhalose) induisait des changements physiologiques et biochimiques dans les tissus et à la surface des feuilles de plusieurs espèces végétales.

3.3. Rôle signalétique des sucres solubles

De multiples facteurs, intrinsèques, tels que le type cellulaire, l'organe, le stade de développement, ou bien environnementaux, tels que la disponibilité en nutriments, peuvent conduire à des fluctuations des sucres solubles et des niveaux de carbone chez les plantes (**Ramel, 2009**). C'est pourquoi le maintien de l'homéostasie énergétique nécessite l'activation de mécanismes de régulation complexes et flexibles afin de permettre une grande plasticité physiologique et développementale des plantes. L'efficacité de cet ajustement métabolique suppose l'existence de mécanismes de perception, directs ou indirects, par les cellules végétales. Effectivement, de nombreuses études ont mis en évidence le rôle majeur des sucres en tant que molécule signal et leur aptitude à réguler de nombreux processus cellulaires par une action au niveau de l'expression génétique (**Rolland et al., 2006 ; Tarkowski et al., 2019 ; Sheng et al., 2021**).

3.4. Régulation de l'expression des gènes par les sucres solubles

Chez les plantes, les sucres *via* leur signalisation régulent l'expression des gènes (**Morkunas et al., 2004, 2005, 2011**), au niveau transcriptionnel ou post-transcriptionnel, en modulant la transcription des ARNm, leur stabilité, la traduction des protéines, ainsi que la stabilité des protéines (**Yanagisawa et al., 2003**). Des études transcriptomiques ont montré les effets majeurs des sucres solubles sur l'expression génétique de réponse au stress chez *Arabidopsis thaliana* (**Price et al., 2004**).

Chapitre IV : Aperçu générale sur le pommier *Malus domestica* Borkh. et son ravageur le carpocapse *Cydia pomonella* L.

4.1. Présentation du pommier

4.1.1. Origine et répartition

Le pommier cultivé est un complexe hybride interspécifique, que l'on dénomme *Malus x domestica* Borkh. ou *Malus pumila* Mill. (Mabberley *et al.*, 2001). Le genre *Malus* date de l'ère tertiaire. Il est originaire du Caucase et des bords de la mer capsienne puis s'est répandu vers l'Europe Orientale, la Russie, l'Europe Occidentale et l'Afrique du nord. Il est réparti dans la zone entre les latitudes nord 30° et 60° (El Yaacoubi *et al.*, 2014).

4.1.2. Importance économique

Le pommier est une espèce fruitière cultivée dans le Monde entier, la pomme étant l'une des quatre plus grandes cultures fruitières avec la banane, le raisin et les agrumes (FAO, 2023). La Chine est le premier producteur mondial de pomme. Sa production a augmenté de 25 millions de tonnes en 2007 à plus de 45,9 millions de tonnes en 2022 (Statista, 2023). En Algérie, la pomme représente la deuxième production fruitière après la vigne, avec 31 171 ha cultivés et une production qui a dépassé les 522 317 tonnes (FAO Stat, 2023). Les principales zones de production du pommier en Algérie sont : Médéa, Khenchela, Batna, Sidi Bel Abbès et Tiaret.

Dans le Monde, les variétés cultivées dominantes sont les variétés unicolores jaune, rouge et verte de type « Golden Delicious, Delicious Rouges, Granny Smith », mais les variétés bicolores de type « Gala, Fuji, Braeburn, Jonagold et Cripps Pink » sont de plus en plus appréciées (O'Rourke, 2003).

4.1.3. Maladies et ravageurs du pommier

Le pommier subit des agressions de diverse nature, il en résulte des altérations des organes et des pertes de rendement. Les principaux maladies et ravageurs du pommier sont : la tavelure *Venturia inaequalis* (Cooke.), l'oïdium *Podosphaera leucotricha* (Salmon.), le feu bactérien *Erwinia amylovora*, le puceron cendré *Eriosoma lanigerum* (Hausm.), le carpocapse *Cydia pomonella* (L.), la cochenille, la mineuse sinieuse *Lyonetia clerkella* L., pou de San José *Quadraspidiotus perniciosus* (Comstock.) et les acariens rouge *Panonychus ulmi* (Koch) et jaunes *Tetranychus urticae* (Koch) (Ohlendorf, 1999 ; Moinina *et al.*, 2019 ; Morgan, 2022).

Partie bibliographique

4.2. Présentation du carpocapse des pommes et des poires *Cydia pomonella* L.

4.2.1. Origine et aire de répartition

Cydia pomonella est originaire de la région euro-sibérienne. Il a été décrit comme ravageur par des écrits gréco-latins datant de plusieurs siècles avant J.C (Klassen et Curtis, 2005). Selon Hmimina (2007), le carpocapse (*Cydia pomonella* L) présent pratiquement dans toutes les régions de la culture de pommier et de poirier (Figure 5). En altitude, il peut se développer dans les vergers des massifs atteignant 1800 mètre d'altitude.

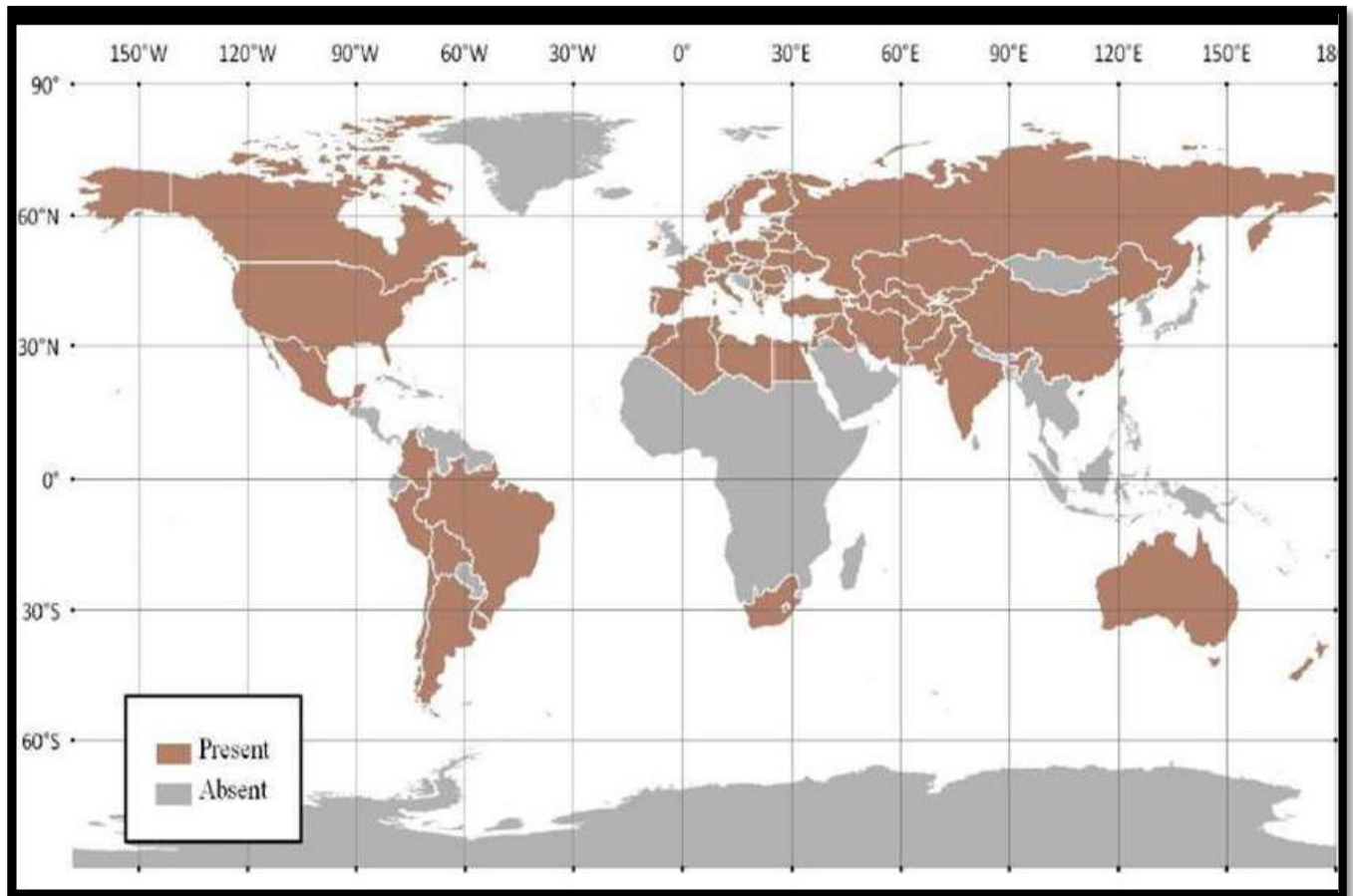


Figure 5. Répartition générale de *Cydia pomonella* (L.) (DeWaal et al., 2011).

4.2.2. Description du carpocapse (*Cydia pomonella* L.)

L'adulte est un petit papillon nocturne de couleur gris-brun qui mesure environ 1 cm. Ses ailes antérieures gris cendré sont striées de lignes brunes et présentent sur leur bord externe une tache brun cuivré caractéristique. Les œufs opalescents en forme de lentille mesurent 1 mm de diamètre et sont déposés isolément. Les jeunes chenilles mesurent environ 2 mm. À leur complet développement, elles sont de couleur rose clair et leur tête est brun foncé. Elles atteignent alors 1,5-2 cm. De couleur brune, la chrysalide mesure environ 1 cm (Figure 6) (Hmimina, 2007 ; Walgenbach, 2014).

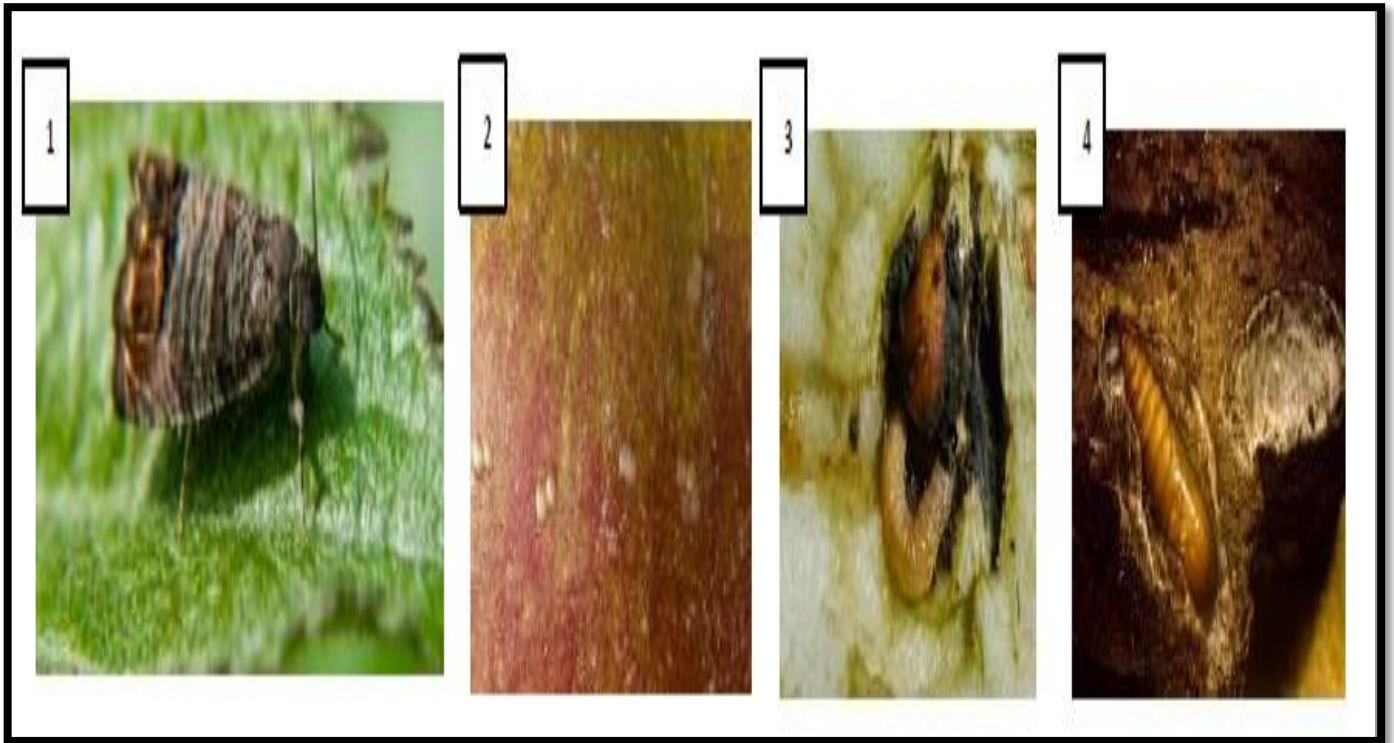


Figure 6. Différents stades de *Cydia pomonella* L.

(1) adulte, (2) oeuf, (3) larve, (4) chrysalide (**Walgenbach, 2014**)

4.2.3. Cycle de vie

Le cycle évolutif de *C. pomonella* est très variable dans l'ensemble de son aire, Les adultes de première génération apparaissent de fin avril à fin mai (selon les régions) et ont une longévité moyenne de 15 à 18 jours. Ils s'accouplent au crépuscule à une température supérieure à 15°C puis pondent sur les feuilles, les rameaux ou les jeunes fruits. La fécondité moyenne est de l'ordre de 30 à 50 œufs. La durée d'évolution de l'oeuf est de 18 jours à 15°C et 6 jours à 25°C. Les œufs éclosent à la fin du mois de mai (**Walgenbach et al., 2014 ; Ritcher et al., 2021**).

Le développement de la larve dure 20 à 30 jours (cinq stades larvaires). Elle connaît d'abord un « stade baladeur » de 2 à 5 jours et recherche alors un fruit. C'est à ce stade qu'il faut la surveiller car elle est encore à l'extérieur du fruit et donc visible. Après quelques morsures d'exploration, elle pénètre dans un fruit, au point de contact de deux fruits, ou d'une feuille et d'un fruit, ou au niveau du pédoncule, ou de l'oeil. Elle creuse des galeries pour se nourrir de la pulpe et des pépins. Au cinquième stade (après 18 à 40 jours), elle quitte le fruit et tisse un cocon dans un abri. Elle peut alors suivre deux évolutions : soit, elle se nymphose et donne un papillon de deuxième génération (1 à 2 semaines), soit vers la fin de l'été, lorsque les jours raccourcissent, elle entre en diapause pour passer l'hiver au repos (**Figure 7**). Les larves dont la croissance se termine d'août à octobre entrent toutes

Partie bibliographique

en diapause. Pour cela, elles hivernent au cinquième stade dans un cocon blanchâtre soyeux tissé dans les anfractuosités de l'écorce ou dans divers abris au niveau du sol. La chrysalide se forme en avril et se développe en 20 à 28 jours (Walgenbach *et al.*, 2014 ; Ritcher *et al.*, 2021 ; Egger *et al.*, 2022).

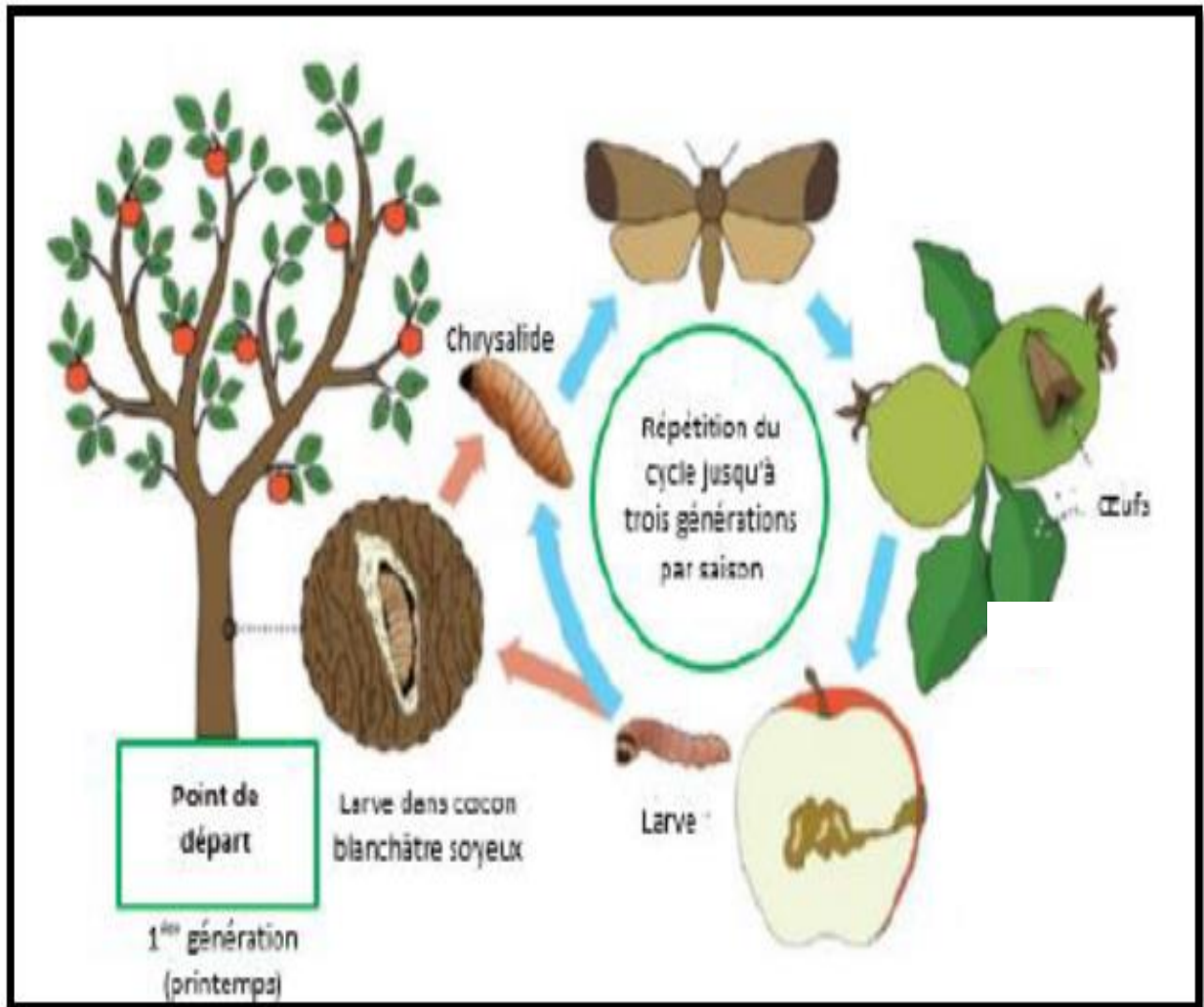


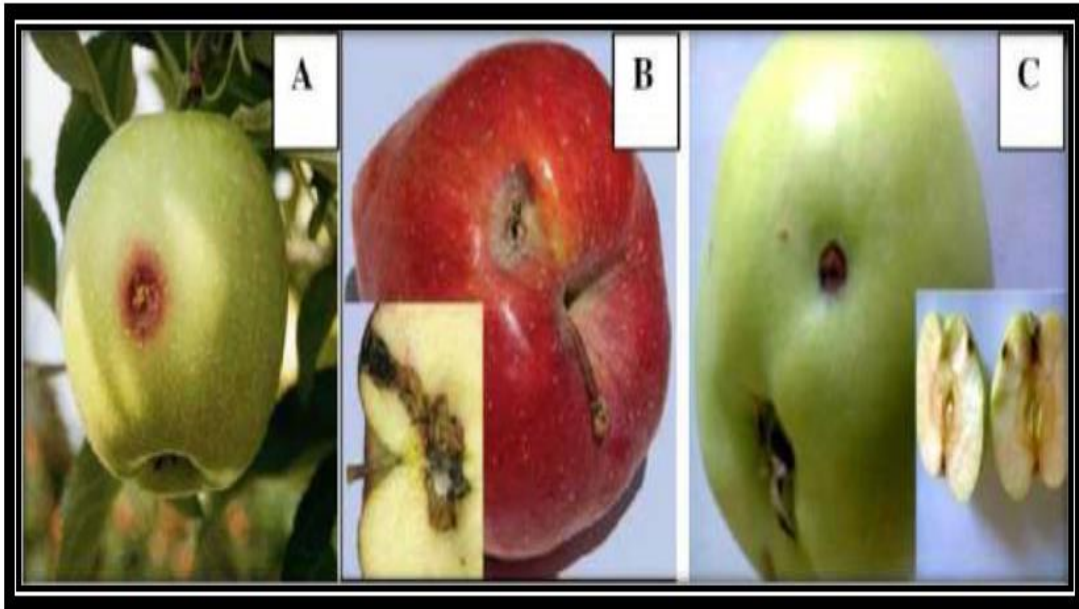
Figure 7. Schéma d'une génération de *C. pomonella* (Ritcher *et al.*, 2021)

Le carpocapse présente une à cinq générations par an à travers le monde. Une à quatre générations se produisent annuellement au Canada (Dixon *et al.*, 2014). Aux États-Unis d'Amérique, ce ravageur se développe en trois générations (Pitcairn *et al.*, 1992). En Europe, il évolue en une à deux générations en Allemagne et en Suisse et jusqu'à trois générations dans le sud de la France (Boivin et Sauphanor, 2005). En Algérie, le carpocapse présente 2 à 4 générations selon les régions (Soltani *et al.*, 1986 ; Mahi *et al.*, 2021).

Partie bibliographique

4.2.4. Dégâts occasionnés par *C. pomonella*

La larve endommage le fruit par des piqûres superficielles ou en creusant des galeries profondes en direction des pépins. Les dégâts causés par les larves de carpocapse sont les dégâts actifs, les dégâts stoppés et les dégâts cicatrisés (**Figure 8**) (Silvy et Riba, 1989 ; Jones *et al.*, 2004 ; Ricci, 2009).



**Figure 8. Différents types de dégâts du carpocapse sur fruits (Jones *et al.*, 2004).
A : Dégât cicatrisés d'une larve de *C. pomonella*, B : Dégâts actifs, C : dégâts stoppés.**

4.3. Méthodes de protection du pommier contre le carpocapse

Les stratégies de lutte contre le carpocapse commencent par dépister les adultes à l'aide de pièges sexuels, puis surveiller les dégâts occasionnés par les larves par comptage à vue des pommes infectées afin d'optimiser la technique de lutte ainsi que la période idéale d'intervention (**Lafargue et Bourgouin, 2015**).

4.3.1. L'estimation du risque

- **Le piégeage sexuel** : Simple à installer en verger, ce procédé d'avertissement est une des techniques à mettre nécessairement en œuvre afin de mieux diriger la lutte anti-carpocapse. Le piège à phéromones est constitué, pour l'essentiel d'une plaque enduite de glu sur laquelle est déposée une capsule contenant la phéromone spécifique. Celle-ci attire les papillons mâles qui viennent s'engluer (**Riba et Silvy, 1989**). Le piège sexuel est très utile pour moduler la lutte, fixer la date du premier traitement et même le retarder si la population est faible (**Chouinard, 2011**).

Partie bibliographique

- **Les contrôles visuels** : outils supplémentaires d'estimation du risque, doivent être effectués tous les 10-15 jours sur 1000 fruits pris sur 50 arbres dont 20 situés en bordures. Lors de ces comptages, il est recommandé d'examiner particulièrement les fruits groupés. Le seuil admis est de 2% de fruits attaqués à la récolte et 0.3% à la fin de la première génération (**Hmimina, 2007**).

4.3.2. Lutte chimique

Le traitement contre le carpocapse est justifié seulement si le seuil d'intervention est atteint. Le dépistage permet d'éviter des traitements inutiles. La lutte chimique par insecticides est utilisée massivement en agriculture conventionnelle, jusqu'à 10 à 15 traitements réalisés au cours de la saison de production, uniquement pour la lutte contre le carpocapse (**Hmimina, 2007**). Cette utilisation intensive des pesticides chimiques peut avoir des effets négatifs sur l'environnement, comme la pollution de l'eau, la présence de résidus toxiques dans les aliments et l'impact sur la santé humaine (**Ricci, 2009**). De plus, De nombreuses populations de *C. pomonella* ont développé des résistances aux matières actives les plus fréquemment utilisées (organophosphorés, pyréthriinoïdes, Carbamates et RCI), mettant en échec de façon récurrente les stratégies de protection dans le monde entier (**Boivin et Sauphanor, 2007 ; Ju et al., 2021**).

4.3.3. Luttes alternatives

Les alternatives à la lutte chimique contre le carpocapse sont nombreuses :

- **La confusion sexuelle**, est une méthode de lutte perturbatrice. Son principe est de diffuser des molécules de synthèses analogues aux phéromones sexuelles émises par les femelles à l'aide de diffuseurs répartis dans le verger. Les mâles se retrouvent désorientés par la saturation des phéromones les empêchant de localiser les femelles. Les accouplements et les pontes sont donc limités (**Charmillot et al., 2000**). Cette méthode est très efficace, si la pression n'est pas trop forte, soit moins de 1% de dégâts à la récolte précédente (**Morel et al., 2013**).
- L'utilisation du **filet Alt'Carpo** est également un moyen de protection efficace pour éviter l'entrée du ravageur dans les cultures. La technique se présente comme une barrière physique qui perturbe les accouplements de *C.*

Partie bibliographique

pomonella et qui peut se décliner en deux configurations : mono-rang ou mono-parcelle. L'installation du filet présente toutefois un coût conséquent (**Lafargue et Bourgouin, 2015**).

- Par ailleurs, des **bandes pièges** cartonnées enroulées autour des troncs peuvent être installées afin de piéger les larves entrant en diapauses. Ces bandes sont retirées en fin de saison et détruites, ce qui permet une réduction conséquente de l'inoculum pour la saison suivante. Cette technique à un coût considérable en main-d'œuvre au niveau des vergers à grande superficie (**Severac et Romet, 2009**).
- L'utilisation d'une **préparation virale**, spécifique aux carpocapses des pommes et des poires, virus de la granulose. Il doit être appliqué en verger au début des éclosions, car il agit par ingestion, il provoque la mort des jeunes larves quelques jours après leur pénétration dans les pommes. Ainsi, des morsures superficielles peuvent apparaître sur les fruits (**Ballard et al., 2000**). L'utilisation du granulovirus présente plusieurs limites dont le besoin de réappliquer le produit à plusieurs reprises à cause de sa très faible rémanence en raison de sa sensibilité aux rayons UV. De plus, le virus a un effet retardé sur la larve (**Arthurs et al., 2006**).
- Les bactéries *Bacillus thuringiensis* sont très efficaces contre le carpocapse lorsque la population de départ est faible ou modérée (**Pszczolkowski, 2023**). La pulvérisation de cette bactérie est recommandée après piégeage de 40 papillons mâles, à raison de 4 pulvérisations tous les 5 jours (**Kliot et Ghanim, 2012**).
- Pour réduire les populations hivernantes de larves de carpocapses, la pulvérisation de **nématodes entomophages** est utilisée (mouillage important et orientation des buses vers les troncs et le bas des charpentières) afin de permettre à ces macro-organismes de se déplacer dans le sol grâce à l'humidité et d'infecter l'insecte par ses voies naturelles (bouches, spiracles) ou en traversant sa cuticule. L'insecte meurt dans les 48 heures suivant l'infection. Deux espèces *Steinernema feltiae* et *Steinernema carpocapsae* sont très efficaces cependant, elles nécessitent des conditions d'humidité importantes et des températures minimales (respectivement 8°C et 14 °C) pour garantir leur efficacité lors de l'application (**Giordanengo, 2004**).

Partie bibliographique

- L'introduction dans le verger de guêpes parasitoïdes du carpocapse (trichogrammes) peut aider grandement au contrôle mais demande une synchronisation parfaite avec le cycle du carpocapse. Les œufs des guêpes doivent éclore au moment où les carpocapses pondent (les petites guêpes recherchent et tuent les œufs de carpocapses) (**Morel *et al.*, 2013**).
- La lutte par la **Technique de l'Insecte Stérile** (la TIS). Cette méthode alternative consiste à stériliser les insectes cibles par rayons ionisants (gamma) afin de les lâcher dans l'environnement et permettre un accouplement avec les adultes indigènes. La descendance sera totalement stérile et entraînera donc, une diminution des générations de *Cydia pomonella* (**Aubry, 2008**).
- Installation des **nichoirs** dans le verger pour favoriser la présence de **prédateurs naturels**. Les oiseaux insectivores comme les mésanges se nourrissent des larves diapausantes en hiver et les chauves-souris agissent directement sur les adultes (**Van der Geest et Evenhuis, 1991**).
- Une autre piste en cours de développement est la lutte par **l'utilisation des sucres solubles**. Il s'agit du nouveau concept "Sweet Immunity" ou de "défense renforcée par le sucre" (**Bolouri-Moghaddam et Van Den Ende, 2013 ; Derridj *et al.*, 2011 ; Ondet *et al.*, 2019 ; Arnault *et al.*, 2021**). Les glucides solubles, principalement le saccharose, le glucose et le fructose, sont impliqués dans de nombreux mécanismes de réponse au stress, biotique ou abiotique, où ils agissent non seulement comme des métabolites, mais aussi comme des signaux capables d'activer des voies de signalisation conduisant à des changements d'expression génique (**Morkunas et Ratajczak, 2014 ; Formela-Luboińska *et al.*, 2020**).

Partie expérimentale

Chapitre I : Matériel et méthodes

1.1. Matériel expérimental

1.1.1. Matériel végétal

Deux variétés de pommes ont été utilisées dans cette étude, la Golden Delicious et la Royal Gala (**Figure 9**). Les caractéristiques des deux variétés étudiées sont présentées dans le **Tableau 1**.

Tableau 1. Caractéristiques des variétés de pommes étudiées (Oukabli *et al.*, 2001 ; Catalogue de pommes, 2021)

Cultivar		Golden Delicious	Royal Gala
Origine		États-Unis	Nouvelle-Zélande
Arbre	Port Vigueur Densité du feuillage	semi- dressé moyenne à forte moyenne	semi-érigé moyenne moyenne
Fruit	calibre Forme Aspect Couleur à maturité	Moyen à grand (≈ 198 g) ovoïde lisse jaune doré	petit à moyen (≈ 176 g) ronde lisse rouge Orangé à rayures verticales
Chair	couleur Goût Texture Acidité	blanc jaunâtre sucré et parfumé juteuse et croquante légèrement acidulée (8g/l)	jaunâtre très sucrée juteuse et croquante très peu acide (4.5g/l)
Feuilles		allongées	caduques
Besoins en froid hivernal		600 à 1000 heures	650 à 950 heures
Floraison		Fin mars-début mai	fin avril-début mai
Maturité		mi-septembre	1 ^{ère} quinzaine d'août
Productivité		Très bonne	bonne
Résistance à la sécheresse		Moyenne	Très sensible
Résistance aux maladies		très sensible à la tavelure et peu sensible à l'oïdium et au chancre	peu sensible à la tavelure et à l'oïdium et très sensible au chancre



Figure 9. Fruits des variétés de pommes étudiées (Photos originales, 2019)
(a) Royal Gala ; (b) Golden Delicious.

1.1.2. Matériel de laboratoire

- Les métabolites utilisés dans cette étude sont le sucre-alcool « sorbitol » et les sucres solubles « saccharose, glucose et fructose ». Ces derniers ont été fournis par le laboratoire BIOCHEM Chemopharma (**Figure 10**). Ils ont été pesés et mis dans des tubes Eppendorf pour être utilisés dans les essais correspondants.

Partie expérimentale



Figure 10. Sucres utilisés dans l'expérimentation (Photos originales).

- L'insecticide utilisé dans cette étude est le Decis 25 EC (**Figure 11**), un produit chimique dont la matière active est la Deltaméthrine, qui appartient à la famille des Pyréthrinoïdes. Selon l'étiquette du produit, cette substance a un large spectre d'activité et agit par contact et par ingestion sur une large gamme d'insectes suceurs et broyeurs, en particulier les lépidoptères. Il a un effet rapide et irréversible sur le système nerveux (effet de choc) et arrête l'alimentation. Cet insecticide présente une excellente persistance, entre 2 et 4 semaines, et une meilleure résistance au lessivage.



Figure 11. Insecticide (Décis 25 EC) (Photo originale).

Partie expérimentale

1.1.3. Matériel du terrain

- Nous avons utilisé des pulvérisateurs à dos pour effectuer les différents traitements. Ils ont une capacité de 16 litres et une pression de compression manuelle réglable à 1,5 bar (**Figure 12**).



Figure 12. Pulvérisateurs à dos (photos originales).

- Pour la récupération des larves et des chrysalides, nous avons utilisé des bandes pièges en carton ondulé avec des alvéoles suffisamment larges pour servir de refuge aux chenilles, mesurant 15 cm de large et 50 cm de long, de manière à entourer le tronc de l'arbre (ondulation verticale par rapport au tronc). La bande-piège est constituée de deux couches superposées de carton ondulé recouvertes d'un filet de polyéthylène (**Figure 13**).

Partie expérimentale



Figure 13. Bandes-pièges (photos originales).

- Des pièges attractifs delta à base d'un diffuseur à phéromone sexuelle (RUSSELL IPM) ont été utilisés dans les essais réalisés en 2019. Le piège sexuel est constitué d'une plaque enduite de glue sur laquelle est placée une capsule contenant une phéromone spécifique attirant les mâles qui s'introduisent dans le piège delta et se trouvent piégés dans la surface engluée (**Figure 14**).



Figure 14. Piège à phéromones (photo originale).

Partie expérimentale

1.2. Méthodes de travail

1.2.1. Présentation des régions et des vergers d'étude

Les expérimentations ont été menées dans des vergers de pommiers situés dans le Nord-Est de l'Algérie pendant trois années consécutives, de 2017 à 2019. Au cours des années 2017 et 2018, six essais ont été menés dans un verger situé dans la région d'Ain Touta (W. Batna). En 2019, deux essais ont été menés dans le verger d'Ain Touta et deux autres dans un verger situé dans la région de Chelia (W. Khenchela).

1.2.1.1. Situation géographique des régions d'étude

La commune de Ain Touta se trouve à l'extrémité Sud de la wilaya de Batna, à environ 35 km du chef-lieu de la wilaya avec une superficie correspond à 173,5 km². Elle est limitée au Nord par les communes de Hidoussa et Oued Chaaba, au Sud par les communes de Maafa et El Kantara, à l'Est par la commune de Béni Fedhala, à l'Ouest par la commune de Tilatou et au Nord-Ouest par la commune d'Ouled Aouf.

La commune de Chélia est située à l'Ouest de la wilaya de Khenchela, elle s'étend sur une superficie de 152 km². Elle est limitée au Nord par les communes de Taouzianet et Kais, à l'Est par la commune d'El Hamma, à l'Ouest par les communes de Yabous et Foum Toub et au Sud par les communes de Bouhmama et Tamza.

1.2.1.2. Présentation des vergers d'études (Ain Touta et Chelia)

Le verger de Ain Touta est situé dans une région appelée Dawar Briket. Le verger de Chelia est situé au Nord-Est de la commune de Chelia, à 12 km du chef-lieu de la Daïra de Bouhmama et à 45 km du chef-lieu de la Wilaya de Khenchela.

Le **Tableau 2** illustre les caractéristiques des deux vergers étudiés.

Partie expérimentale

Tableau 2. Caractéristiques des vergers expérimentaux (Ain Touta et Chelia)

Caractéristiques	Vergers Ain Touta	Vergers de Chelia
Coordonnées géographiques	35° 23' 09" N et 5° 53' 24" E	35° 21' 51" N, 6° 46' 43" E
Topographie (altitude)	909 m	1239m
Âge de la plantation	12 ans	10 ans
Superficie	4ha	2.5ha
Nombre d'arbres	1160	360
Type d'arbres	Olivier, abricotier et pommier	Pommier
Arbres de pommier	540	320
Variété	Golden Delicious (55.5%) Royal Gala (44.5%)	Golden Delicious (37.5%) Royal Gala (62.5%)
Densité de plantation	5 x 5m	4 x 4m
Labour	en hiver	en hiver
Irrigation	goutte à goutte	goutte à goutte
Taille	en janvier (forme libre)	en mars (forme de Goblet)
Fertilisation	fumure organique en janvier	fumure de bétail
Désherbage	manuel	manuel
Programme de protection	aucun	aucun





Figure 15. Photos de Situation géographique des vergers d'études (a) verger de Ain Touta ; (b) verger de Chelia (Google Earth, 2019).

1.2.2. Critères de choix des vergers d'études

Le choix des sites d'étude (**Figure 16**) a été basé sur les critères suivants :

- Facilité d'accès au terrain et sa sécurité,
- homogénéité du terrain,
- vergers bien entretenus,
- les deux régions choisies sont situées sur des étages bioclimatiques différents,
- et surtout l'absence de traitements phytosanitaires durant les années d'expérimentations.



Figure 16. Vue générale des vergers d'études (Photos originales, 2019)
(a) verger d'Ain Touta ; (b) verger de Chelia

1.2.3. Dispositifs expérimentaux

Tous les essais sont basés sur un plan expérimental en blocs de Fisher randomisés à quatre répétitions (blocs). Ce type de plan repose sur la constitution de groupe d'unités expérimentales aussi homogène que possible. Toutes les modalités sont réparties de manière aléatoire à l'intérieur de chaque bloc et indépendamment d'un bloc à l'autre.

- En 2017, deux essais ont été réalisés dans un verger de pommiers à Ain Touta (Batna) sur deux variétés, Golden Delicious et Royal Gala, dans le but d'étudier l'effet de la pulvérisation foliaire de sucre-alcool " sorbitol ", testé à différentes doses de 0,1, 1, 10 et 100ppm sur *C. pomonella*.. A cet effet, 5 modalités ont été mises en place, pour chaque variété, représentant 20 parcelles élémentaires, et

Partie expérimentale

chaque parcelle élémentaire ou modalité étant composée de 02 arbres, selon un dispositif expérimental illustré par le schéma suivant :

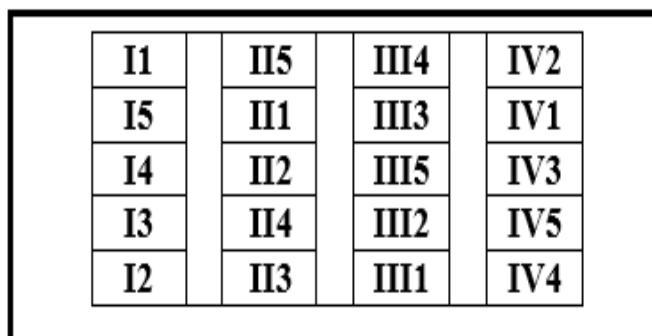


Figure 17. Plan expérimental des essais réalisés sur pommiers en 2017.

Les modalités sont représentées par des chiffres arabes et les blocs par des chiffres romains.

Les modalités étudiées et les doses utilisées pour chaque modalité sont indiquées dans le **Tableau 3**.

Tableau 3. Modalités testées et doses utilisées dans les essais réalisés sur pommiers en 2017.

Modalités	Traitement	Formulation	Dose
M1	Témoin	/	/
M2	Sorbitol 0.1ppm	sucre alcool (C ₆ H ₁₄ O ₆)	0.01g/100 l
M3	Sorbitol 1ppm	sucre alcool (C ₆ H ₁₄ O ₆)	0.1g/100 l
M4	Sorbitol 10ppm	sucre alcool (C ₆ H ₁₄ O ₆)	1g/100 l
M5	Sorbitol 100ppm	sucre alcool (C ₆ H ₁₄ O ₆)	10g/100 l

Le même dispositif a été reconduit en 2018 sur la variété Golden Delicious, un essai dans le verger d'Ain Touta et un essai dans un autre verger à Tazoult (les informations sur ce verger sont fournies en annexe), pour des raisons qui seront expliquées dans la partie résultats.

- Afin de comparer l'efficacité de traitement du sorbitol avec le saccharose, le fructose et le glucose, deux essais ont été mis en place dans le verger d'Ain Touta en **2018**, le premier sur la variété Golden Delicious et le second sur la variété Royal Gala. Pour chaque variété, le protocole expérimental comprend 5 modalités représentant 20 parcelles élémentaires et chaque modalité (parcelle élémentaire) est constituée de deux arbres (**Figure 18**).

Partie expérimentale

I4		II2		III3		IV1
I2		II4		III5		IV3
I5		II3		III1		IV4
I1		II5		III2		IV5
I3		II1		III4		IV2

Figure 18. Plan expérimental des essais réalisés sur pommiers en 2018.

Les modalités sont représentées par des chiffres arabes et les blocs par des chiffres romains.

Le **Tableau 4** présente les modalités étudiées et les doses utilisées pour chaque modalité.

Tableau 4. Modalités testées et doses utilisées dans les essais réalisés sur pommiers en 2018

Modalités	Traitement	Formulation	Dose
M1	Témoin	/	/
M2	Sorbitol 100ppm	Alditol (C ₆ H ₁₄ O ₆)	10g/100 l
M3	Saccharose 100ppm	Diholoside (C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁)	10g/100 l
M4	Fructose 100ppm	Cétose (C ₆ H ₁₂ O ₆)	10g/100 l
M5	Glucose 100ppm	Aldose (C ₆ H ₁₂ O ₆)	10g/100 l

➤ En **2019**, quatre essais ont été réalisés dans deux vergers aux étages bioclimatiques différents, à Ain Touta et Chelia, sur les deux variétés de pommes, Golden Delicious et Royal Gala, pour étudier la possibilité de combiner le sorbitol à 100 ppm avec un traitement chimique à base de deltaméthrine, testé à sa dose recommandée et à une dose réduite (moitié de la dose recommandée). Le plan expérimental est présenté dans la **Figure 19**, avec 6 modalités formant 24 parcelles élémentaires, chaque parcelle élémentaire étant composée de deux arbres.

I2		II6		III5		IV3
I4		II1		III3		IV4
I1		II5		III2		IV5
I6		II3		III4		IV2
I5		II2		III6		IV1
I3		II4		III1		IV6

Figure 19. Plan expérimental des essais réalisés sur pommiers en 2019.

Les modalités sont en chiffres arabes et les blocs en chiffres romains.

Partie expérimentale

Les traitements effectués sont présentés dans le **Tableau 5**.

Tableau 5. Modalités testées et doses utilisées dans les essais réalisés sur pommiers en 2019.

Modalités	Traitement	Formulation	Dose
M1	Témoin	/	/
M2	Insecticide D1	Deltaméthrine	0,4 l/ha
M3	Insecticide D2	Deltaméthrine	0,2 l/ha
M4	Sorbitol 100ppm	Sucre alcool	10g/100l
M5	Sorbitol + Insecticide D1	Sucre alcool + Deltaméthrine	10g/100l + 0,4 l/ha
M6	Sorbitol + Insecticide D2	Sucre alcool + Deltaméthrine	100g/100l + 0,2 l/ha

1.2.4. Application des traitements

A. Pulvérisation des sucres

L'application des sucres (sorbitol, saccharose, fructose ou glucose) a été réalisée selon la méthode préconisée par **Derridj (2009) ; Derridj *et al.* (2011, 2012) ; Ondet et Roux (2012) ; Demaret (2017) ; Ondet *et al.*, (2019) et Arnault *et al.* (2015, 2016, 2021)**, qui consiste à pulvériser ces sucres en infra-doses, nécessairement tôt le matin, avant le début de la photosynthèse au moment où les espaces intercellulaires de l'apoplaste sont pauvres en sucres, à l'aide d'un pulvérisateur à dos en essayant de pulvériser toute la surface foliaire des arbres. Les arbres des différentes modalités ont été marqués par des rubans de différentes couleurs attachés aux troncs afin de faciliter leur localisation au moment des traitements. Le sucre agit comme un SDN (Stimulateur des Défenses Naturelles), ce qui nécessite des applications préventives et répétées.

Dans cette étude, des pulvérisations foliaires des sucres ont été appliquées sur les pommiers tôt le matin tous les 20 jours, de la chute des pétales jusqu'à la récolte, suivant **Demaret, 2017 ; Ondet *et al.*, 2019 et Arnault *et al.*, 2015, 2016, 2021**. Dix essais ont été réalisés sur trois ans, en 2017, 2018 et 2019, avec une moyenne de 6 à 7 traitements appliqués par essai.

B. Application des traitements chimiques

Dans les essais réalisés en 2019 où nous avons comparé les traitements aux sucres avec les traitements chimiques, des pièges attractifs sexuels ont été mis en place dans le verger « Ain Touta » et le verger « Chelia », pour indiquer le moment d'apparition des papillons et fixer ainsi la date du premier traitement (**Morel *et al.*, 2013 ; Aydoğan et Unlü, 2019**).

Au centre de chaque verger, un piège RUSSELL IPM a été installé le 12 avril 2019, accroché dans la zone périphérique de la couronne des arbres à hauteur d'homme (**Figure 20**).

Partie expérimentale



Figure 20. Installation des pièges à phéromones (Photos originales).

L'insecticide choisi pour ces essais est un larvicide et est appliqué lorsque le seuil d'intervention est atteint. Ce seuil est fixé à 10 captures de carpocapses par piège pendant deux semaines consécutives selon **Chouinard (2011), Morel *et al.* (2013) et Morin *et al.* (2015)**.

Le calendrier des traitements contre le carpocapse dépend des facteurs climatiques (température, pluie, vent, etc.) et du mode d'action de l'insecticide utilisé, mais aussi de l'historique des dégâts dans le verger (**Morin *et al.*, 2015**). Selon ces auteurs, les vergers ayant un historique de dégâts élevé : au moins deux traitements sont recommandés pour contrôler la première génération et des traitements supplémentaires peuvent être nécessaires en fonction des captures d'adultes et du dépistage des dégâts. Pour les vergers avec un historique de dégâts faibles à modéré : en général, une seule application de larvicide est recommandée, mais si le dépistage indique une problématique, un second traitement est nécessaire (15 à 20 jours après la première application). Ainsi, dans le verger d'Ain Touta, un premier traitement a été appliqué dès que les captures d'adultes ont dépassé le seuil, le 27 avril 2019, le deuxième traitement a été appliqué 20 jours après, le 18 mai 2019, et un troisième traitement a été réalisé le 14 juillet 2019. Pour le verger de Chelia, deux traitements ont été réalisés, le premier au 24 mai 2019 après dépassement du seuil et le second 15 jours plus tard, le 08 juin 2019.

La matière active de l'insecticide utilisé est la Delthaméthrine qui, selon **Yang *et al.* (2015)**, fait partie des substances qui présentent une toxicité élevée sur les larves de *C. pomonella*.

Deux doses ont été testées, l'une étant la dose recommandée (**Index Phytosanitaire, 2015**), pour lutter contre ce ravageur sur pommier ($D1 = 0,4 \text{ l/ha}$) et l'autre étant une dose réduite de moitié ($D2 = 0,2 \text{ l/ha}$).

Partie expérimentale

1.2.5. Estimation des dégâts

Le comptage des fruits atteints par les larves de *C. pomonella* permet de quantifier les dégâts causés par ce ravageur. L'opération est réalisée pour la totalité des fruits, sur l'arbre ainsi que sur les fruits tombés au sol (**Figure 21**), au moment de la récolte. Les fruits sont examinés dans la totalité des parcelles d'étude.

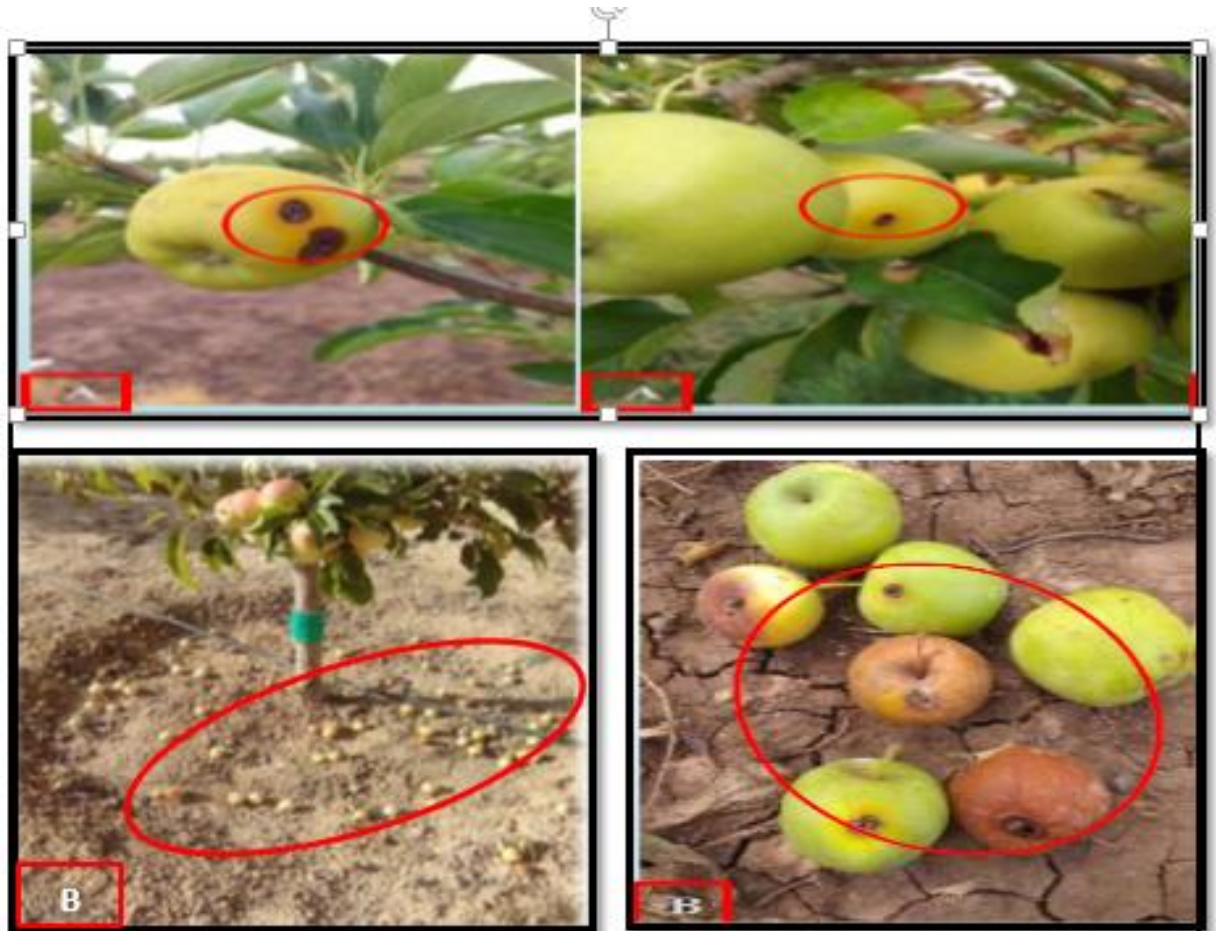


Figure 21. Fruits atteints par *C. pomonella* L (Photos originales).
(a) fruits atteints sur arbres ; (b) fruits atteints et tombés au sol.

1.2.6. Détermination de types de dégâts larvaires

La méthode consiste à examiner et découper les fruits atteints (sur arbre et tombés au sol) à la récolte, dans chaque parcelle élémentaire, afin de préciser le type de dégâts (**Figure 22**). Selon **Hmimna (2007) ; Ricci et al., (2007)**, les dégâts des fruits atteints par *C. pomonella* sont classés en 3 catégories :

- A. Dégâts actifs :** La larve creuse une galerie en forme de spirale vers le centre de la pomme, une auréole rouge entoure le point de pénétration de la larve.
- B. Dégâts stoppés :** La larve pique la pomme uniquement au niveau superficiel, puis se déplace vers une autre pomme.

Partie expérimentale

C. Dégâts cicatrisés : Arrêt de l'attaque larvaire au stade jeune pomme et formation d'un tissu cicatriciel.



Figure 22. Dommages causés par *C. pomonella* sur pommes (photos originales).

1.2.7. Estimation de la population par piégeage des larves

Le piégeage des larves dans des bandes pièges est un moyen efficace de contrôle de la population. Il donne de bonnes indications sur la population de la parcelle et l'estimation pour l'année suivante (Hmimina, 2007 ; Dufresne et Boulanger, 2022). Les bandes pièges permettent de capturer les larves hivernantes. Après la chute des fruits, les larves vont rejoindre le tronc et ses anfractuosités pour y fabriquer leur cocon (Dufresne et Boulanger, 2022). La bande-piège sera alors un refuge artificiel où les larves s'installent pour passer l'hiver. Pour capturer ces larves, une bande piège en carton ondulé a été installée par arbre (Figure 23). Chacune est placée autour de la base du tronc à une hauteur de 0,5 à 1m du sol (Hmimina, 2007), et est fixée solidement contre le tronc de l'arbre par un fil de fer ou par un Ruban kraft adhésif.

Les bandes de pièges sont posées vers la mi-avril et retirées en fin de saison (septembre). Chaque bande-piège est collectée dans un sac individuel étiqueté avec le nom de la modalité, le numéro du bloc et le numéro de l'arbre. Au laboratoire, la bande-piège est dépouillée pour prélever les larves diapausantes, qui sont ensuite comptées et différenciées en larves mâles, larves femelles et nymphes. Les larves femelles se distinguent des larves mâles par la présence ou l'absence d'une tache noire bien visible (genitalia) sur la face dorsale du mâle (Figure 23).

Partie expérimentale



Figure 23. Récupération des larves dans les bandes pièges (Photos originales).

(a) bande piège disposée au pied d'un pommier ; (b) la collecte de bandes pièges dans le verger ; (c) technique de prélèvement et de comptage des larves au laboratoire.

Partie expérimentale

1.2.8. Efficacité des traitements

L'efficacité des traitements a été calculée selon la formule d'**Abbott (1925)**, qui est la formule la plus appropriée pour évaluer le taux d'infestation dans une population uniforme (**Finney, 1971 ;**

Bakr, 2005).
$$Efficacité \% = 100 \cdot \left[\frac{T_0 - Tt}{T_0} \right]$$

T_0 : % de fruits attaqués sur la parcelle témoin ;

Tt : % de fruit attaqués sur la parcelle traitée.

1.2.9. Analyses statistiques

Les résultats des différents essais ont été traités par l'analyse de variance (ANOVA) avec le test post-hoc de Tukey en utilisant le logiciel Excel Stat 2014. Les résultats ont été exprimés en moyenne \pm E.S. (Erreur standard), et considérée comme significativement différente à $P \leq 0,05$.

Chapitre II : Résultats et Discussion

2.1. Résultats

2.1.1. Détermination de la dose du sorbitol la plus efficace

Dans le verger d'Ain Touta et sur les deux variétés de pommes Golden Delicious et Royal Gala, différentes doses de 0,1, 1, 10 et 100 ppm de sucre-alcool "sorbitol" ont été testées pour déterminer la dose la plus performante.

Les résultats des pourcentages moyens de fruits attaqués par arbre à la récolte et de fruits tombés au sol, ainsi que leurs pourcentages d'efficacité, issus de deux essais réalisés en 2017 sur les variétés Royal Gala et Golden Delicious, et deux autres essais réalisés en 2018 sur la variété Golden Delicious, sont présentés dans les Tableaux 6, 7, 8 et 9. Les pourcentages moyens d'attaques actives, cicatrisées et stoppées, et les nombres moyens de larves mâles, de larves femelles et de nymphes dans les bandes pièges des essais réalisés en 2017 sont présentés dans les **Figures 24, 25, 26 et 27**.

2.1.1.1. Dégâts larvaires à la récolte sur les deux variétés pendant l'année 2017

A. Dégâts larvaires sur arbres dans les essais de 2017

Dans le verger d'étude (Ain Touta), la présence d'une très forte population de *C. pomonella* a été enregistrée (**Tableau 6**). En effet, le pourcentage moyen de fruits attaqués à la récolte dans les arbres témoins non traités de la variété Royal Gala était de $78,17\% \pm 1,03$. Le traitement des arbres au sucre alcool « sorbitol » a permis de réduire significativement le taux d'attaque, quelle que soit la dose utilisée. La dose de 1 ppm de sorbitol a donné un pourcentage de fruits attaqués à la récolte de $71,22\% \pm 1,56$. Les doses de 0,1 et 10 ppm de sorbitol ont fourni des pourcentages d'attaques similaires de $48,03\% \pm 2,02$ et $45,04\% \pm 0,52$ respectivement. La dose de 100 ppm de sorbitol a produit le plus faible pourcentage de fruits attaqués à la récolte, soit $37,18\% \pm 0,75$. L'efficacité des traitements Abbott du sorbitol à 100 ppm était la plus élevée à $52,43\% \pm 0,73$ par rapport aux autres doses, 0,1, 1 et 10 ppm, pour lesquelles les pourcentages d'efficacité moyenne étaient de l'ordre de $38,47\% \pm 3,07$, $8,82\% \pm 1,85$ et $42,36\% \pm 0,88$ respectivement.

Partie expérimentale

Tableau 6. Pourcentages de fruits attaqués sur arbre à la récolte et efficacités des traitements Abbott, dans les essais conduits en verger de pommiers d'Ain Touta en 2017 sur les variétés Royal Gala et Golden Delicious.

Les valeurs avec les différentes lettres sont significativement différentes (Anova, test post hoc Tukey).

Variétés	Royal Gala		Golden Delicious	
	% de fruits attaqués	Efficacité Abbott (%)	% de fruits attaqués	Efficacité Abbott (%)
Témoin	78,17 ± 1,03 (a)	/	80,09 ± 1,82 (a)	/
Sorbitol 0,1ppm	48,03 ± 2,02 (c)	38,47 ± 3,07 (b)	78,84 ± 1,10 (a)	1,47 ± 1,49 (b)
Sorbitol 1ppm	71,22 ± 1,56 (b)	8,82 ± 1,85 (c)	76,79 ± 0,91 (a)	4,02 ± 1,54 (b)
Sorbitol 10ppm	45,04 ± 0,52 (c)	42,36 ± 0,88 (b)	40,36 ± 1,91 (b)	49,4 ± 3,47 (a)
Sorbitol 100ppm	37,18 ± 0,75 (d)	52,43 ± 0,73 (a)	38,35 ± 1,17 (b)	51,97 ± 2,39 (a)

Pour la Golden Delicious (**Tableau 6**), les traitements avec 0,1 et 1 ppm de sorbitol ont donné des pourcentages très élevés de fruits attaqués à la récolte, soit 78,84% ± 1,10 et 76,79% ± 0,91, qui étaient similaires au pourcentage enregistré sur le témoin (80,09% ± 1,82) et qui représentaient les efficacités de traitement les plus faibles, soit 1,47% ± 1,49 et 4,02% ± 1,54, respectivement. A l'inverse, les arbres traités avec 10 et 100 ppm de sorbitol ont eu les plus faibles pourcentages de fruits affectés à la récolte (40,36% ± 1,91 et 38,35% ± 1,17, respectivement) et les efficacités de traitement les plus élevées (49,4% ± 3,47 et 51,97% ± 2,39, respectivement).

B. Dégâts larvaires sur fruits attaqués et tombés au sol dans les essais de 2017

Tableau 7. Pourcentage de fruits attaqués et tombés au sol à la récolte et efficacités des traitements Abbott dans les essais conduits en verger de pommiers d'Ain Touta en 2017 sur les variétés Royal Gala et Golden Delicious.

Les valeurs avec les différentes lettres sont significativement différentes (Anova, test post hoc Tukey)

Variétés	Royal Gala		Golden Delicious	
	% de fruits attaqués	Efficacité Abbott (%)	% de fruits attaqués	Efficacité Abbott (%)
Témoin	80,16 ± 1,13 (a)	/	85,86 ± 2,81 (a)	/
Sorbitol 0,1ppm	50,53 ± 1,11 (b)	36,94 ± 1,48 (c)	80,34 ± 2,33 (a)	6,28 ± 2,54 (b)
Sorbitol 1ppm	77,47 ± 3,72 (a)	3,41 ± 1,29 (d)	79,29 ± 2,10 (a)	7,52 ± 2,07 (b)
Sorbitol 10ppm	44,79 ± 2,11 (bc)	44,17 ± 2,17 (b)	47,36 ± 2,85 (b)	44,52 ± 4,42 (a)
Sorbitol 100ppm	38,43 ± 1,48 (c)	52,03 ± 2,02 (a)	42,85 ± 3,31 (b)	49,56 ± 5,35 (a)

Les arbres non traités (Témoins) de la variété Royal Gala ont présenté un pourcentage de fruits attaqués et tombés au sol à la récolte de 80,16% ± 1,13. Les arbres traités avec 0,1, 1, 10 et 100 ppm de sorbitol ont présenté des pourcentages de fruits attaqués et tombés au sol de l'ordre de 50,53% ± 1,11, 77,47% ± 3,72, 44,79% ± 2,11 et 38,43% ± 1,48 respectivement, ce qui correspond à des

Partie expérimentale

efficacités Abbott de $36,94\% \pm 1,48$, $3,41\% \pm 1,29$, $44,17\% \pm 2,17$ et $52,03\% \pm 2,02$ respectivement. La concentration 100 ppm de sorbitol s'est avérée la plus efficace pour la Royal Gala (**Tableau 7**).

Pour la Golden Delicious (**Tableau 7**), le taux d'attaque des pommes tombées au sol enregistré sur les arbres non traités et ceux traités par le sorbitol aux doses de 0,1 et 1 ppm était très fort, de l'ordre de $85,86\% \pm 2,81$, $80,34\% \pm 2,33$ et $79,29\% \pm 2,10$ respectivement. Par contre, les arbres traités avec 10 et 100 ppm de sorbitol ont eu les taux d'attaque de fruits tombés les plus faibles, respectivement $47,36\% \pm 2,85$ et $42,85\% \pm 3,31$. La dose de 100 ppm de sorbitol est aussi efficace que la dose de 10 ppm (l'efficacité Abbott est respectivement de $49,56\% \pm 5,35$ et $44,52\% \pm 4,42$).

En 2017, les arbres traités avec 10 et 100 ppm de sorbitol présentaient un pourcentage de fruits attaqués sur l'arbre et tombés au sol inférieur à celui du témoin, mais les résultats n'étaient pas significatifs pour la variété Golden Delicious (**Tableaux 6 et 7**), raison pour laquelle deux essais ont été répétés l'année suivante (2018) sur cette variété (**Tableaux 8 et 9**).

Tableau 8. Pourcentage de fruits attaqués sur arbre à la récolte et efficacités des traitements Abbott, dans les essais reconduits en 2018, sur la variété Golden Delicious.

Les valeurs avec les différentes lettres sont significativement différentes (Anova, test post hoc Tukey).

Variétés	Essai 1		Essai 2	
	% de fruits attaqués	Efficacité Abbott (%)	% de fruits attaqués	Efficacité Abbott (%)
Témoin	$60,13 \pm 1,09$ (a)	/	$38,16 \pm 3,45$ (a)	
Sorbitol 10ppm	$44,05 \pm 1,82$ (b)	$26,75 \pm 2,76$ (b)	$29,26\% \pm 0,62$ (b)	$21,46\% \pm 6,97$ (b)
Sorbitol 100ppm	$38,17 \pm 1,19$ (c)	$36,41 \pm 2,75$ (a)	$20,83\% \pm 0,8$ (c)	$43,86\% \pm 5,83a$ (a)

Les résultats présentés dans le **Tableau 8** montrent que le traitement des arbres de la variété Golden Delicious avec 10 ppm ou 100 ppm de sorbitol a significativement réduit le taux d'attaque des fruits par les larves de *C. pomonella*, de $60,13\% \pm 1,09$ (témoin) à $44,05\% \pm 1,82$ (10 ppm de sorbitol) et $38,17\% \pm 1,19$ (100 ppm de sorbitol), et de $38,16\% \pm 3,45$ (témoin) à $29,26\% \pm 0,62$ (10 ppm de sorbitol) et $20,83\% \pm 0,8$ (100 ppm de sorbitol) pour les essais 1 et 2 respectivement. Toutefois, la dose de 100 ppm était beaucoup plus efficace que la dose de 10 ppm de sorbitol, l'efficacité des traitements Abbott étant de $36,41\% \pm 2,75$ vs. $26,75\% \pm 2,76$ (essai 1) et de $43,86\% \pm 5,83$ vs. $21,46\% \pm 6,97$ (essai 2).

Partie expérimentale

Tableau 9. Pourcentage de fruits attaqués et tombés au sol à la récolte et efficacités des traitements Abbott, dans les essais reconduits en 2018, sur la variété Golden Delicious.

Les valeurs avec les différentes lettres sont significativement différentes
(Anova, test post hoc Tukey)

Variétés	Essai 1		Essai 2	
	% de fruits attaqués	Efficacité Abbott (%)	% de fruits attaqués	Efficacité Abbott (%)
Témoin	77,96 ± 3,61 (a)	/	63,79 ± 1,79 (a)	
Sorbitol 10ppm	54,35 ± 2,07 (b)	30,10 ± 2,2 (b)	42,54 ± 3,76 (b)	33,35 % ± 3,98 (b)
Sorbitol 100ppm	39,67 ± 2,12 (c)	48,45 ± 4,93 (a)	31,64 ± 1,43 (c)	50,14 % ± 3,38 (a)

Nous avons également constaté (**Tableau 9**), que la dose de 100 ppm de sorbitol a donné de meilleurs résultats que la dose de 10 ppm de sorbitol dans les deux essais, pour les fruits endommagés et tombés au sol. L'efficacité des traitements Abbott était de 48,45% ± 4,93 vs. 30,10% ± 2,2 (essai 1) et de 50,14% ± 3,38 vs. 33,35% ± 3,98 (essai 2).

2.1.1.2. Types de dégâts larvaires enregistrés à la récolte sur les deux variétés pendant l'année 2017

A. Attaques larvaires cicatrisées, stoppées et actives des fruits sur arbre (essais de 2017)

La **Figure 24** montre que les dégâts larvaires sur les fruits à la récolte sur les arbres non traités (témoin) de la variété Royal Gala sont représentés par un pourcentage très élevé d'attaques actives, de l'ordre de 80,2 % ± 2,64, par rapport aux attaques stoppées et cicatrisées qui sont respectivement de l'ordre de 7,59 % ± 1,26 et 12,21 % ± 2,7. De même, les arbres pulvérisés avec 0,1, 1 et 10 ppm de sorbitol ont présenté respectivement un pourcentage très élevé d'attaques actives, de l'ordre de 76% ± 1,68, 77,50% ± 0,89 et 69,86% ± 1,2, plus élevés que les pourcentages d'attaques stoppées, de l'ordre de 10,97% ± 2,29, 8,75% ± 1,18 et 14,11% ± 3,93, et d'attaques cicatrisées, de l'ordre de 13,03% ± 2,65, 13,75% ± 1,17 et 16,03% ± 3,48. Toutefois, les dégâts larvaires les plus importants enregistrés sur les arbres traités avec une concentration de 100 ppm de sorbitol correspondent aux attaques cicatrisées avec un pourcentage de 45,05 % ± 1,96 par rapport aux attaques actives (24,69 % ± 1,16) et stoppées (30,26 % ± 2,01).

Partie expérimentale

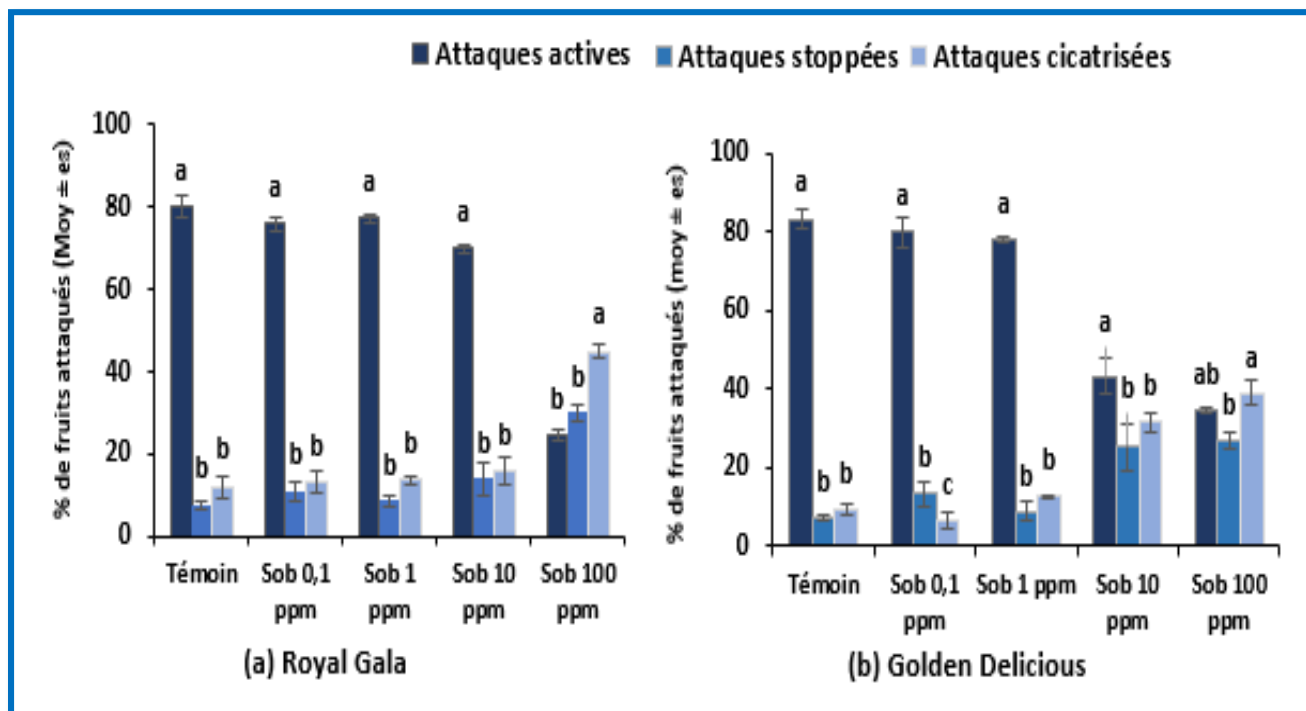


Figure 24. Attaques larvaires actives, stoppées et cicatrisées sur les fruits des variétés (a) Royal gala et (b) Golden delicious sur arbre à la récolte, dans les essais conduits en 2017 dans le verger d'Ain Touta. Les valeurs avec les différentes lettres sont significativement différentes ($P \leq 0,05$; test post hoc Tukey).

Les dégâts larvaires sur les arbres témoins de la Golden delicious ont été déterminés par un pourcentage moyen d'attaques actives de $83,25\% \pm 2,47$, supérieur aux pourcentages d'attaques stoppées $7,41\% \pm 0,6$ et d'attaques cicatrisées $9,34\% \pm 1,47$. Les pulvérisations foliaires avec du sorbitol à 0,1, 1 et 10 ppm ont provoqué également des pourcentages plus élevés d'attaques actives de l'ordre de $80,08\% \pm 3,84$, $78,62\% \pm 0,83$ et $43,27\% \pm 4,38$, respectivement que d'attaques stoppées de $13,28\% \pm 3,37$, $8,85\% \pm 2,29$ et $25,23\% \pm 5,2$, respectivement et d'attaques cicatrisées de $6,64\% \pm 2,3$, $12,53\% \pm 0,62$ et $31,5\% \pm 2,4$, respectivement. Par contre, dans les parcelles pulvérisées avec 100 ppm de sorbitol, le pourcentage d'attaques cicatrisées de $38,97\% \pm 3,04$ est supérieur au pourcentage d'attaques stoppées $26,55\% \pm 2,14$ et au pourcentage d'attaques actives $34,48\% \pm 0,73$.

B. Attaques larvaires cicatrisées, stoppées et actives sur les fruits tombés au sol (essais de 2017)

Dans les parcelles non traitées de Royal Gala (**Figure 25**), les attaques actives des larves sur les fruits tombés au sol étaient de $80,06\% \pm 2,6$, plus élevées que les attaques stoppées de l'ordre de $10,62\% \pm 2,14$ et les attaques cicatrisées de $9,32\% \pm 1,57$. En outre, le pourcentage d'attaques actives de $69,25\% \pm 3,25$, $76\% \pm 3,19$ et $63,11\% \pm 2,67$ était beaucoup plus élevé que celui des attaques stoppées $16,25\% \pm 1,68$, $13,23\% \pm 2,94$ et $16,46\% \pm 3,41$ et que celui des attaques cicatrisées $14,5\%$

Partie expérimentale

$\pm 2,13$, $10,77\% \pm 1,72$ et $20,43\% \pm 4,17$ dans les parcelles traitées au sorbitol à 0,1, 1 et 10 ppm, respectivement. Les parcelles traitées avec 100 ppm de sorbitol présentaient en revanche $32,19\% \pm 0,98$ de dégâts actifs, $21,41\% \pm 2,62$ de dégâts stoppés et $46,40\% \pm 0,8$ de dégâts cicatrisés.

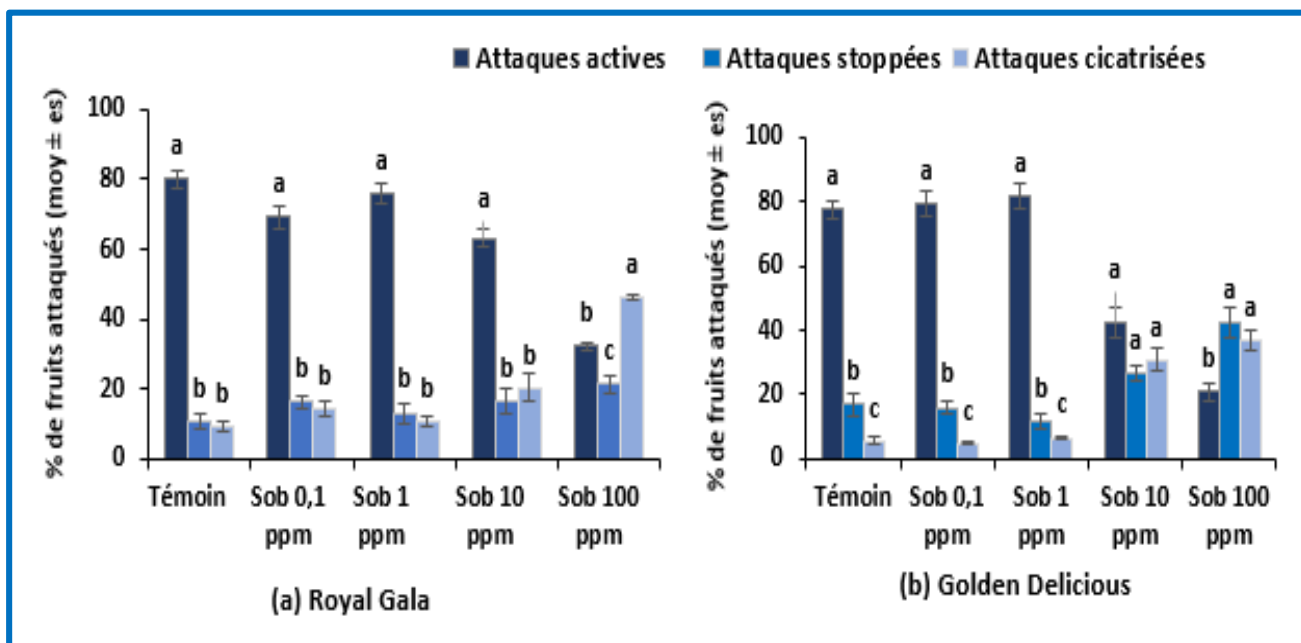


Figure 25. Attaques larvaires actives, stoppées et cicatrisées sur les fruits tombés au sol des variétés (a) Royal gala et (b) Golden delicious, dans les essais conduits en 2017 dans le verger d'Ain Touta. Les valeurs avec les différentes lettres sont significativement différentes ($P \leq 0,05$; test post hoc Tukey).

Pour la Golden Delicious (**Figure 25**), le pourcentage d'attaques actives sur les pommes tombées au sol enregistré dans les parcelles non traitées et dans les parcelles traitées au sorbitol aux doses de 0,1 et 1 ppm était très élevé, de l'ordre de $77,47\% \pm 4,25$, $79,28\% \pm 4,1$ et $81,52\% \pm 4,18$ et était significativement plus élevé que le pourcentage d'attaques stoppées $16,86\% \pm 3,21$, $16,02\% \pm 1,87$ et $11,84\% \pm 2,61$ respectivement et le pourcentage d'attaques cicatrisées $5,67\% \pm 0,98$, $4,7\% \pm 0,38$ et $6,64\% \pm 0,63$, respectivement. Par contre, les arbres traités avec 10 ppm de sorbitol ont produit des pourcentages similaires d'attaques actives $42,55\% \pm 4,64$, stoppées $26,64\% \pm 2,36$ et cicatrisées $30,81\% \pm 3,44$. Alors que lors des traitements des arbres par 100 ppm de sorbitol, le pourcentage d'attaques cicatrisées $37,08\% \pm 2,98$ est identique à celui des attaques stoppées $42,03\% \pm 4,7$, et est supérieur à celui des attaques actives $20,89\% \pm 2,66$.

Partie expérimentale

2.1.1.3. Dénombrement de larves et chrysalides capturées dans les bandes pièges durant l'année 2017

A. Nombre total de chrysalides et de larves durant l'année 2017

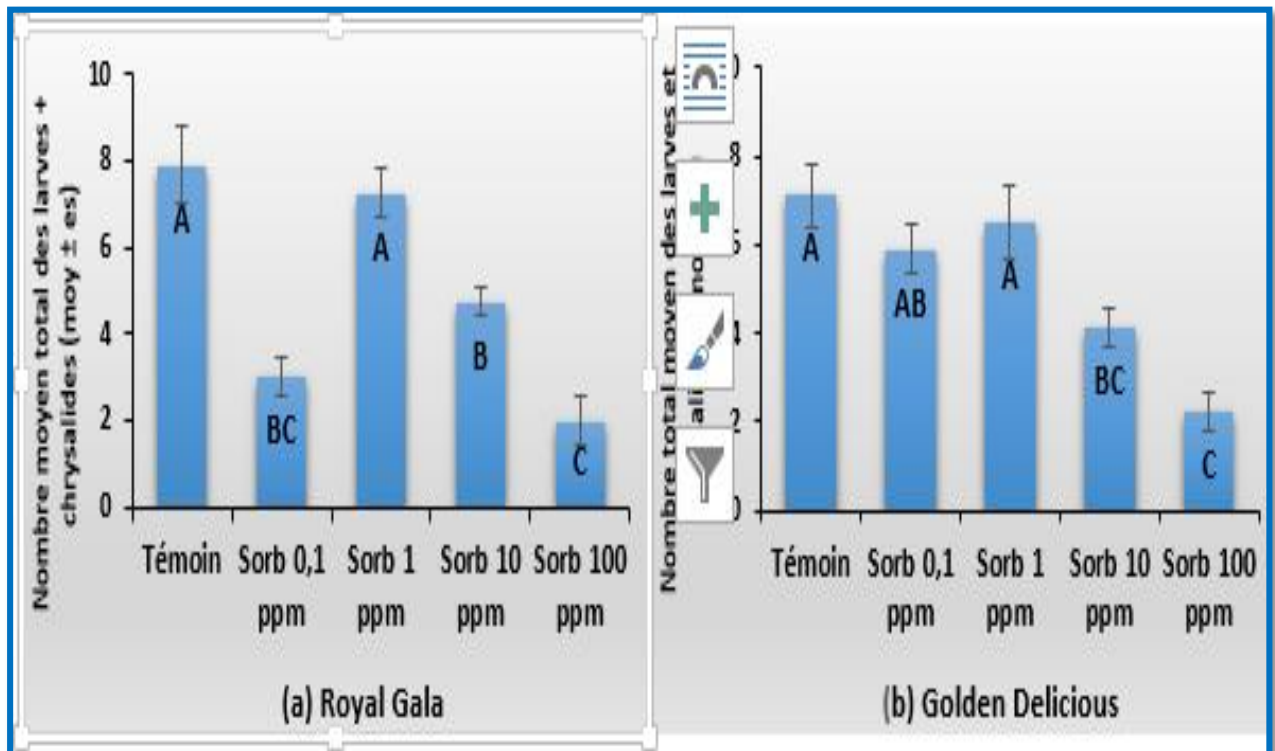


Figure 26. Nombre total moyen des larves et chrysalides en fonction des traitements réalisés dans le verger d'Ain Touta en 2017 sur les variétés (a) Royal Gala et (b) Golden Delicious. Les valeurs sont les moyennes \pm es (erreur standard).

Les moyennes avec des lettres majuscules identiques ne sont pas significativement différentes ($p \leq 0,05$, ANOVA suivie d'un test post hoc Tukey).

Le comptage des larves et des chrysalides dans les cartons ondulés placés autour des troncs des arbres témoins et des arbres traités au sorbitol à différentes concentrations de 0,1, 1, 10 et 100 ppm (**Figure 26**), a montré un nombre moyen total de $7,87 \pm 0,90$, $3,00 \pm 0,46$, $7,25 \pm 0,59$, $4,75 \pm 0,32$ et $2,00 \pm 0,54$ pour Royal Gala et $7,13 \pm 0,72$, $5,87 \pm 0,55$, $6,50 \pm 0,82$, $4,12 \pm 0,42$ et $2,25 \pm 0,43$ pour Golden Delicious, respectivement. Le nombre le plus faible de larves et de chrysalides a été enregistré pour les deux variétés avec le sorbitol à une concentration de 100 ppm.

B. Nombre de larves mâles, femelles et chrysalides (essais 2017)

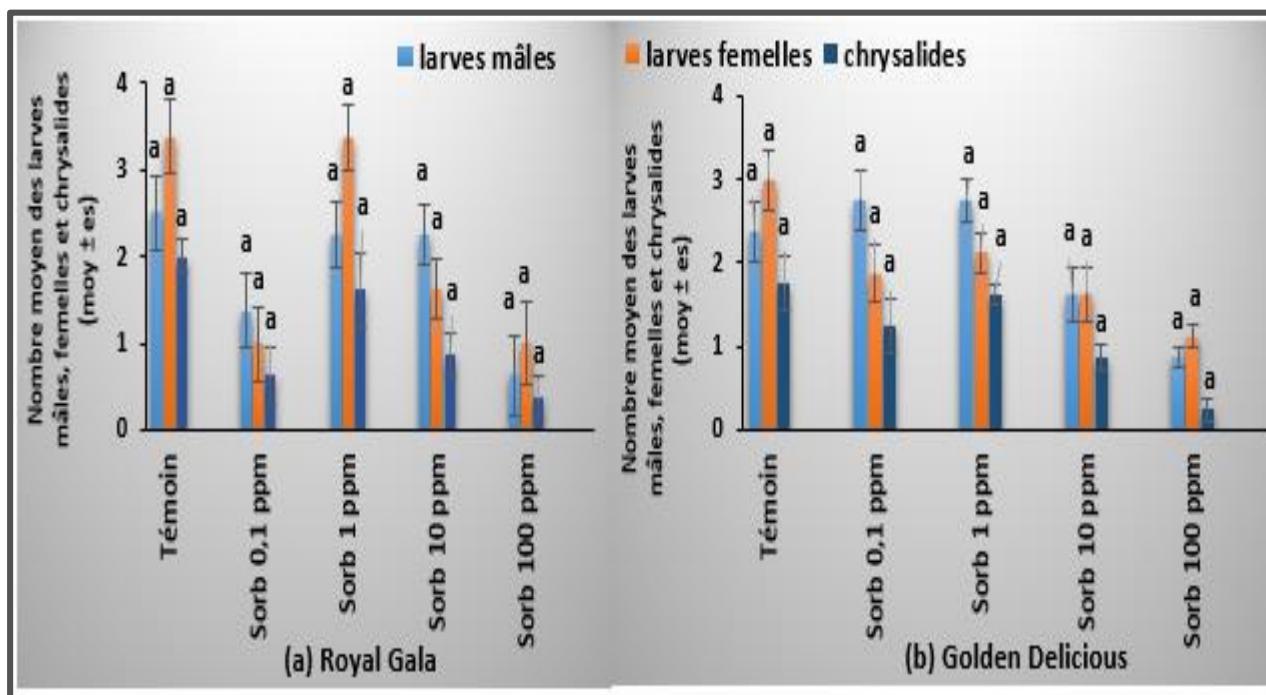


Figure 27. Nombre moyen des larves mâles, larves femelles et de chrysalides en fonction des traitements réalisés dans le verger de Ain Touta en 2017 sur les variétés (a) Royal Gala et (b) Golden Delicious. Les valeurs sont les moyennes ± es (erreur standard).

Les moyennes avec des lettres minuscules identiques ne sont pas significativement différentes ($p \leq 0,05$, ANOVA suivie d'un test post hoc Tukey).

Les résultats présentés dans la **Figure 27** montrent qu'il n'y a pas de différence significative entre les larves mâles, les larves femelles et les chrysalides pour les arbres témoins et les arbres traités avec 0,1, 1, 10 et 100 ppm de sorbitol chez la Royal Gala. Le nombre moyen de larves mâles était respectivement de $2,5 \pm 0,54$, $1,38 \pm 0,12$, $2,25 \pm 0,85$, $2,25 \pm 0,49$ et $0,63 \pm 0,38$. Le nombre moyen de larves femelles était de $3,38 \pm 0,43$, $1,00 \pm 0,35$, $3,38 \pm 0,37$, $1,63 \pm 0,47$ et $1,00 \pm 0,35$. Le nombre moyen de chrysalides était respectivement de $2,00 \pm 0,20$, $0,63 \pm 0,31$, $1,63 \pm 0,43$, $0,87 \pm 0,38$ et $0,37 \pm 0,24$.

De même, aucune différence significative n'a été observée entre les nombres moyens de larves mâles, de larves femelles et de chrysalides pour l'une ou l'autre des modalités chez la Golden Delicious (**Figure 27**). Les nombres moyens de larves mâles, de larves femelles et de chrysalides étaient respectivement de $2,37 \pm 0,24$, $3,00 \pm 0,35$ et $1,75 \pm 0,32$ pour le témoin, $2,75 \pm 0,72$, $1,87 \pm 0,24$ et $1,25 \pm 0,32$ pour le Sorbitol 0,1 ppm, $2,75 \pm 0,52$, $2,13 \pm 0,24$ et $1,63 \pm 0,13$ pour le Sorbitol 1ppm, $1,62 \pm 0,31$, $1,63 \pm 0,13$ et $0,87 \pm 0,37$ pour le Sorbitol 10ppm et $0,87 \pm 0,24$, $1,12 \pm 0,31$ et $0,25 \pm 0,14$ pour le Sorbitol 100ppm.

Partie expérimentale

2.1.2. Comparaison entre l'efficacité du sucre-alcool avec des sucres solubles

Au cours de l'année 2018, dans le verger d'Ain Touta et sur les deux variétés (Golden et Royal Gala), le sucre-alcool « sorbitol » a été comparé aux sucres solubles « saccharose, glucose et fructose », utilisés chacun à la même dose « 100 ppm ».

Les résultats des pourcentages moyens de fruits attaqués sur l'arbre à la récolte et ceux tombés au sol, des pourcentages d'efficacité Abbott, des pourcentages moyens d'attaques actives, cicatrisées et stoppées, et des nombres moyens de larves et de nymphes en diapause, issus des essais réalisés en 2018 sur les variétés Royal Gala et Golden Delicious sont présentés respectivement dans les figures 28, 29, 30, 31, 32 et 33.

2.1.2.1. Dégâts larvaires à la récolte sur les deux variétés durant l'année 2018

A. Dégâts larvaires sur fruits sur l'arbre (essais 2018)

Le taux d'attaque de *C. pomonella* sur les pommes enregistré sur les arbres témoins non traités était très élevé pour les deux variétés étudiées (**Figure 28**), atteignant $77,64\% \pm 0,19$ et $70,06\% \pm 1,68$ pour Royal Gala et Golden Delicious, respectivement. Cependant, sur les arbres traités avec les différents types de sucres à une dose de 100 ppm, nous avons observé une réduction significative du taux d'attaque pour ces deux variétés.

Sur les arbres Royal Gala, les traitements au sorbitol, au fructose, au saccharose et au glucose ont donné des pourcentages de fruits attaqués de l'ordre de $35,15\% \pm 0,68$, $43,05\% \pm 1,55$, $50,05\% \pm 2,19$ et $58,94\% \pm 3,2$ respectivement, ce qui correspond à des efficacités Abbott de l'ordre de $54,73\% \pm 1,66$, $44,55\% \pm 2,04$, $35,54\% \pm 2,8$ et $24,09\% \pm 4,09$ respectivement. Le traitement au sorbitol à 100 ppm sur Royal gala a fourni une meilleure protection contre le carpocapse que le glucose, le saccharose et le fructose.

Partie expérimentale

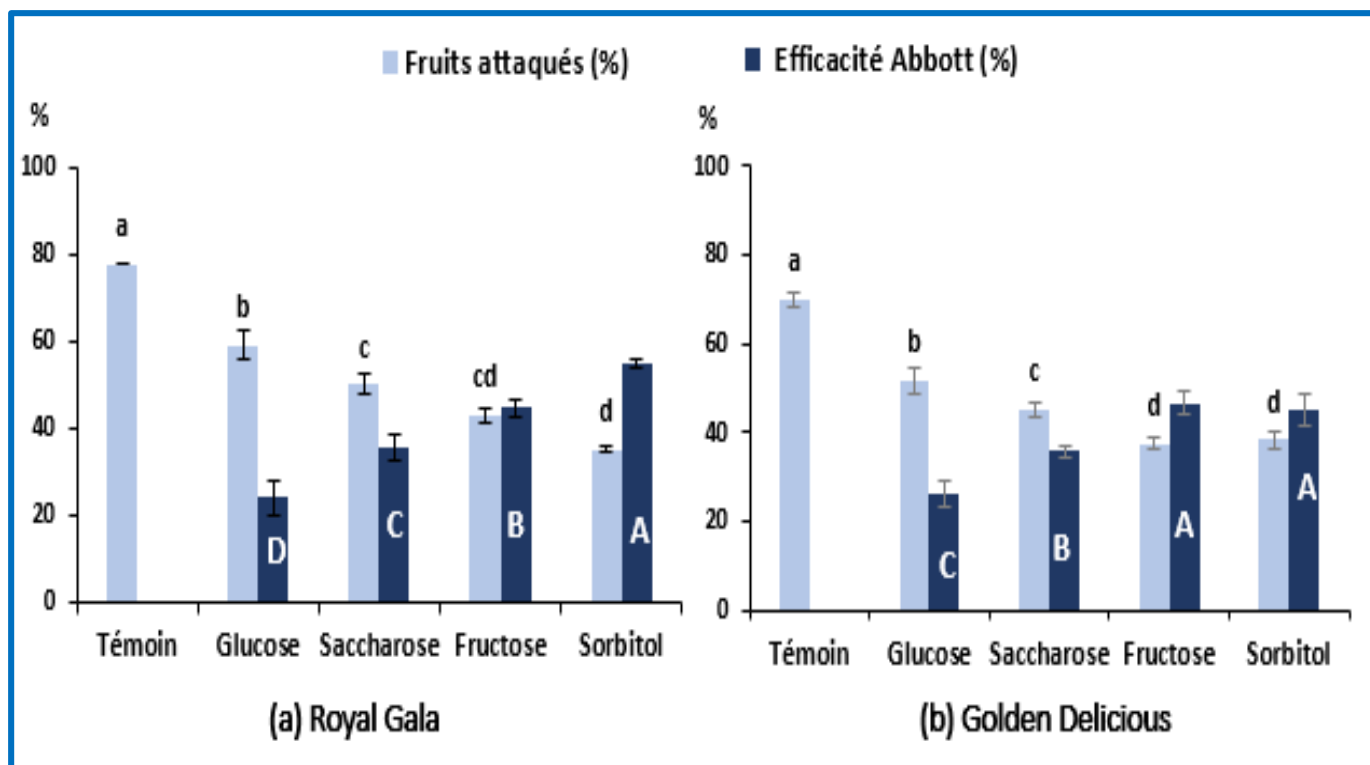


Figure 28. Pourcentage de pommes attaquées sur arbre et efficacité Abbott en fonction des différents traitements réalisés dans le verger d'Ain Touta en 2018 sur les variétés (a) Royal Gala et (b) Golden Delicious

Les valeurs avec les différentes lettres sont significativement différentes [différentes lettres minuscules indiquent des pourcentages de pommes attaquées sont significativement différentes et différentes lettres majuscules indiquent des pourcentages d'efficacité Abbott significativement différents ($P \leq 0,05$; test post hoc Tukey)]

Sur les arbres de la variété Golden (**Figure 28**), les pourcentages de fruits endommagés enregistrés sur les arbres pulvérisés avec du sorbitol, du fructose, du saccharose et du glucose étaient respectivement de $38,37 \% \pm 2,00$, $37,29 \% \pm 1,24$, $45,07\% \pm 1,34$ et $51,84 \% \pm 2,94$. L'efficacité du sorbitol à 100 ppm était similaire à celle du fructose à 100 ppm ($45,02 \% \pm 3,69$ et $46,60 \% \pm 2,82$, respectivement) et supérieure à celle du saccharose et du glucose à 100 ppm chacun ($35,68 \% \pm 1,10$ et $26,08 \% \pm 3,11$, respectivement).

B. Pourcentage de fruits attaqués et tombés au sol (essais 2018)

La pulvérisation foliaire de sorbitol, fructose, saccharose et glucose à 100 ppm sur Royal gala (**Figure 29**) a entraîné une réduction du pourcentage de fruits affectés et tombés au sol de l'ordre de $36,94\% \pm 1,97$, $46,99\% \pm 1,83$, $53,05\% \pm 1,15$ et $60,09\% \pm 2,07$ par rapport au témoin non traité qui était de $78,44\% \pm 1,91$. Le sorbitol a été le plus performant par rapport aux autres sucres, avec un pourcentage d'efficacité moyen de $52,74 \% \pm 3,11$. Quant au fructose et au saccharose, leur efficacité

Partie expérimentale

a été considérable et similaire, de l'ordre de $40,02\% \pm 2,53$ et $32,18\% \pm 2,76$, tandis que le glucose a présenté l'efficacité la plus faible, de l'ordre de $23,28\% \pm 3,01$.

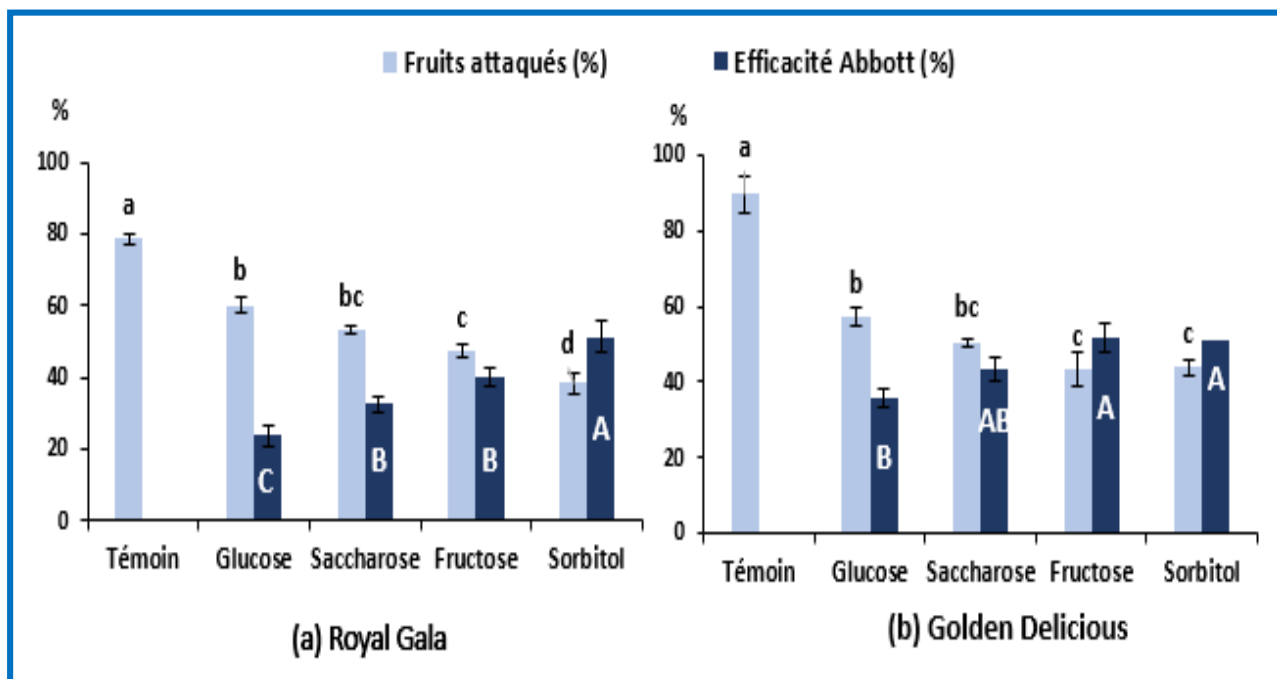


Figure 29. Pourcentage de pommes attaquées et tombées au sol et efficacité Abbott en fonction des différents traitements réalisés dans le verger de Ain Touta en 2018 sur les variétés (a) Royal gala et (b) Golden delicious. Les valeurs avec les différentes lettres sont significativement différentes [différentes lettres minuscules indiquent des pourcentages de pommes attaquées significativement différents et différentes lettres majuscules indiquent des pourcentages d'efficacité Abbott significativement différents ($P \leq 0,05$; test post hoc Tukey)].

Sur la variété Golden delicious (**Figure 29**), les pulvérisations de 100 ppm du sorbitol, fructose, saccharose et glucose, ont également entraîné une baisse significative de fruits attaqués et tombés au sol par rapport au témoin non traité ($43,73\% \pm 1,85$, $43,32\% \pm 4,33$, $50,53\% \pm 0,94$ et $57,22\% \pm 2,6$ vs. $89,86\% \pm 4,83$). L'efficacité d'Abbott est meilleure et identique entre le sorbitol et le fructose avec $50,85\% \pm 3,65$ et $51,88\% \pm 3,41$ respectivement, suivi par le saccharose avec une efficacité de $43,38\% \pm 2,49$ et le glucose avec une efficacité de l'ordre de $35,86\% \pm 3,98$.

2.1.2.2. Types de dégâts larvaires enregistrés à la récolte sur les deux variétés durant l'année 2018

A. Attaques larvaires cicatrisées, stoppées et actives des fruits sur arbre (essais 2018)

Les dégâts larvaires sur les fruits (**Figure 30**), des arbres non traités (Témoin) de la variété Royal Gala à la récolte sont représentés par un pourcentage d'attaques actives très élevé, de l'ordre de $73,03\% \pm 4,05$, par rapport aux attaques stoppées et cicatrisées qui sont respectivement de $17,33\% \pm$

Partie expérimentale

3,4 et 9,65% ± 1,61. Les arbres pulvérisés avec 100 ppm de glucose ont un pourcentage d'attaques actives de l'ordre de 38,07% ± 2,93 égal à celui des attaques stoppées 33,81% ± 2,29 et à celui des attaques cicatrisées 28,12% ± 3,27. Pour les arbres traités avec 100 ppm de saccharose, le pourcentage d'attaques actives était plus faible 20,23% ± 3,73 que le pourcentage d'attaques stoppées 37,09% ± 3,98 et d'attaques cicatrisées 42,69% ± 3,18. Par contre, les dégâts larvaires les plus importants enregistrés sur les arbres traités avec 100 ppm de fructose étaient de type cicatrisé, avec un pourcentage d'attaques de l'ordre de 54,95% ± 2,42 par rapport aux attaques actives 20,03% ± 1,84 et aux attaques stoppées 25,02% ± 3,14. De même, sur les parcelles pulvérisées avec 100 ppm de sorbitol, le pourcentage d'attaques cicatrisées 57,77% ± 4,71 est supérieur à celui des attaques stoppées 24,36% ± 1,36 et des attaques actives 17,86% ± 3,13.

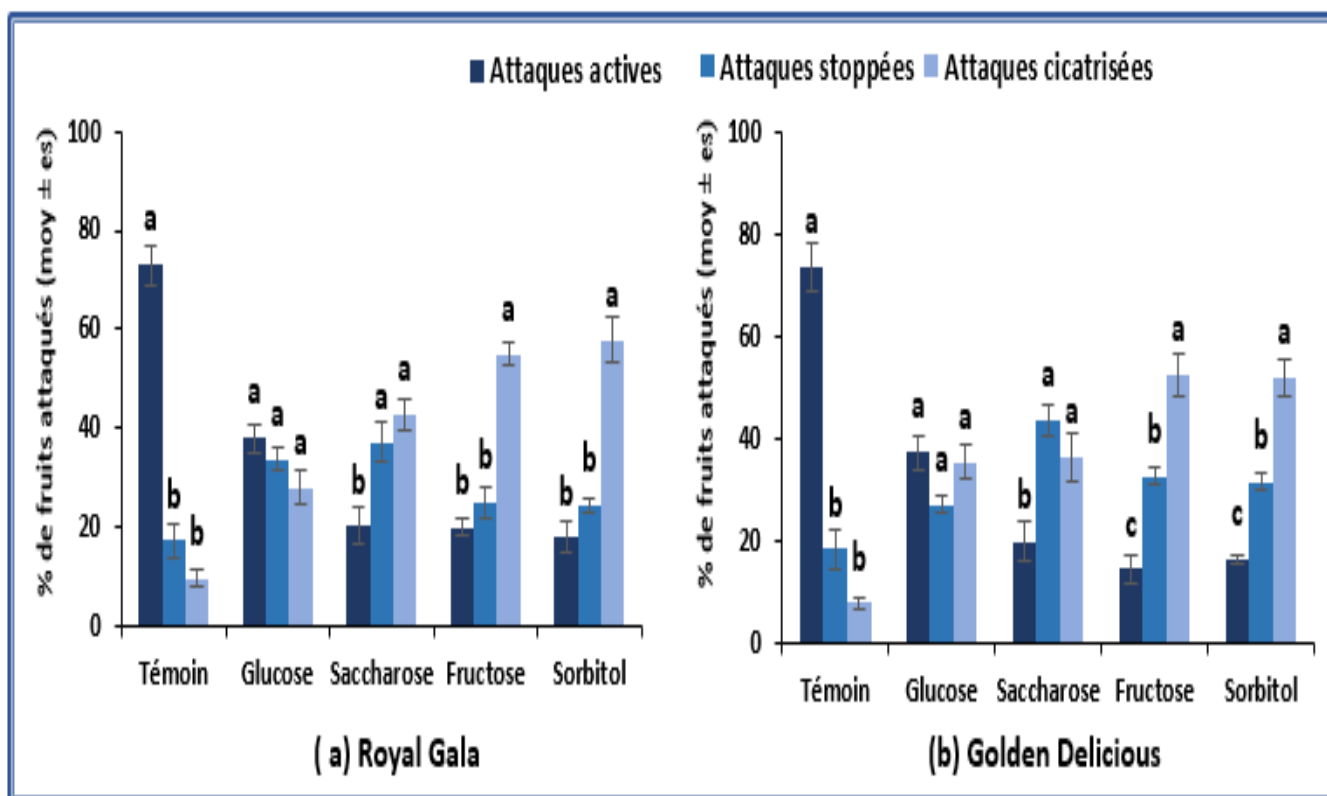


Figure 30. Attaques larvaires actives, stoppées et cicatrisées sur les fruits des variétés (a) Royal Gala et (b) Golden Delicious sur arbre à la récolte, dans les essais réalisés en 2018 dans le verger d'Ain Touta.

Les valeurs avec les différentes lettres sont significativement différentes ($P \leq 0,05$; test post hoc Tukey)]

Pour la Golden Delicious (**Figure 30**), le pourcentage d'attaques actives dans les parcelles témoins était de 73,78% ± 4,69, quatre fois plus élevé que le pourcentage d'attaques stoppées 18,41% ± 3,86, et neuf fois plus élevé que le pourcentage d'attaques cicatrisées 7,81% ± 1,18. La pulvérisation foliaire des arbres avec 100ppm de glucose a donné un pourcentage d'attaques actives 37,48% ± 3,32,

Partie expérimentale

similaire au pourcentage d'attaques stoppées $27,04\% \pm 1,71$ et au pourcentage d'attaques cicatrisées $35,48\% \pm 3,45$. Les traitements au saccharose à la dose de 100 ppm ont produit un pourcentage d'attaques actives $19,95\% \pm 3,80$, inférieur au pourcentage d'attaques stoppées ($43,73\% \pm 2,96$) et au pourcentage d'attaques cicatrisées $36,32 \pm 4,86$. Sur les arbres traités avec 100ppm de sorbitol, le pourcentage de dégâts cicatrisés $51,97\% \pm 3,86$ est supérieur au pourcentage d'attaques stoppées $31,67\% \pm 1,4$ et au pourcentage d'attaques actives $16,36\% \pm 0,9$. De même, sur les arbres traités avec 100ppm de fructose, le pourcentage d'attaques cicatrisées $52,66\% \pm 4,06$ est supérieur au pourcentage d'attaques stoppées $32,72\% \pm 1,83$ et d'attaques actives $14,62\% \pm 2,74$.

B. Attaques larvaires cicatrisées, stoppées et actives sur les fruits tombés au sol (essais 2018)

Chez Royal Gala (**Figure 31**), les dégâts larvaires les plus importants sur les fruits tombés au sol dans les parcelles témoins étaient les dégâts actifs, avec un pourcentage de $74,88\% \pm 3,38$, soit quatre fois plus que les dégâts stoppés $17,48\% \pm 3,28$ et presque dix fois plus que les dégâts cicatrisés $7,64\% \pm 0,48$. Sur les arbres traités avec 100 ppm de glucose, les dégâts actifs $39,95\% \pm 4,04$, stoppés $31,24\% \pm 3,74$ et cicatrisés $28,82\% \pm 3,78$ étaient similaires. Pour les arbres traités avec 100 ppm de saccharose, les dégâts les plus importants sur les fruits tombés au sol étaient des dégâts stoppés $40,84\% \pm 3,94$, comparés aux dégâts cicatrisés $35,03\% \pm 3,33$ et aux dégâts actifs $24,14\% \pm 2,29$. D'autre part, dans les parcelles traitées avec du fructose et du sorbitol à 100 ppm chacun, les dégâts larvaires les plus importants ont été les dégâts cicatrisés, avec un pourcentage d'attaques de $52,4\% \pm 4,52$ et $55,19\% \pm 3,5$ respectivement, par rapport aux attaques actives et aux attaques stoppées, avec $20,12\% \pm 2,78$ et $27,48\% \pm 1,66$ respectivement pour le fructose et $23,53\% \pm 2,41$ et $21,29\% \pm 2,5$ pour le sorbitol.

Partie expérimentale

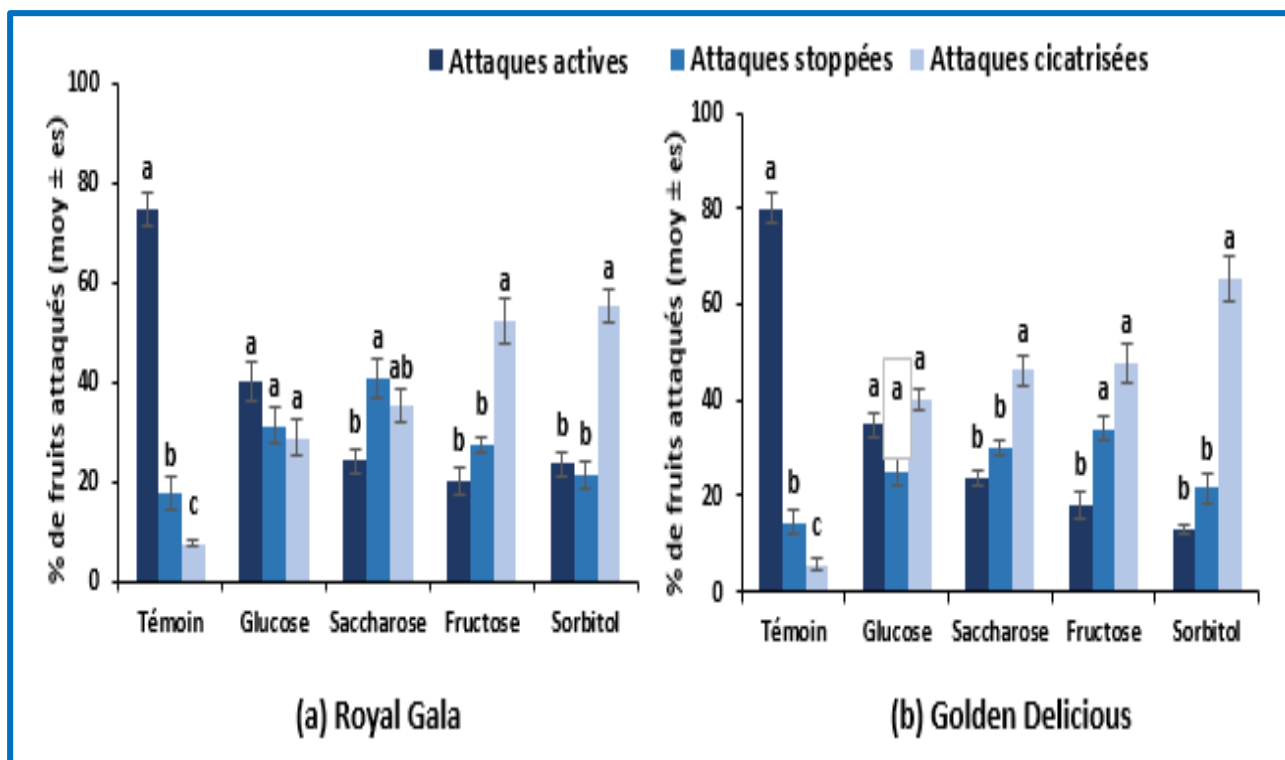


Figure 31. Attaques larvaires actives, stoppées et cicatrisées sur les fruits tombés au sol des variétés (a) Royal Gala et (b) Golden Delicious à la récolte, dans les essais réalisés en 2018 dans le verger d'Ain Touta. Les valeurs avec les différentes lettres sont significativement différentes ($P \leq 0,05$; test post hoc Tukey)].

Pour la Golden Delicious (**Figure 31**), les fruits tombés dans les parcelles témoins ont montré un pourcentage très élevé d'attaques actives, $80,05\% \pm 3,24$, contre $14,37\% \pm 2,45$ et $5,58\% \pm 1,38$ pour les attaques stoppées et cicatrisées, respectivement. Les fruits tombés des arbres traités avec 100 ppm de glucose ont montré un pourcentage d'attaques actives $34,86\% \pm 2,64$, identique à celui des attaques stoppées $25,09\% \pm 2,68$ et cicatrisées $40,05\% \pm 2,4$. Par contre, les dégâts larvaires enregistrés sur les fruits tombés des arbres traités avec 100 ppm de saccharose étaient représentés par un pourcentage d'attaques cicatrisées de l'ordre de $46,15\% \pm 3,41$, supérieur aux attaques actives et stoppées avec respectivement $23,67\% \pm 1,69$ et $30,18\% \pm 1,47$. Dans les parcelles traitées avec 100 ppm de sorbitol, le pourcentage d'attaques cicatrisées $65,45\% \pm 4,84$ était également plus élevé que le pourcentage d'attaques actives $13,03\% \pm 1,09$ et d'attaques stoppées $21,52\% \pm 3,28$. Quant aux parcelles traitées avec 100 ppm de fructose, le pourcentage d'attaques cicatrisées est égal au pourcentage d'attaques stoppées, avec respectivement $47,66\% \pm 4,27$ et $34,06\% \pm 2,73$, ce qui est supérieur au pourcentage d'attaques actives de $18,28\% \pm 2,87$.

Partie expérimentale

2.1.2.3. Dénombrement de larves et nymphes capturées dans les bandes pièges durant l'année 2018

A. Nombre total de nymphes et de larves dans les essais de 2018

Le comptage des larves et des chrysalides dans les bandes pièges placées sur les arbres de la variété Royal Gala lors des essais menés en 2018 a révélé un nombre très élevé de $7,62 \pm 0,37$ dans les parcelles de témoin non traitées. Les traitements au saccharose, au fructose, au glucose et au sorbitol ont significativement réduit le nombre total de larves et nymphes à $2,50 \pm 0,95$, $2,37 \pm 0,51$, $4,75 \pm 0,75$ et $1,37 \pm 0,31$, respectivement (**Figure 32**).

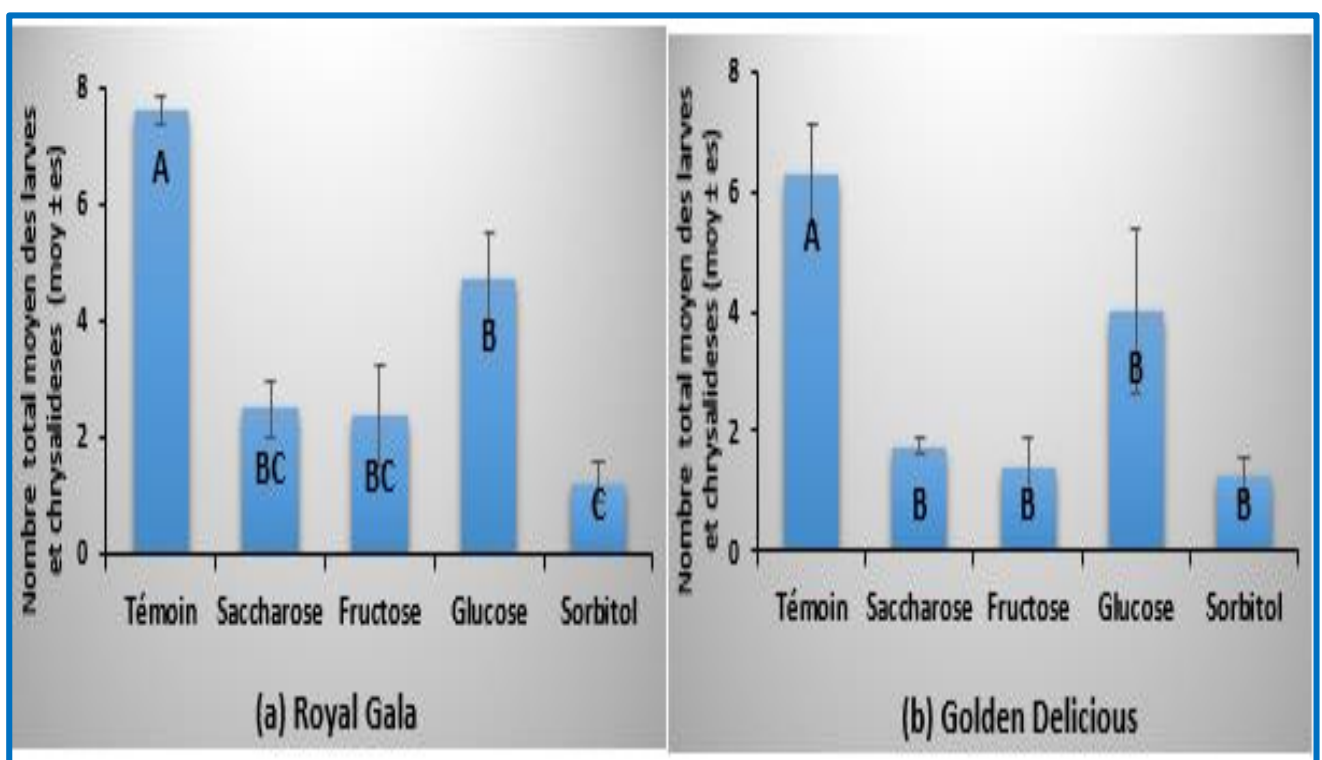


Figure 32. Nombre total moyen des larves et chrysalides en fonction des traitements réalisés dans le verger d'Ain Touta en 2018 sur les variétés (a) Royal Gala et (b) Golden Delicious. Les valeurs sont les moyennes \pm es (erreur standard).

Les moyennes avec des lettres minuscules identiques ne sont pas significativement différentes ($p \leq 0,05$, ANOVA suivie d'un test post hoc Tukey).

De même, pour la variété Golden Delicious (**Figure 32**), le témoin a présenté le nombre le plus élevé de larves et de chrysalides, de l'ordre de $6,25 \pm 1,05$, par rapport aux modalités : Glucose ($4,00 \pm 0,54$), Saccharose ($1,75 \pm 0,14$), Fructose ($1,38 \pm 0,37$) et Sorbitol ($1,62 \pm 0,37$), qui sont statistiquement très proches.

Partie expérimentale

B. Nombre de larves mâles, femelles et chrysalides (essais 2018)

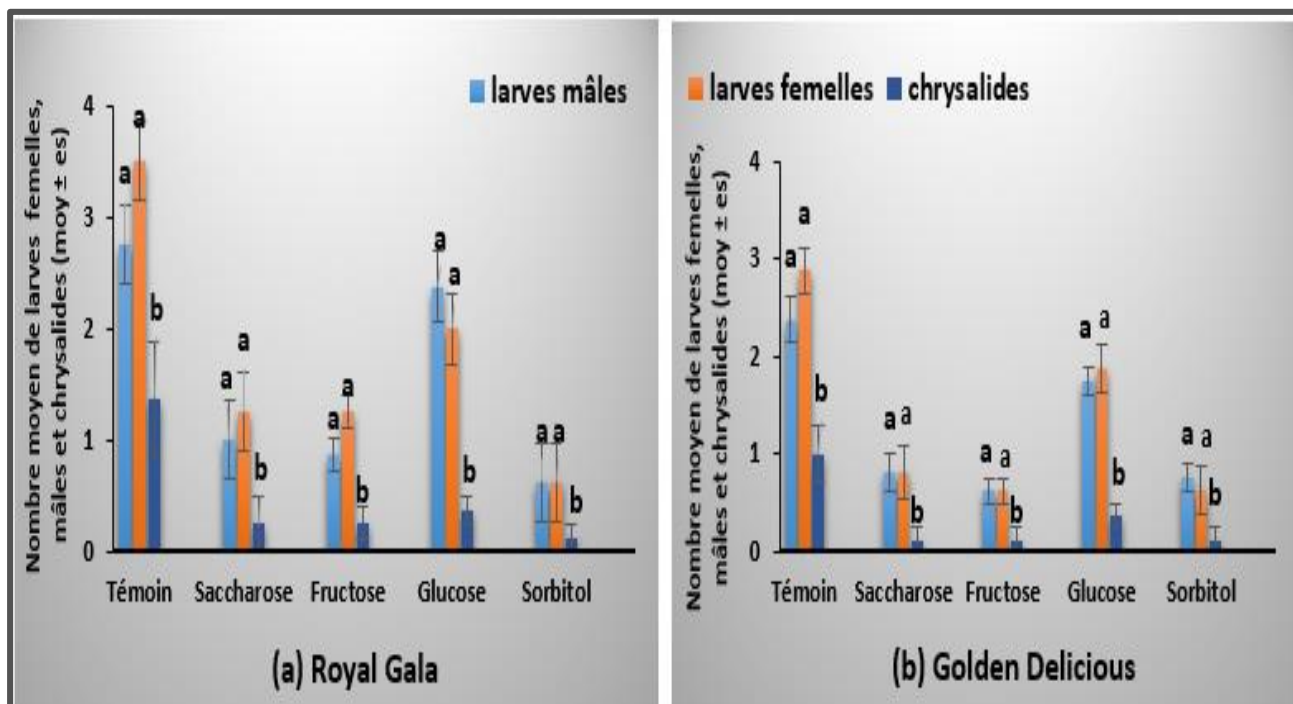


Figure 33. Nombre moyen des larves mâles, larves femelles et de chrysalides en fonction des traitements réalisés dans le verger de Ain Touta en 2018 sur les variétés (a) Royal Gala et (b) Golden Delicious. Les valeurs sont les moyennes ± es (erreur standard).

Les moyennes avec des lettres minuscules identiques ne sont pas significativement différentes ($p \leq 0,05$, ANOVA suivie d'un test post hoc Tukey).

La **Figure 33** montre que pour toutes les modalités du Royal gala, le nombre de larves mâles est similaire au nombre de larves femelles et supérieur au nombre de nymphes. En effet, les nombres moyens de larves mâles, de femelles et de nymphes sont respectivement de $2,75 \pm 0,25$, $3,5 \pm 0,35$ et $1,38 \pm 0,51$ pour le témoin, $1,00 \pm 0,41$, $1,25 \pm 0,63$ et $0,25 \pm 0,25$ pour le saccharose, $0,88 \pm 0,43$, $1,25 \pm 0,63$ et $0,25 \pm 0,25$ pour le fructose, $2,37 \pm 0,43$, $2,00 \pm 0,35$ et $0,37 \pm 0,24$ pour le glucose et de $0,62 \pm 0,24$, $0,63 \pm 0,32$ et $0,12 \pm 0,12$ pour le sorbitol.

De même pour la Golden Delicious (**Figure 33**), le nombre de larves mâles ne diffère pas du nombre de larves femelles et diffère du nombre moyen de chrysalides. Pour les différentes modalités, les moyennes des larves mâles, femelles et nymphes sont respectivement les suivantes : Témoin ($2,37 \pm 0,24$, $2,87 \pm 0,23$ et $1,00 \pm 0,29$), Saccharose ($0,81 \pm 0,19$, $0,82 \pm 0,27$ et $0,13 \pm 0,12$), Fructose ($0,63 \pm 0,12$, $0,62 \pm 0,13$ et $0,13 \pm 0,12$), Glucose ($1,75 \pm 0,14$, $1,87 \pm 0,24$ et $0,37 \pm 0,24$) et Sorbitol ($0,75 \pm 0,14$, $0,62 \pm 0,24$ et $0,13 \pm 0,12$).

Partie expérimentale

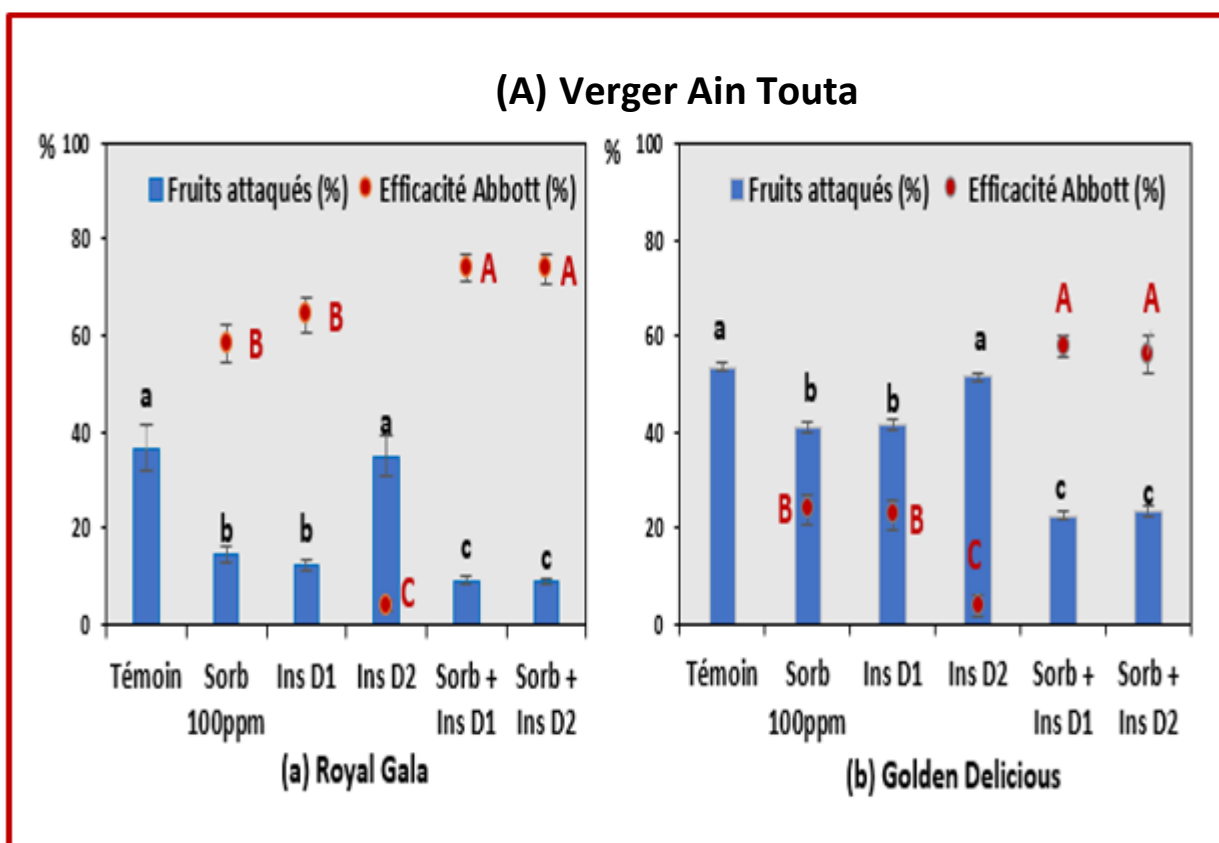
2.1.3. Combinaison du sorbitol avec un traitement phytosanitaire

Dans les essais menés en 2019 sur les deux variétés, Royal Gala et Golden Delicious, dans deux sites différents (Ain Touta et Chelia), le sorbitol à une concentration de 100 ppm a été associé à l'insecticide chimique Deltaméthrine aux doses recommandées et réduites.

Les résultats des pourcentages moyens d'attaques larvaires à la récolte, les pourcentages d'efficacité Abbott, les pourcentages d'attaques actives, cicatrisées et stoppées et les nombres de larves et de nymphes sont présentés respectivement dans les **Figures 34, 35, 36, 37, 38, 39 et 40**.

2.1.3.1. Dégâts larvaires à la récolte sur les deux variétés durant l'année 2019

A. Dégâts larvaires sur les fruits sur arbre à la récolte (essais 2019)



Partie expérimentale

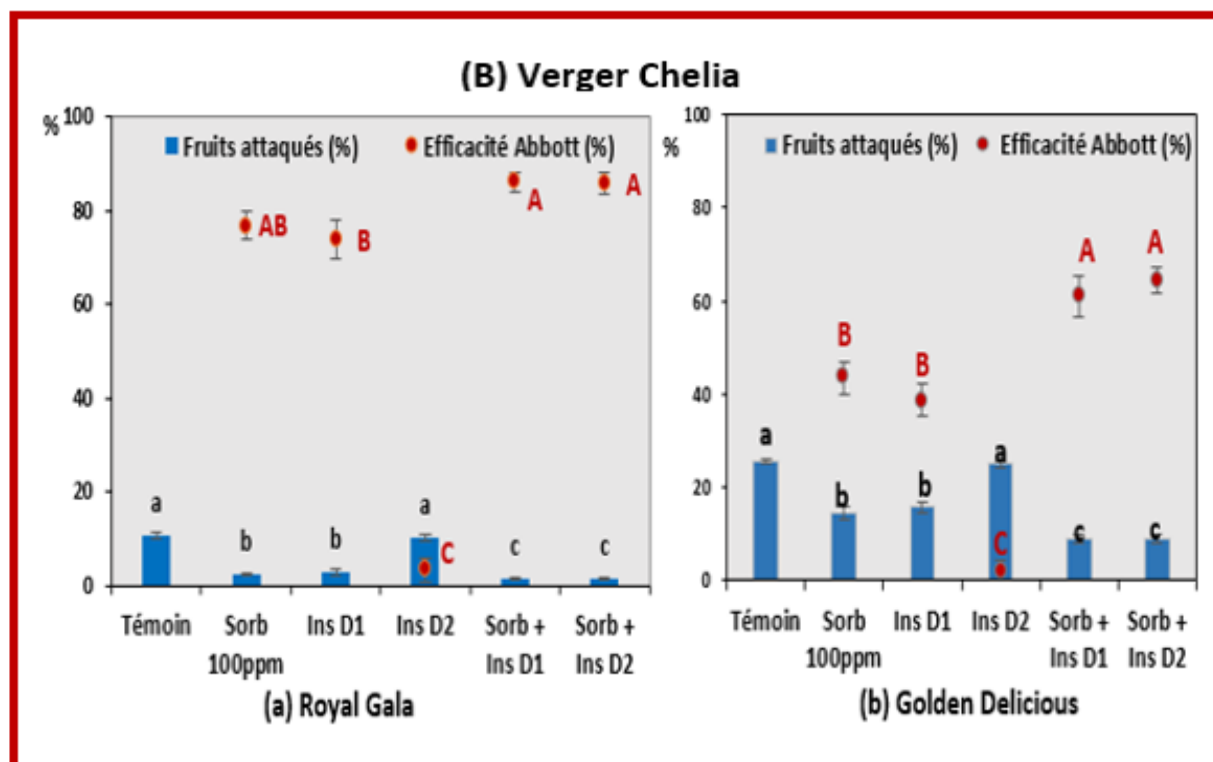


Figure 34. Pourcentage de fruits attequés sur arbres et efficacité Abbott dans des essais conduits en 2019, en vergers de pommier (A : verger de Ain Touta) et (B : verger de Chelia), sur les variétés (a) Royal Gala et (b) Golden Delicious.

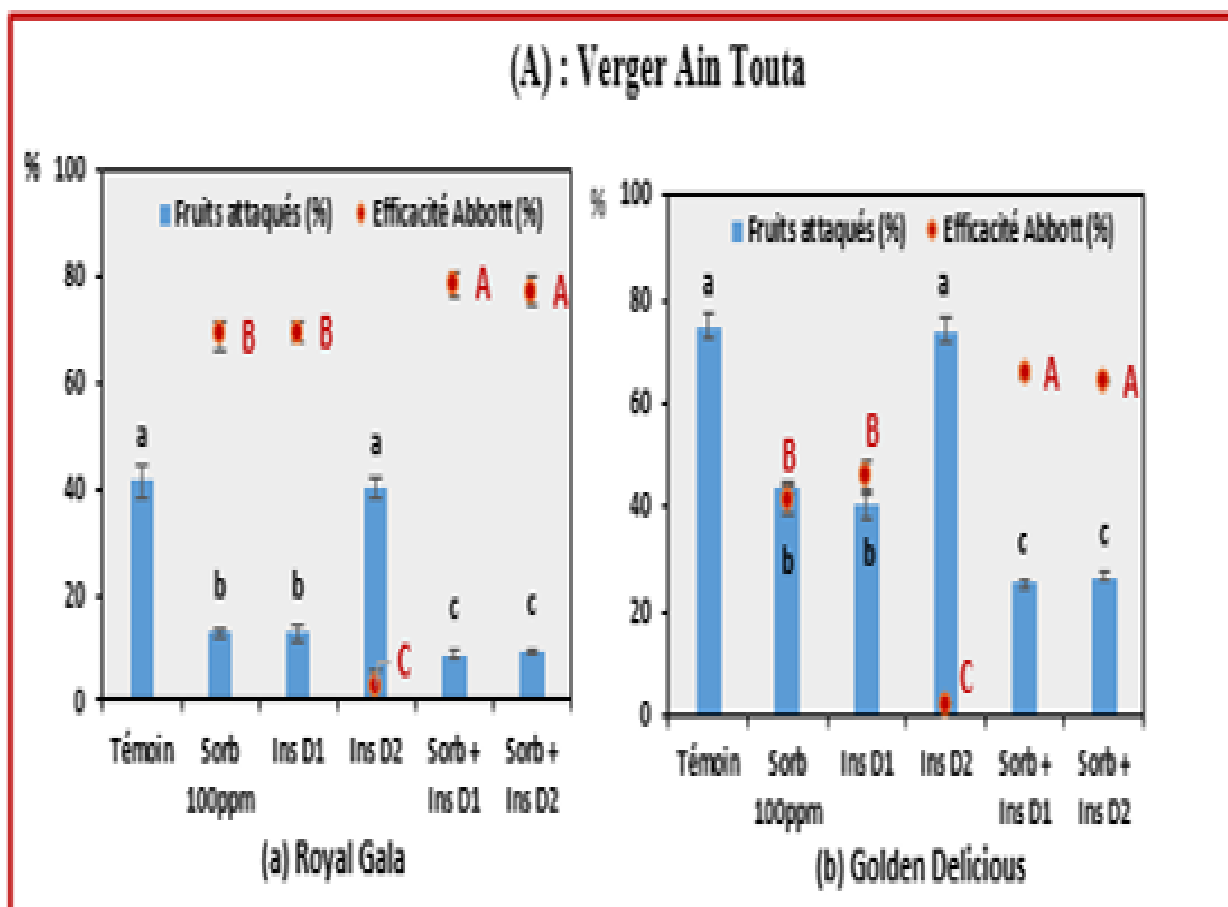
Les valeurs avec les différentes lettres sont significativement différentes [les lettres minuscules indiquent des pourcentages de pommes attequés significativement différents et les lettres majuscules indiquent des pourcentages d'efficacité Abbott significativement différents ($P \leq 0,05$; test post hoc Tukey)].

Dans le verger d'Ain Touta (**Figure 34A**), le pourcentage de fruits attequés dans les parcelles non traitées était de $36,5\% \pm 4,77$ pour Royal gala et de $53,7\% \pm 0,94$ pour Golden delicious, identique à celui enregistré dans les parcelles traitées avec la dose réduite d'insecticide D2, avec des pourcentages de $34,95\% \pm 4,31$ et $51,53\% \pm 0,98$ pour Royal Gala et Golden Delicious, respectivement. Par contre, dans les parcelles traitées avec 100 ppm de sorbitol seul, avec l'insecticide recommandé D1 seul et avec 100 ppm de sorbitol en combinaison avec l'insecticide recommandé (D1) ou réduit (D2), le taux d'attaque a été significativement réduit pour les deux variétés. En effet, les pourcentages de fruits attequés à la récolte sur ces parcelles étaient de $14,76\% \pm 1,69$, $12,55\% \pm 1,08$, $9,10\% \pm 0,74$, $9,15\% \pm 0,64$ pour Royal gala et $40,86\% \pm 1,05$, $41,52\% \pm 1,08$, $22,65\% \pm 0,86$, $23,46\% \pm 1,23$ pour Golden delicious, correspondant à des efficacités Abbott de $58,51\% \pm 3,96$, $64,29\% \pm 3,78$, $74,05\% \pm 2,87$, $73,75\% \pm 3,2$ pour Royal Gala et $23,93\% \pm 3,21$, $22,71\% \pm 2,95$, $57,85\% \pm 2,24$ et $56,3\% \pm 3,98$ pour Golden Delicious.

Partie expérimentale

Dans le verger Chelia (**Figure 34B**), le pourcentage de fruits endommagés obtenu pour les traitements "Sorb100 ppm, InsD1, Sorb+InsD1 et Sorb+InsD2" était significativement inférieur à celui du témoin pour les deux variétés (2,41% ± 0,29, 2,8 % ± 0,59, 1,42% ± 0,16, 1,47% ± 0,24 vs. 10,49%± 0,66, pour Royal gala) et (14,31% ± 1,2, 15,56% ± 1.3, 8.66% ± 0,98, 8,96% ± 0,87 vs. 25,33%± 0,43, pour Golden delicious). Les efficacités Abbott enregistrées pour ces modalités sont respectivement de l'ordre de 76,85% ± 2,96, 73,96% ± 4,19, 86,25% ± 2,08, 85,94% ± 2,29 pour Royal Gala et de 43,48% ± 3,5, 38,55% ± 3,05, 60,97% ± 4,46 et 64,57% ± 2,8 pour Golden Delicious.

B. Dégâts larvaires sur fruits tombés au sol (essais 2019)



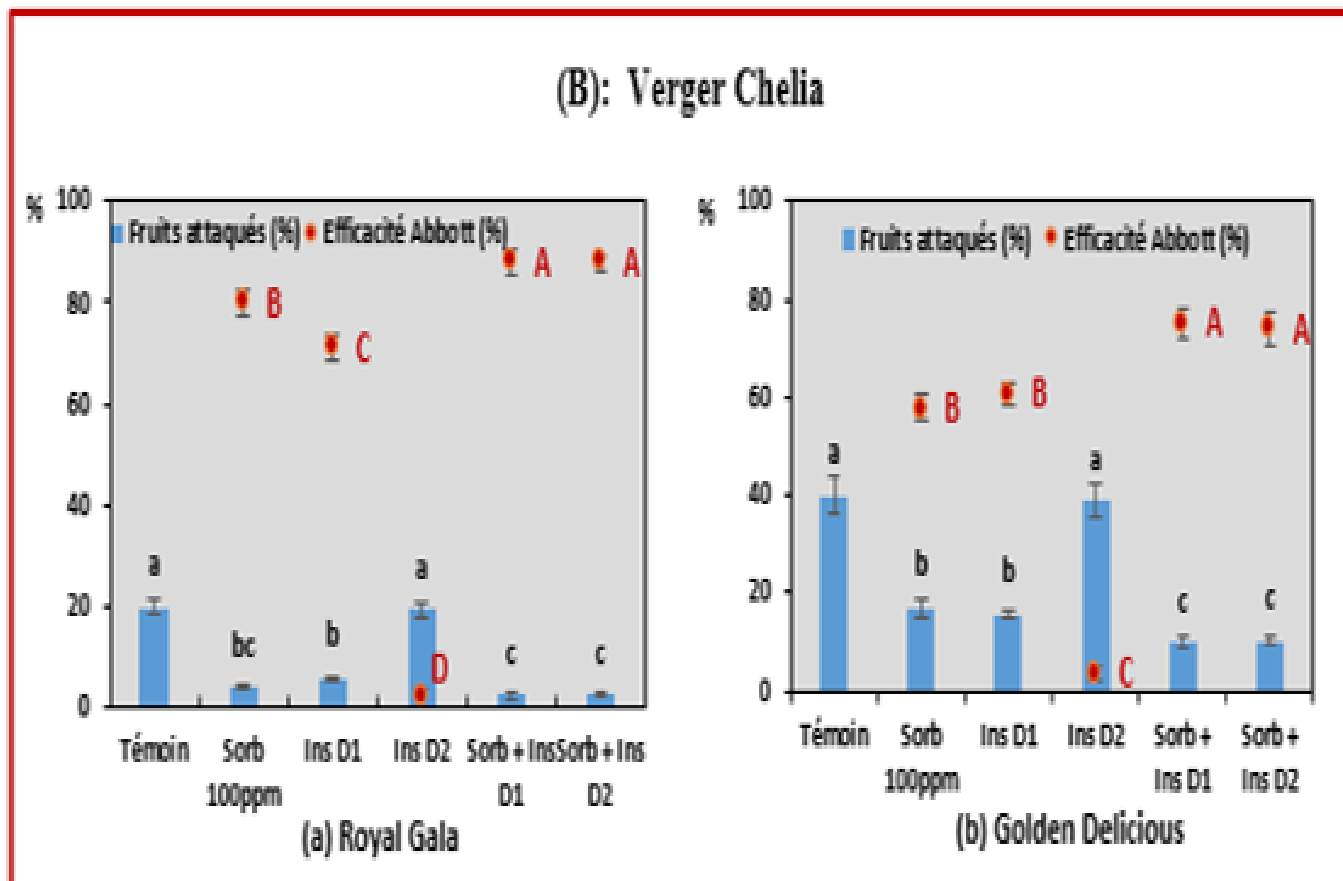


Figure 35. Pourcentage de fruits infestés et tombés au sol et efficacité Abbott dans les essais conduits en 2019, en vergers de pommier (A : verger de Ain Touta) et (B : verger de Chelia), sur les variétés (a) Royal Gala et (b) Golden Delicious.

Les valeurs avec les différentes lettres sont significativement différentes [les lettres minuscules indiquent des pourcentages de pommes attequés significativement différents et les lettres majuscules indiquent des pourcentages d'efficacité Abbott significativement différents ($P \leq 0,05$; test post hoc Tukey)].

Dans le verger d'Ain Touta (**Figure 35A**), les pourcentages moyens les plus élevés de fruits attequés et tombés au sol ont été observés dans les parcelles témoins et celles traitées avec la moitié de la dose recommandée de l'insecticide (D2), avec respectivement $41,61\% \pm 3,10$ et $40,16\% \pm 1,7$ pour Royal gala et $74,95\% \pm 2,15$ et $73,98\% \pm 2,3$ pour Golden delicious. La pulvérisation des arbres avec le sorbitol seul et l'insecticide dose recommandée seul (D1) a entraîné de faibles pourcentages de fruits attequés tombant au sol : $12,33\% \pm 1,77$ et $11,84 \pm 0,86$ pour Royal gala et $43,91 \pm 1,3$ et $40,75 \pm 3,00$ pour Golden delicious, respectivement. Les traitements avec de sorbitol à 100ppm en combinaison avec l'insecticide utilisé en D1 ou en D2 ont donné les pourcentages les plus bas : $8,83\% \pm 1,02$ et $9,32\% \pm 0,54$ pour Royal gala et $25,43\% \pm 0,65$ et $26,72\% \pm 0,88$ pour Golden delicious, respectivement.

Partie expérimentale

Une bonne efficacité d'Abbott a été enregistrée pour « Sorb 100ppm » et « Ins D1 » avec des pourcentages de 69,75% \pm 5,45 et 71,49% \pm 0,88 pour Royal gala et 41,24% \pm 2,75 et 45,81% \pm 2,86 pour Golden delicious. Les deux modalités « Sorb+Ins D1 » et « Sorb+Ins D2 » ont montré les meilleurs pourcentages d'efficacité avec 78,58% \pm 2,61 et 77,03% \pm 2,73 pour Royal gala et 66,02% \pm 0,96 et 64,35% \pm 0,73 pour Golden delicious, respectivement.

Dans le verger Chelia (**Figure 35B**), la pulvérisation de Royal gala avec du « Sorb 100ppm, Ins D1, Sorb+Ins D1 et Sorb+Ins D2 » a entraîné une réduction significative du pourcentage de fruits infestés tombant au sol par rapport au témoin non traité : 3,88% \pm 0,27, 5,54% \pm 0,11, 2,41 \pm 0,66 et 2,33 \pm 0,24 vs. 19,62% \pm 1,34 respectivement. Le sorbitol seul était plus efficace que l'insecticide à la dose recommandée D1 (79,78% \pm 2,49 vs. 71,21% \pm 2,75), et lorsque le sorbitol était combiné à l'insecticide, l'efficacité devenait plus importante. La combinaison de sorbitol 100 ppm et l'insecticide à la dose recommandée D1 a été aussi efficace que la combinaison de sorbitol et l'insecticide à la dose réduite D2, avec respectivement 88,07% \pm 2,76% et 87,93% \pm 1,35%.

Pour la Golden Delicious, les traitements avec de « Sorb 100ppm, Ins D1, Sorb+Ins D1 et Sorb+Ins D2 » ont également entraîné une réduction significative du pourcentage de fruits infestés tombés au sol par rapport au témoin non traité : 16,8% \pm 1,73, 15,53% \pm 0,66, 9,82 \pm 0,98 et 10,1 \pm 0,84 contre 40,05% \pm 3,86. L'efficacité du sorbitol à 100 ppm était similaire à celle de l'insecticide pulvérisé à la dose recommandée D1 avec 57,93 % \pm 2,57 % et 60,59 % \pm 2,05, respectivement et l'efficacité de Sorb+Ins D1 était identique à celle de Sorb+Ins D2 de l'ordre de 75,05 % \pm 2,84 et 73,93 % \pm 3,5, respectivement.

Partie expérimentale

2.1.3.2. Types de dégâts larvaires enregistrés sur les deux variétés durant l'année 2019

A. Attaques larvaires cicatrisées, stoppées et actives sur les fruits sur arbre (essais 2019)

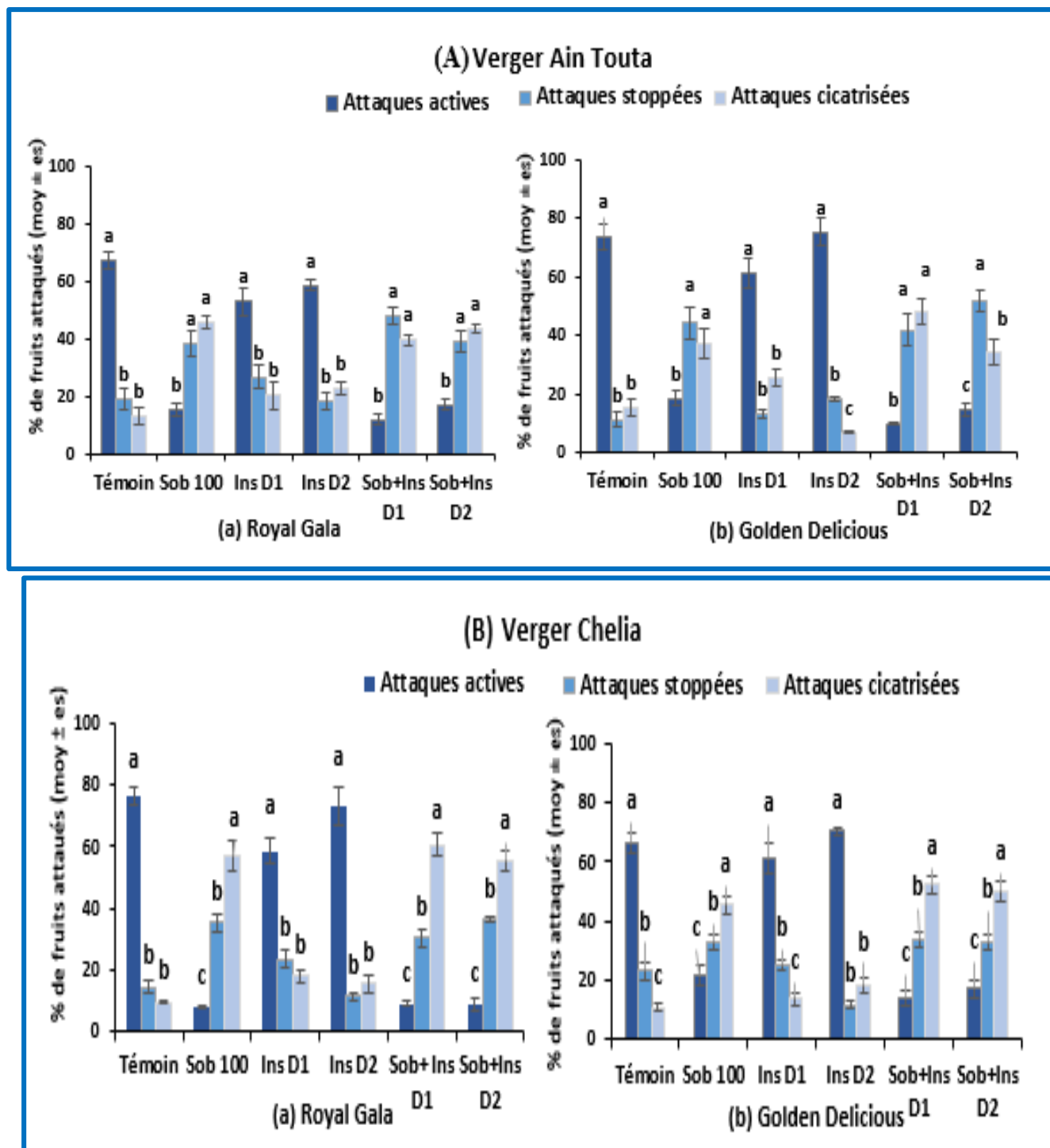


Figure 36. Attaques larvaires actives, stoppées et cicatrisées sur les fruits des variétés (a) Royal Gala et (b) Golden Delicious, sur arbre à la récolte, dans les essais conduits en 2019, en vergers de pommier (A : verger de Ain Touta) et (B : verger de Chelia).

Les valeurs avec les différentes lettres sont significativement différentes ($P \leq 0,05$; test post hoc Tukey)].

Partie expérimentale

Dans le verger d'Ain Touta (**Figure 36A**), sur la variété Royal gala, les arbres non traités et les arbres traités avec l'insecticide seul, à la dose recommandée (D1) ou à la dose réduite (D2), ont présenté des pourcentages moyens d'attaques actives de l'ordre de $67,41\% \pm 4,91$, $52,93\% \pm 2,01$ et $58,59\% \pm 4,71$ respectivement, supérieurs aux pourcentages moyens d'attaques stoppées $19,17\% \pm 3,78$, $26,69\% \pm 4,08$ et $18,55 \pm 3,03$ et d'attaques cicatrisées $13,42\% \pm 2,86$, $20,38\% \pm 4,65$ et $22,86\% \pm 1,94$ respectivement.

L'utilisation du sorbitol seul ou en combinaison avec l'insecticide à la dose recommandée (D1) ou à la dose réduite (D2) a permis de réduire significativement les attaques actives avec des pourcentages de $15,5\% \pm 2,44$, $12,17\% \pm 1,54$ et $17,24\% \pm 0,51$, respectivement. Les pourcentages moyens d'attaques stoppées ($38,71\% \pm 4,51$, $48,17\% \pm 3,15$ et $39,32\% \pm 3,81$) sont identiques à ceux des attaques cicatrisées ($45,79\% \pm 2,51$, $39,66\% \pm 1,67$ et $43,44\% \pm 1,66$)

Pour la variété Golden delicious, les arbres témoins et les arbres traités avec l'insecticide seul à la dose recommandée (D1) ou à la dose réduite (D2) ont également présenté le taux d'attaques actives le plus élevé, avec des pourcentages moyens de $73,66\% \pm 4,47$, $61,04\% \pm 5,21$ et $75,1\% \pm 2,56$ respectivement, supérieurs aux pourcentages moyens d'attaques stoppées, $11,18\% \pm 2,4$, $13,44\% \pm 1,52$ et $18,03\% \pm 0,76$, et cicatrisées $15,16\% \pm 2,84$, $25,52\% \pm 3,11$ et $6,87\% \pm 0,60$ respectivement. Sur les arbres traités au sorbitol 100 ppm seul ou en association avec l'insecticide à la dose recommandée (D1) ou à la dose réduite (D2), les pourcentages moyens d'attaques actives sont de l'ordre de $18,5\% \pm 2,56$, $9,71\% \pm 0,52$ et $14,34\% \pm 2,19$, inférieurs aux attaques stoppées $44,11\% \pm 5,73$, $41,86\% \pm 5,43$ et $51,59\% \pm 3,46$ et aux attaques cicatrisées $37,39\% \pm 4,96$, $48,44\% \pm 4,38$ et $34,07\% \pm 4,24$.

Dans le verger Chelia (**Figure 36B**), sur les arbres non traités et ceux traités uniquement avec l'insecticide à la dose recommandée (D1) ou à la dose réduite (D2), sont significativement plus élevées pour les deux variétés étudiées, le pourcentage moyen d'attaques étant de $76,37\% \pm 2,73$, $58,58\% \pm 3,83$ et $73,11\% \pm 5,94$ pour Royal gala, et de $66,11\% \pm 3,36$, $61,04\% \pm 5,21$ et $70,33 \pm 1,30$ pour Golden delicious. Le pourcentage moyen d'attaques stoppées était de $14,3\% \pm 2,18$, $23,54 \pm 3,12$ et $11,3\% \pm 1,60$ pour Royal Gala et de $23,27\% \pm 3,07$, $25,39\% \pm 1,72$ et $11,55 \pm 1,4$ pour Golden Delicious, et le pourcentage moyen d'attaques cicatrisées était de $9,33\% \pm 0,35$, $17,88\% \pm 2,26$ et $15,59\% \pm 2,81$ pour Royal Gala et de $10,62\% \pm 1,3$, $13,57\% \pm 2,26$ et $18,12 \pm 2,56$ pour Golden Delicious.

Les dégâts larvaires les plus importants observés sur les arbres traités au sorbitol à 100 ppm seul ou en combinaison avec l'insecticide à la dose (D1) ou à la dose (D2) ont été les dégâts cicatriciels pour les deux variétés, où le pourcentage était de $57,09\% \pm 4,76$, $60,52\% \pm 3,57$ et $55,17\% \pm 3,43$

Partie expérimentale

pour Royal Gala et de $45,48\% \pm 3,24$, $52,22\% \pm 3,15$ et $49,95 \pm 3,33$ pour Golden Delicious. Les pourcentages moyens d'attaques stoppées étaient de $35,27\% \pm 2,77$, $30,31\% \pm 3,15$ et $36,07\% \pm 0,78$ pour Royal Gala et de $33,13\% \pm 2,69$, $34,08\% \pm 2,58$ et $33,02\% \pm 2,7$ pour Golden Delicious. Les attaques actives ont été les plus faibles enregistrées sur ces modalités, avec un pourcentage moyen de $7,64\% \pm 0,41$, $9,17\% \pm 0,88$ et $8,76\% \pm 1,76$ pour Royal et $21,39\% \pm 3,45$, $13,7\% \pm 2,45$ et $17,03 \pm 2,71$ pour Golden Delicious.

B. Attaques larvaires cicatrisées, stoppées et actives sur les fruits tombés au sol (essais 2019)

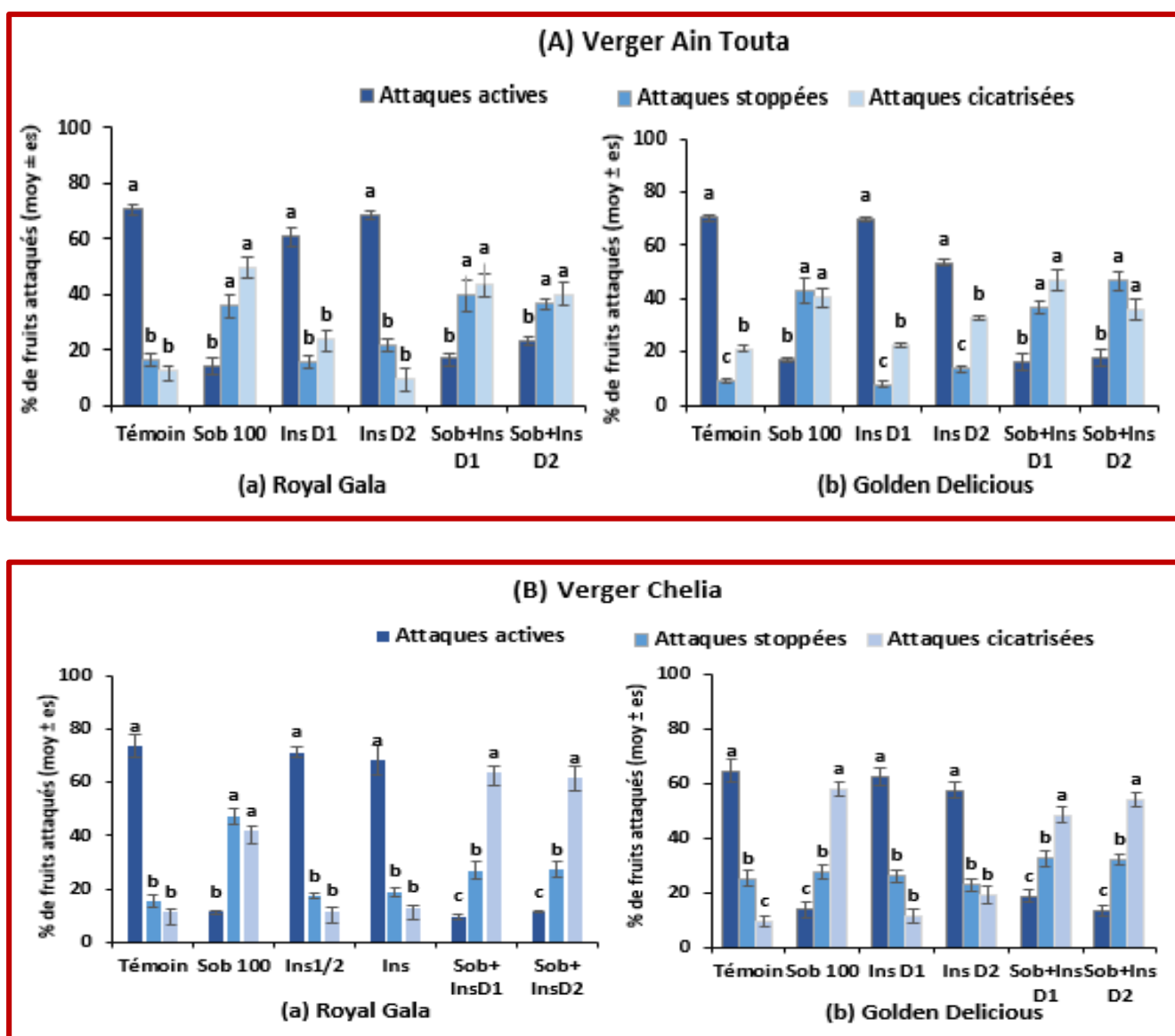


Figure 37. Attaques larvaires actives, stoppées et cicatrisées sur les fruits tombés au sol des variétés (a) Royal Gala et (b) Golden Delicious, à la récolte, dans les essais conduits en 2019, en vergers de pommier (A : verger de Ain Touta) et (B : verger de Chelia).

Les valeurs avec les différentes lettres sont significativement différentes ($P \leq 0,05$; test post hoc Tukey)].

Partie expérimentale

L'examen des fruits tombés dans le verger d'Ain Touta (**Figure 37A**), a révélé que pour la variété Royal gala, le pourcentage d'attaques actives enregistré dans les parcelles non traitées et celles traitées avec les insecticides D1 et D2 était très élevé, de l'ordre de $70,53\% \pm 1,82$, $60,68\% \pm 3,38$ et $68,59\% \pm 1,20$ respectivement, comparé aux pourcentages d'attaques stoppées $16,49\% \pm 2,29$, $15,52\% \pm 3,89$ et $21,97\% \pm 3,53$, et cicatrisées $12,98\% \pm 1,01$, $23,80\% \pm 2,96$ et $9,44\% \pm 3,83$ respectivement. De même, pour Golden delicious, avec les mêmes modalités, les fruits tombés ont présenté un pourcentage d'attaques actives de l'ordre de $70,21\% \pm 1,1$, $69,92\% \pm 1,03$ et $53,59\% \pm 0,91$ supérieur au pourcentage d'attaques stoppées ($8,72\% \pm 0,76$, $7,78\% \pm 1,39$ et $13,44\% \pm 1,52$) et d'attaques cicatrisées ($21,07\% \pm 1,01$, $22,3\% \pm 0,95$ et $32,97\% \pm 0,91$).

Les dégâts larvaires enregistrés sur les fruits tombés des arbres traités avec 100 ppm de sorbitol seul ou en association avec les insecticides D1 et D2 sont représentés par un faible pourcentage d'attaques actives de l'ordre de $14,33\% \pm 2,74$, $16,87\% \pm 2,27$ et $23,39\% \pm 1,49$ pour Royal gala et $16,67\% \pm 0,88$, $16,3\% \pm 3,03$ et $17,58\% \pm 3,07$ pour Golden delicious, respectivement. Le pourcentage d'attaques stoppées de $35,75\% \pm 3,89$, $39,56\% \pm 5,46$ et $36,56\% \pm 2,13$ pour Royal Gala et $42,97\% \pm 4,64$, $36,69\% \pm 2,43$ et $46,55\% \pm 3,35$ pour Golden Delicious, est équivalent au pourcentage d'attaques cicatrisées de $49,92\% \pm 3,61$, $43,57\% \pm 4,08$, $40,05\% \pm 4,29$ pour Royal Gala et $40,36\% \pm 3,35$, $47,01\% \pm 3,98$, $35,87\% \pm 3,84$ pour Golden Delicious, respectivement.

Au verger de Chelia (**Figure 37B**), dans les parcelles témoins et celles traitées avec les insecticides D1 et D2, les attaques actives sur les pommes tombées au sol enregistrées pour Royal gala [$73,56\% \pm 4,45$], [$71,09\% \pm 2,03$], [$68,17\% \pm 5,54$] étaient beaucoup plus élevées que les attaques stoppées [$15,26\% \pm 2,43$], [$17,25\% \pm 1,15$] et [$18,77\% \pm 1,56$] et les attaques cicatrisées [$11,18\% \pm 1,53$], [$11,67\% \pm 1,68$] et [$13,05\% \pm 0,9$]. De même, pour la Golden delicious, les attaques actives sur pommes tombées au sol [$64,71\% \pm 4,31$], [$62,38\% \pm 3,27$], [$57,56\% \pm 2,98$] étaient supérieures aux attaques stoppées [$25,41\% \pm 2,86$], [$26,18\% \pm 2,19$] et [$22,99\% \pm 2,05$] et cicatrisées [$9,88\% \pm 1,95$], [$11,44\% \pm 2,61$] et [$19,45\% \pm 3,31$].

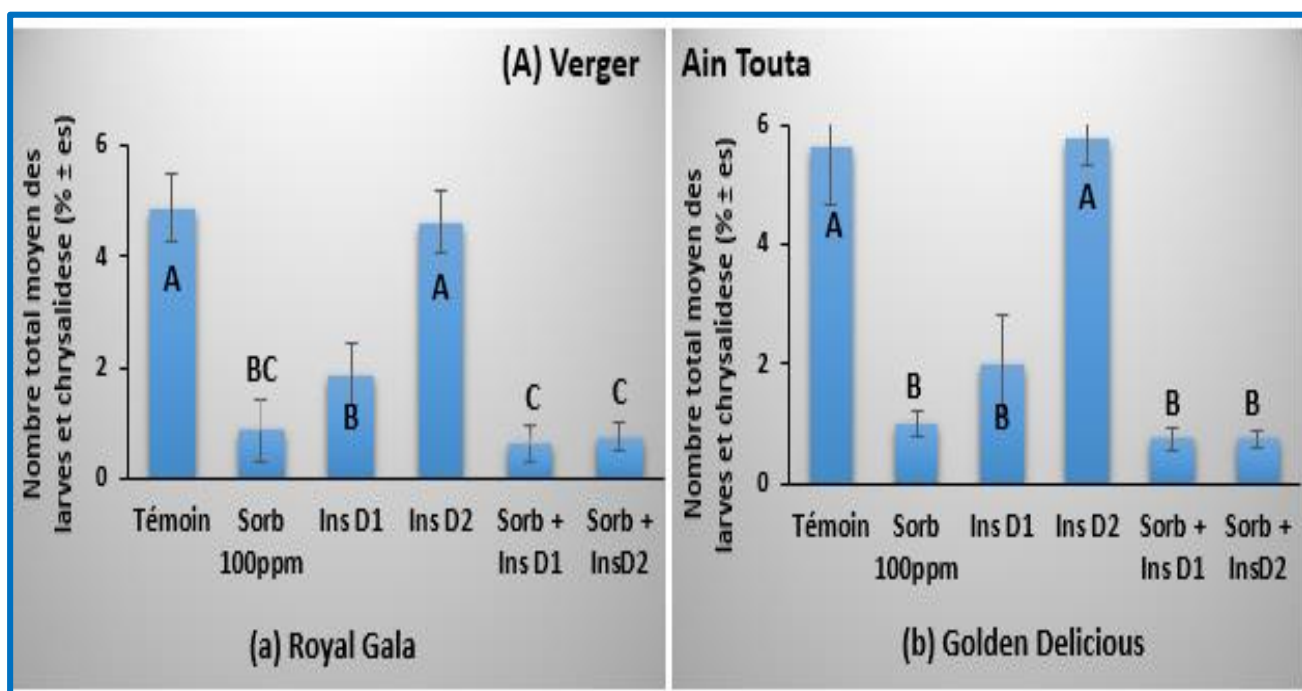
En revanche, pour les modalités "Sob 100ppm, Sob+Ins D1 et Sob+Ins D2" et pour les deux variétés, les dégâts actifs [$11,22\% \pm 0,57$], [$9,66\% \pm 0,97$] et [$11,35\% \pm 0,52$] : Royal gala] et [$14,06\% \pm 2,95$], [$18,87\% \pm 2,21$] et [$13,58\% \pm 1,89$] : Golden Delicious] sont beaucoup plus faibles que les dégâts stoppés [$47,2\% \pm 3,13$], [$26,94\% \pm 3,02$] et [$27,25\% \pm 3,17$] : Royal Gala] et [$27,82\% \pm 2,46$], [$32,61\% \pm 2,68$] et [$32,16\% \pm 1,74$] : Golden Delicious] et les dégâts cicatrisés [$41,58\% \pm 1,73$], [$63,4\% \pm 2,69$] et [$61,4\% \pm 4,4$] : Royal Gala] et [$58,12\% \pm 2,61$], [$48,52\% \pm 2,75$] et [$54,26\% \pm 2,43$] : Golden Delicious].

Partie expérimentale

2.1.3.3. Dénombrement de larves et chrysalides capturées dans les bandes pièges durant l'année 2019

A. Nombre total de chrysalides et de larves dans les essais 2019

Dans le verger d'Ain Touta (**Figure 38A**), le comptage des larves et nymphes dans les bandes pièges placées sur les arbres témoins et ceux traités avec l'insecticide à dose réduite (D2), de la variété Royal Gala a révélé le nombre total moyen le plus élevé de larves et nymphes de l'ordre de $4,88 \pm 0,63$ et $4,63 \pm 0,55$, respectivement. Le nombre total moyen de larves et nymphes était plus faible pour les arbres recevant 100 ppm de sorbitol et pour les arbres traités avec la dose recommandée d'insecticide (D1), avec respectivement $0,87 \pm 0,54$ et $1,87 \pm 0,55$. En combinant le sorbitol avec l'insecticide à la dose recommandée D1 ou à la dose réduite D2, le nombre total de larves et nymphes a été fortement réduit. Seuls $0,63 \pm 0,31$ et $0,75 \pm 0,25$ de larves et nymphes ont été dénombrés respectivement. Pour la Golden delicious, les traitements « Sorb 100 ppm, InsD1, Sorb + Ins D1 et Sorb + Ins D2 » ont présenté des nombres réduits et similaires de larves et chrysalides ($1,00 \pm 0,41$, $2,00 \pm 0,2$, $0,75 \pm 0,14$ et $0,88 \pm 0,37$, respectivement) par rapport au « Témoin » et au traitement « Ins D2 », qui ont présenté les nombres les plus élevés ($5,63 \pm 0,96$ et $5,75 \pm 0,43$, respectivement).



Partie expérimentale

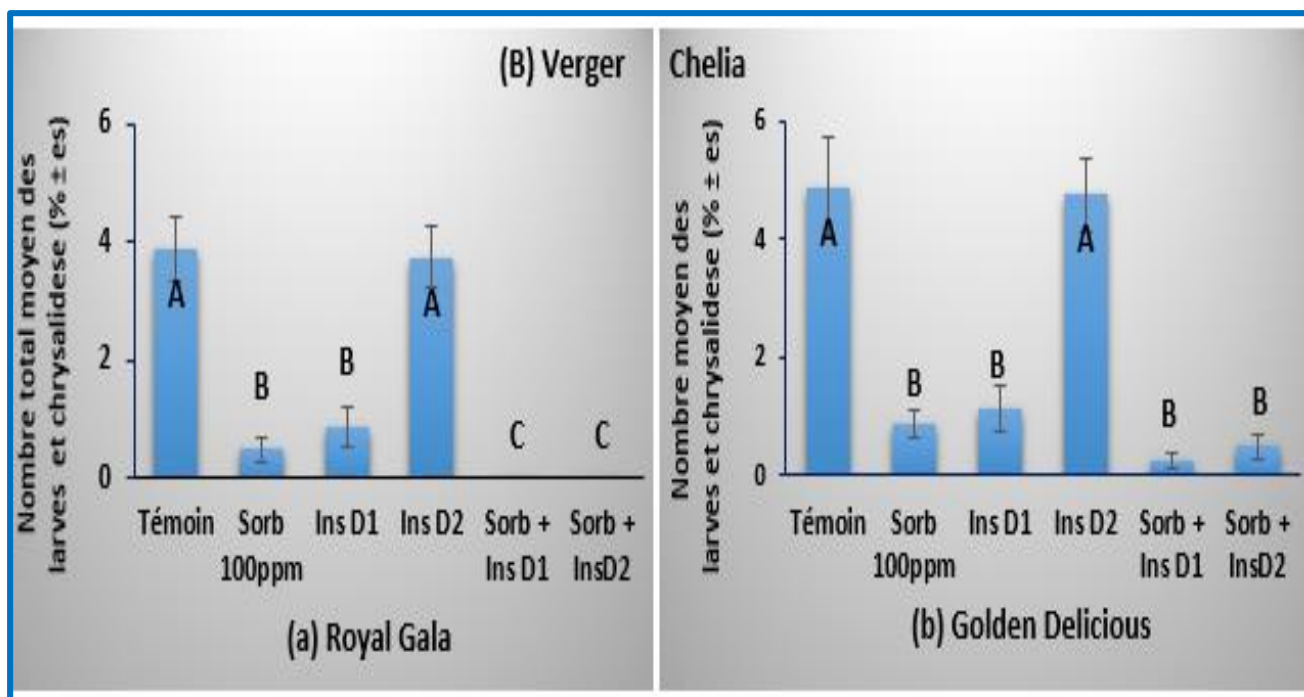


Figure 38. Nombre total moyen de larves et de nymphes dans les bandes-pièges placées dans le (A) verger d'Ain Touta et (B) le verger de Chelia en 2019 sur les variétés (a) Royal Gala et (b) Golden Delicious.

Les valeurs avec les différentes lettres sont significativement différentes ($P \leq 0,05$; test post hoc Tukey)].

Dans le verger de Chelia (**Figure 38B**), le nombre le plus élevé de larves et chrysalides a également été enregistré dans les parcelles témoins et celles traitées avec l'insecticide à dose réduite (D2) pour les deux variétés, avec respectivement $3,87 \pm 0,55$ et $3,75 \pm 0,52$ pour Royal Gala et de $4,88 \pm 0,83$ et $4,75 \pm 0,63$ pour Golden Delicious. Sur Royal gala, les arbres traités avec le sorbitol seul ont présenté un nombre total moyen de larves et nymphes de l'ordre de $0,5 \pm 0,20$ similaire à celui des arbres traités avec l'insecticide seul à la dose recommandée D1 de $0,87 \pm 0,32$. L'association du sorbitol à l'insecticide à la dose réduite (D2) ou à la dose recommandée (D2) a complètement éliminé les larves et les chrysalides. En revanche, sur Golden Delicious, les arbres traités avec l'insecticide D1 seul ou le sorbitol seul ou en combinaison ont eu le même nombre de larves et nymphes, avec une moyenne de $0,87 \pm 0,25$, $1,12 \pm 0,4$, $0,25 \pm 0,14$ et $0,5 \pm 0,2$ pour « Sorb 100 ppm, InsD1, Sorb + Ins D1 et Sorb + Ins D2 », respectivement.

B. Nombre de larves mâles, femelles et chrysalides (essais 2019)

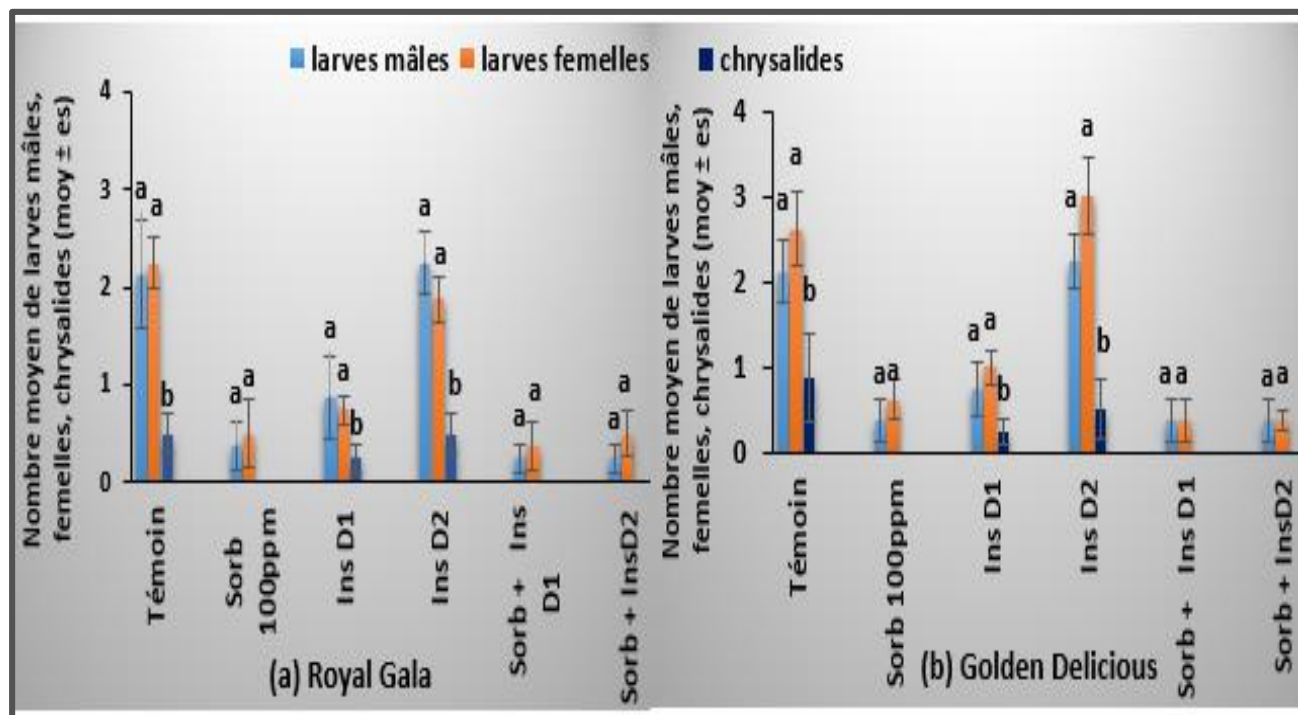


Figure 39. Nombre de larves mâles, de larves femelles et de chrysalides dans les bandes-pièges placées dans le verger d'Ain Touta en 2019 sur les variétés (a) Royal Gala et (b) Golden Delicious. Les valeurs avec les différentes lettres sont significativement différentes ($P < 0,05$; test post hoc Tukey)].

Dans le verger d'Ain Touta (**Figure 39**), sur la variété Royal Gala, le nombre de larves mâles et de larves femelles était similaire et supérieur au nombre de chrysalides pour les modalités « Témoin, Ins D1 et Ins D2 ». Les nombres moyens de larves mâles, femelles et chrysalides pour ces modalités étaient respectivement de [(2,12 ± 0,55), (2,25 ± 0,25), (0,5 ± 0,20)], [(0,87 ± 0,43), (0,75 ± 0,14), (0,25 ± 0,14)] et [(2,25 ± 0,32), (1,87 ± 0,24), (0,5 ± 0,20)]. Les arbres traités avec du sorbitol seul ou en combinaison avec un insecticide ont présenté des nombres très faibles et similaires de larves mâles et femelles, soit (0,37 ± 0,24), (0,5 ± 0,35) pour « Sorb 100ppm », (0,25 ± 0,14), (0,38 ± 0,24) pour « Sorb + Ins D1 » et (0,25 ± 0,14), (0,5 ± 0,24) pour « Sorb + Ins D2 ». Aucune chrysalide n'a été ramassée pour ces modalités. Chez la Golden Delicious (**Figure 39**), les arbres témoins et les arbres traités avec la dose réduite (D2) ou la dose recommandée (D1) ont eu un nombre moyen de larves mâles [(2,13 ± 0,37), (2,25 ± 0,32), (0,75 ± 0,32)] égal à celui des larves femelles [(2,62 ± 0,42), (3,00 ± 0,45), (1,00 ± 0,2)] et supérieur à celui des chrysalides [(0,87 ± 0,52), (0,5 ± 0,35), (0,25 ± 0,14)]. Les traitements au sorbitol seul ou en combinaison avec un insecticide (D1 ou D2) ont réduit significativement le nombre de larves mâles et femelles et ont éliminé les chrysalides. Les

Partie expérimentale

nombre moyen de larves mâles et femelles étaient de $(0,37 \pm 0,24)$, $(0,62 \pm 0,2)$ pour "Sorb 100 ppm", $(0,38 \pm 0,24)$, $(0,38 \pm 0,2)$ pour "Sorb + Ins D1" et $(0,38 \pm 0,23)$, $(0,38 \pm 0,12)$ pour "Sorb + Ins D2".

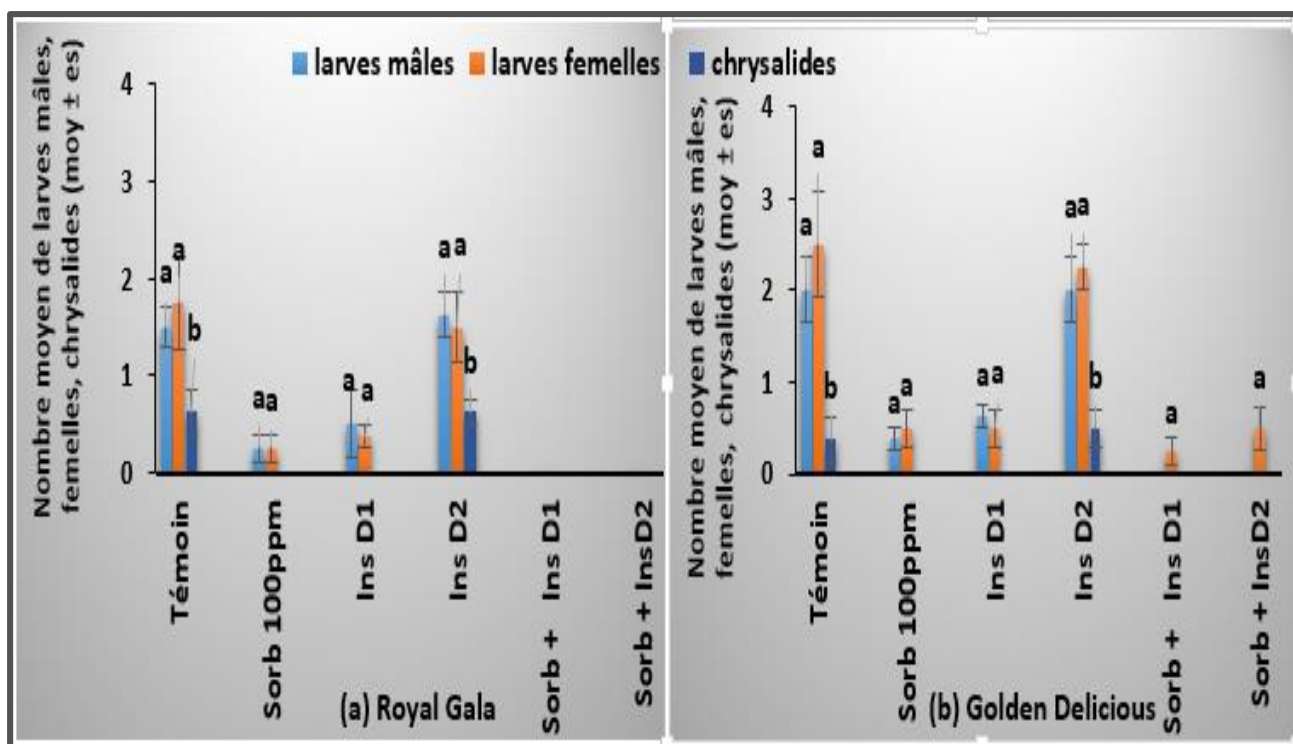


Figure 40. Nombre de larves mâles, de larves femelles et de chrysalides dans les bandes pièges placés dans le verger de Chelia en 2019, sur les variétés (a) Royal Gala et (b) Golden Delicious.

Les valeurs avec les différentes lettres sont significativement différentes ($P \leq 0,05$; test post hoc Tukey)].

Dans le verger de Chelia et sur Royal Gala (**Figure 40**), le nombre moyen de larves femelles était égal au nombre de larves mâles pour toutes les modalités, à l'exception de « Sorb + Ins D1 » et « Sorb + Ins D2 », où aucune larve mâle ou femelle n'a été enregistrée. Le nombre moyen de larves mâles pour le « Témoin, Sorb 100 ppm, Ins D1 et Ins D2 » était respectivement de $(1,5 \pm 0,2)$, $(0,25 \pm 0,14)$, $(0,5 \pm 0,35)$ et $(1,62 \pm 0,24)$. Pour les larves femelles, les nombres moyens étaient de $(1,75 \pm 0,47)$, $(0,25 \pm 0,14)$, $(0,37 \pm 0,12)$ et $(1,5 \pm 0,35)$ pour le « Témoin, Sorb 100 ppm, Ins D1 et Ins D2 », respectivement. Cependant, le nombre de chrysalides n'a été enregistré que pour le Témoin $(0,62 \pm 0,23)$ et Ins D2 $(0,63 \pm 0,12)$.

Dans le cas de la Golden Delicious (**Figure 40**), le nombre de larves mâles enregistré sur le témoin et la modalité Ins D2 [$(2,00 \pm 0,35)$, $(2,00 \pm 0,43)$, respectivement] était équivalent au nombre moyen de larves femelles [$(2,5 \pm 0,57)$, $(2,25 \pm 0,25)$, respectivement] et supérieur à celui des chrysalides [$(0,37 \pm 0,24)$, $(0,5 \pm 0,2)$, respectivement]. Aucune différence significative n'a été

Partie expérimentale

observée entre les larves mâles et femelles pour la modalité Sorb 100 ppm [(0,37 ± 0,12), (0,5 ± 0,2)] et pour la modalité Ins D1 [(0,62 ± 0,12), (0,5 ± 0,2)]. Seules des larves femelles ont été enregistrées pour les modalités « Sorb+Ins D1 et Sorb+Ins D2 », avec des nombres moyens de (0,25 ± 0,14) et (0,50 ± 0,23), respectivement.

2.1.4. Comparaison entre les deux variétés de pommes au cours des années 2017, 2018 et 2019

Les résultats concernant le taux d'infestation de deux variétés de pommes, Royal gala et Golden delicious, par *C. pomonella* dans les parcelles non traitées (témoins), dans le verger d'Ain Touta au cours des années 2017, 2018 et 2019, et dans le verger Chelia au cours de l'année 2019, sont présentés dans la **Figure 41**.

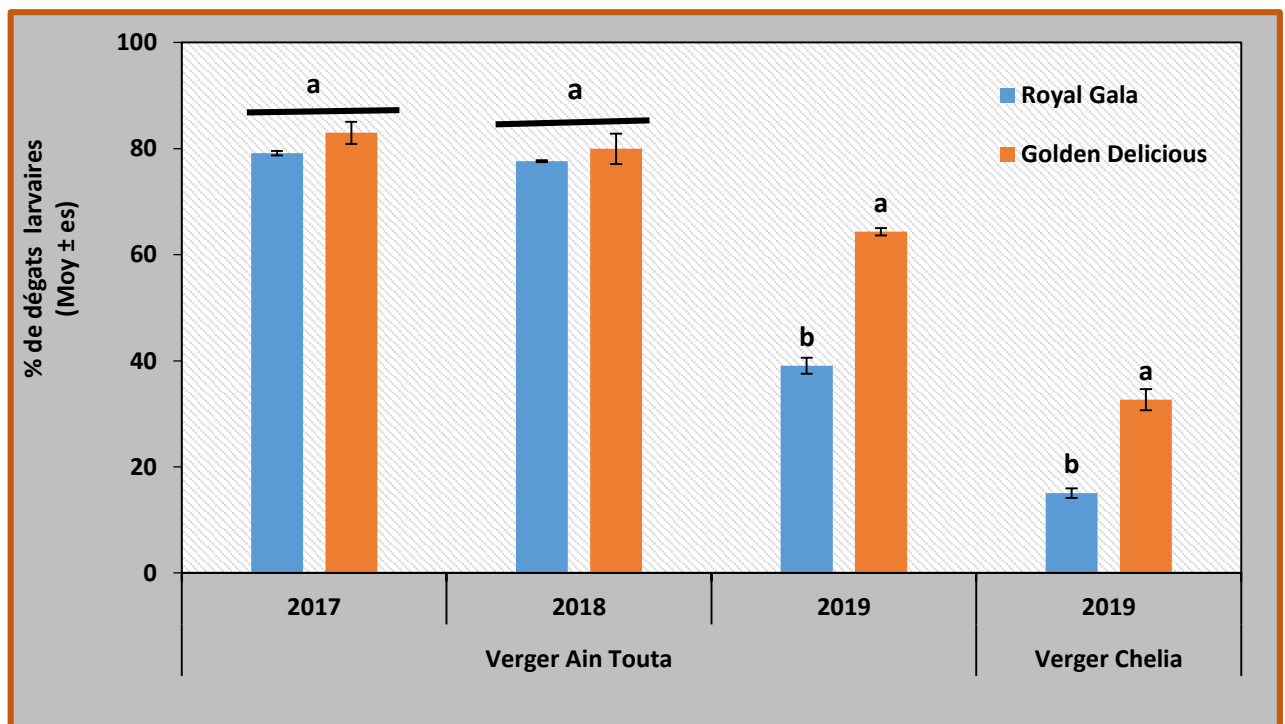


Figure 41. Pourcentage d'infestation par *C. pomonella* sur les fruits, sur arbre et tombés au sol, des variétés de pommes Golden Delicious et Royal Gala à la récolte, en 2017, 2018 et 2019 pour le verger Ain Touta, et en 2019 pour le verger de Chelia.

Les valeurs avec les différentes lettres sont significativement différentes ($P \leq 0,05$; test post hoc Tukey)].

En 2017 et 2018, les résultats ont montré que le verger d'Ain Touta présentait un niveau très élevé d'infestation par *C. pomonella*. Cela a été démontré par une infestation moyenne de 79,16% ± 0,42 et 82,97% ± 2,08 pour Royal Gala et Golden Delicious, respectivement, au cours de 2017, et une

Partie expérimentale

infestation moyenne de $77,64\% \pm 0,18$ et $79,96\% \pm 2,88$ pour Royal Gala et Golden Delicious, respectivement, au cours de **2018**.

En **2019**, l'infestation moyenne dans le verger **d'Ain Touta** a été de $64,33\% \pm 0,72$ pour Golden delicious, supérieure à celle obtenue pour Royal gala, qui a été de $39,05\% \pm 1,52$. De même, dans le verger **de Chelia**, les dégâts sur Golden Delicious ($32,67\% \pm 1,98$) sont plus importants que sur Royal Gala ($15,05\% \pm 0,88$). Pour les deux variétés, le taux d'infestation était plus élevé dans le verger d'Ain Touta que dans le verger de Chelia.

2.1.5. Effet du traitement à base de sorbitol 100 ppm sur les deux variétés de pommes en 2017, 2018 et 2019.

Les pourcentages moyens d'attaques larvaires à la récolte (sur les fruits sur arbre et tombés au sol) des arbres de Royal Gala et Golden Delicious, non traités (témoins) et des arbres traités avec du sorbitol à 100ppm dans le verger d'Ain Touta au cours des années 2017, 2018 et 2019, et dans le verger Chelia au cours de l'année 2019 sont présentés dans la **Figure 42**. Les résultats de l'efficacité du sorbitol à 100 ppm, calculés selon la formule d'Abbott, sont indiqués dans la **Figure 43**.

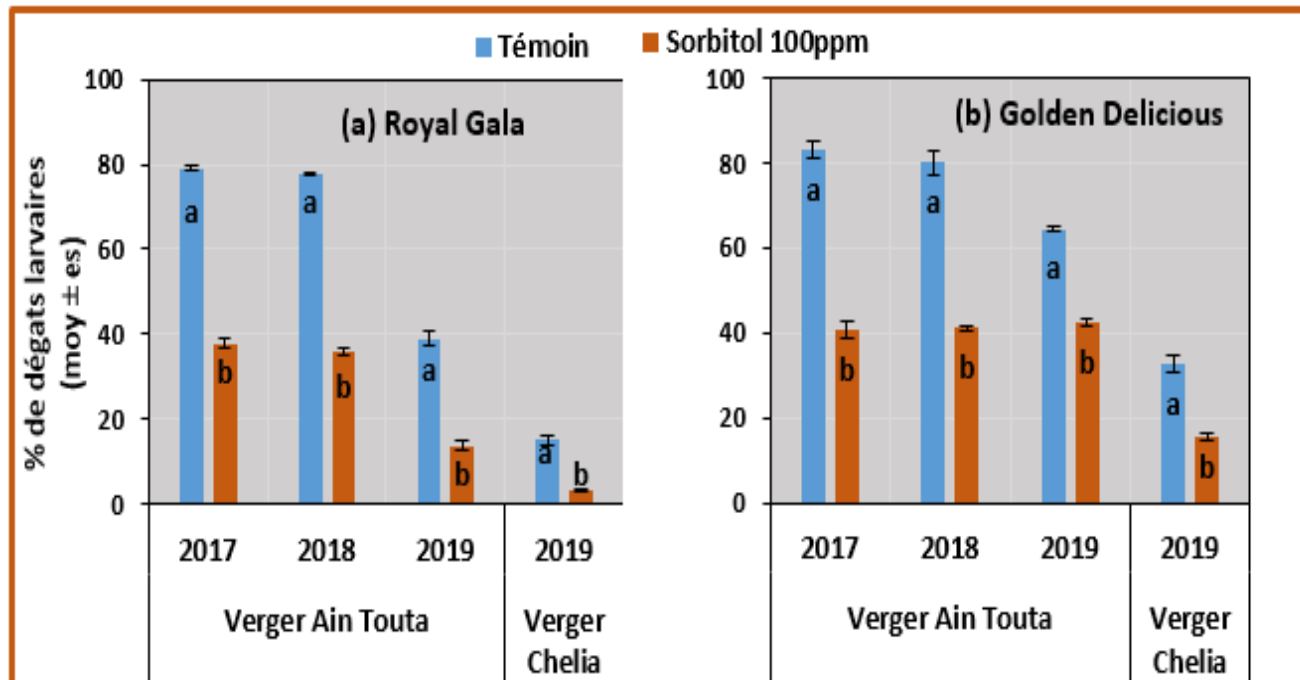


Figure 42. Pourcentage de fruits infestés (sur arbre et tombés au sol) par *C. pomonella* à la récolte, des variétés de pommes (a) Royal Gala et (b) Golden Delicious, en 2017, 2018 et 2019 pour le verger Ain Touta, et en 2019 pour le verger de Chelia.

Les valeurs avec les différentes lettres sont significativement différentes ($P \leq 0,05$; test post hoc Tukey)]

Partie expérimentale

De 2017 à 2019, après trois années d'essais (**Figure 42**), les dégâts du carpocapse à la récolte ont été significativement réduits suite à des pulvérisations foliaires de pommiers avec du sorbitol à 100 ppm, quelle que soit la pression du carpocapse et la variété, dans deux conditions climatiques contrastées.

Dans le verger d'**Ain Touta** en **2017** (**Figure 42**), où la population de carpocapses était importante, les dégâts ont baissé de $79,16 \% \pm 0,42$ à $37,8 \% \pm 1,11$ pour Royal Gala et de $82,97 \% \pm 2,08$ à $40,6 \% \pm 2,11$ pour Golden Delicious. En **2018**, avec une pression de carpocapse également élevée, les dégâts ont chuté de $77,64 \% \pm 0,18$ à $36,05 \% \pm 0,79$ pour Royal Gala et de $79,96 \% \pm 2,88$ à $41,05 \% \pm 0,76$ pour Golden Delicious. Pour l'année **2019**, sous une pression moyenne de carpocapse, les dégâts sont réduits de $39,05\% \pm 1,50$ à $13,8\% \pm 0,96$ pour Royal Gala et de $64,33\% \pm 0,72$ à $42,39\% \pm 0,91$ pour Golden Delicious.

Dans le verger à faible pression de carpocapse (**Chelia**), les dégâts sont apparus faibles en **2019**. Ils ont diminué de $15,06\% \pm 0,89$ à $3,15\% \pm 0,23$ pour Royal Gala et de $32,67\% \pm 1,98$ à $15,56\% \pm 0,94$ pour Golden Delicious.

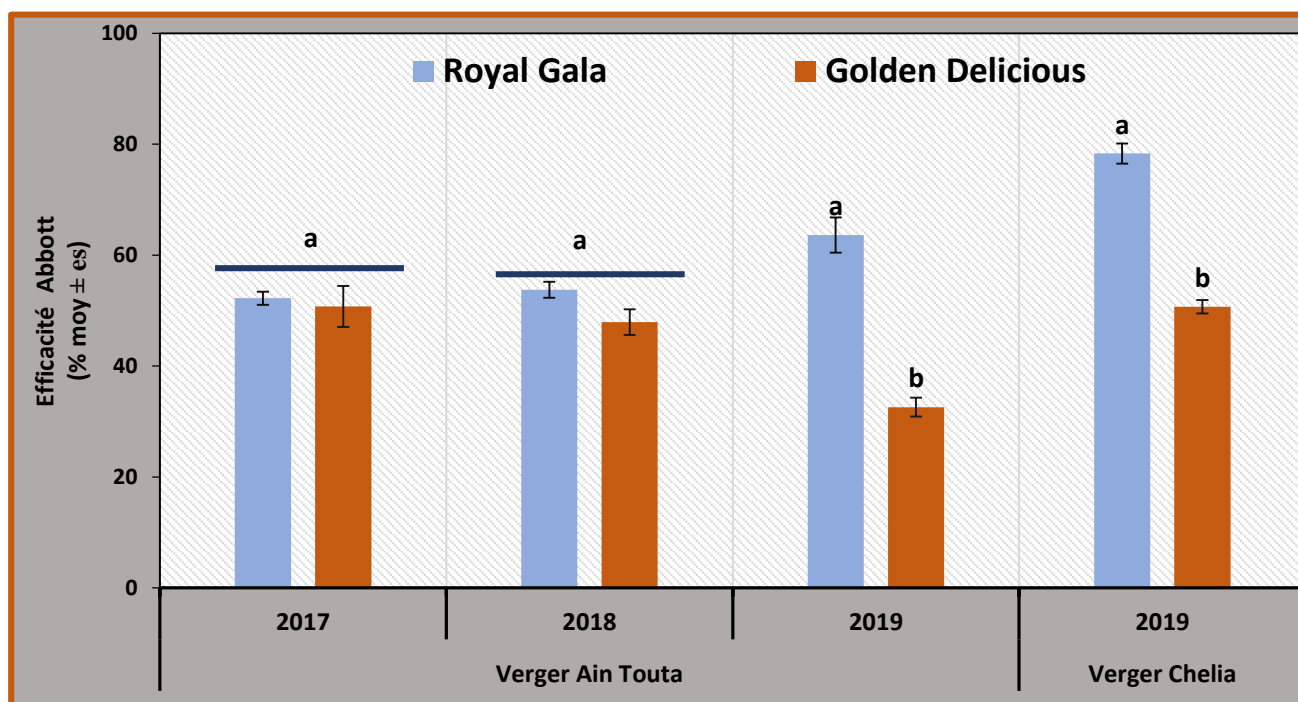


Figure 43. Efficacité des traitements au sorbitol à 100 ppm sur les arbres de Royal Gala et Golden Delicious, en 2017, 2018 et 2019 dans le verger d'Ain Touta, et en 2019 dans le verger de Chelia.

Les valeurs avec des lettres différentes sont significativement différentes ($P \leq 0,05$; Tukey post hoc test)]

Partie expérimentale

Dans des conditions de forte population en 2017 et 2018 (**Figure 43**), le sorbitol a été aussi efficace contre le carpocapse sur Royal Gala et Golden Delicious. Le pourcentage moyen d'efficacité Abbott était de $52,23 \% \pm 1,20$ et $50,76 \% \pm 3,69$ sur Royal et Golden respectivement, **en 2017**, et de $53,73 \% \pm 1,44$ et $47,93 \% \pm 2,33$ sur Royal Gala et Golden Delicious, respectivement, **en 2018**.

Cependant, **en 2019 (Figure 43)**, le sorbitol à 100 ppm a fourni une meilleure protection contre le carpocapse sur Royal Gala que sur Golden Delicious. Dans le verger **d'Ain Touta**, l'efficacité moyenne était de $63,63\% \pm 3,16$ sur Royal Gala contre $32,59\% \pm 1,71$ sur Golden Delicious. L'efficacité était bien meilleure dans le verger à faible pression de carpocapse, verger **de Chelia**, où le pourcentage moyen était de $78,32\% \pm 2,96$ sur Royal Gala par rapport à $50,71\% \pm 1,21$ sur Golden Delicious.

2.2. Discussions

2.2.1. Effet des traitements au sorbitol sur les dégâts larvaires à la récolte

Le choix d'une plante-hôte par un insecte pour l'alimentation ou l'oviposition repose sur deux étapes principales ; une orientation à distance, basée sur la détection de composés volatils émis par la plante et sur des indices visuels (**Schoonhoven et al., 1998**), et une reconnaissance au contact de la surface de la plante via des indices physiques et chimiques (**Schoonhoven et al., 2005 ; Thiéry et al., 2013 ; Calatayud et al., 2020**). Les substances qui composent l'information chimique comprennent des métabolites primaires et secondaires tels que les sucres solubles, les acides aminés libres, les acides organiques et phénoliques, les terpènes, et les alcaloïdes. Leur présence à la surface des feuilles est variable et leur quantité est généralement faible, de l'ordre de quelques mg/cm^2 (**Derridj et al., 1989 ; Fiala et al., 1993**). Le sorbitol est l'un de ces métabolites primaires et plusieurs chercheurs (**Albert, 1980 ; Berüter et al., 1997 ; Roessingh et al., 1999 ; Roessingh et al., 2000**) ont démontré son rôle dans la reconnaissance de la plante-hôte par les ravageurs des Rosacées.

Les sucres induisent une résistance systémique par antixénose contre les insectes, et selon la plante et le ravageur, l'induction de la résistance peut varier en fonction du sucre et de sa dose (**Derridj, 2009 ; Derridj et al., 2011 ; Ondet et al., 2019**). Ces auteurs ont montré que seules des solutions de saccharose à 10 ppm et de fructose à 0,1 ppm pulvérisées sur du maïs cultivé sous serre avaient un effet significatif sur la ponte d'*Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera, Pyralidae), et que le sucre capable d'induire une résistance systémique chez la tomate au nématode *Meloidogyne javanica* (Tylenchida, Heteroderidae) est le saccharose à une concentration de 1ppm. Cet effet dose a également été observé sur *Botrytis cinerea*, où l'utilisation de 100 ppm de saccharose a été très efficace sur les tomates contre *Botrytis*, avec une réduction de 100 % des symptômes, mais beaucoup moins sur les haricots, avec une réduction des symptômes de 23 % seulement. Quant au carpocapse

Partie expérimentale

C. pomonella, **Arnault et al. (2015)** ont démontré que la pulvérisation de saccharose ou de fructose à une concentration de 100 ppm a permis de réduire de 55% les dégâts causés par ce ravageur dans les vergers de pommiers. Des études menées par l'INRA de Versailles sur des pommiers ont également montré que le saccharose et le fructose à une concentration de 100 ppm sont approuvés pour lutter contre le carpocapse (**Ondet, 2018 ; Ondet et al., 2019 ; Lambion et Arnault, 2019 ; Arnault et al., 2021**).

Pour le sucre-alcool "Sorbitol", quatre concentrations "0,1, 1, 10 et 100 ppm" ont été testées dans les essais menés **en 2017** afin de déterminer la concentration la plus efficace pour la protection contre le carpocapse sur les arbres de la variété Golden Delicious et de la variété Royal Gala. Les résultats ont montré que la pulvérisation de la concentration de 100ppm de sorbitol réduisait significativement le taux d'attaque par rapport au témoin et aux autres concentrations sur Royal Gala. En revanche, sur Golden Delicious, les concentrations de 10 et 100 ppm de sorbitol ont montré une efficacité similaire et supérieure aux autres concentrations dans les essais réalisés en 2017. L'année suivante (2018), les deux essais répliqués sur Golden ont montré que le sorbitol à 100 ppm était significativement plus efficace que le sorbitol à 10 ppm. On peut donc constater que la dose de sucre-alcool « sorbitol » la plus performante contre l'attaque de *C. pomonella* est la dose de 100 ppm pour les deux variétés testées. L'étude **d'Ondet (2018)** dans le nord des Bouches-la-Rhône, en France, a montré qu'une dose de 100 ppm de fructose ou de saccharose offrait une meilleure protection contre le carpocapse sur les variétés Gala, Golden et Akane, que ces sucres appliqués à une dose de 50 ppm. Des résultats différents ont été obtenus par **Brahim et Lombarkia (2018)** qui ont travaillé sur la variété Starkrimson dans la région de Lambiridi. Ils ont trouvé une efficacité similaire contre l'attaque du carpocapse à des doses de 50 et 100 ppm de saccharose ou de fructose.

Les résultats des essais menés **en 2018** ont montré que des pulvérisations foliaires de sucres solubles (saccharose, fructose et glucose) ou de sucre-alcool (sorbitol) à 100 ppm chacun ont permis de réduire significativement les dégâts causés par *C. pomonella* par rapport aux témoins, dans des situations de très forte infestation à la fois sur Golden Delicious et Royal Gala. **Lambion et Mazollier (2016)** ont expliqué que l'application de très faibles doses de sucres, notamment de saccharose et de fructose, à la surface des plantes pouvait limiter les attaques des ravageurs par deux mécanismes : en modifiant la composition chimique de la surface des feuilles, les sucres perturberaient le comportement de ponte des femelles, qui ne reconnaîtraient plus la plante comme propice au développement de leurs larves. Et par un effet systémique ; les sucres sont en effet impliqués dans

Partie expérimentale

une cascade de réponses de défense des plantes et peuvent donc avoir un effet général de stimulation des défenses naturelles.

En effet, le fructose, le saccharose et le glucose sont efficaces pour contrôler les attaques du carpocapse, mais si l'on compare leur efficacité à celle du sorbitol testé à la même concentration (100 ppm), le sorbitol s'avère plus efficace que le glucose, le saccharose et le fructose sur Royal Gala, alors que sur Golden Delicious le sorbitol est aussi efficace que le fructose et plus efficace que le saccharose et le glucose. Chez le pommier (*Malus domestica* Borkh.) et de nombreuses autres espèces fruitières de la famille des Rosacées, le sorbitol est un produit final majeur de la photosynthèse et la principale forme de carbone transloqué (Nosarzewski *et al.*, 2012 ; Meng *et al.*, 2018). Les fonctions physiologiques attribuées au sorbitol sont nombreuses et similaires à celles du saccharose. Outre le stockage et le transport du carbone, le sorbitol est une source de pouvoir réducteur et contribue à la régulation osmotique, à la cryoprotection et à la protection des enzymes (Escobar-Gutiérrez et Gaudillere, 1996). De plus, le sorbitol semble agir comme une molécule de signalisation modulant le métabolisme des glucides importés dans les extrémités des pousses de pommier (Cheng *et al.*, 2005 ; Zhou *et al.*, 2006) et est également impliqué dans les réponses des plantes aux stress abiotiques et biotiques (Briens et Larher 1983 ; Meng *et al.*, 2018 ; Tarkowski *et al.*, 2019 et Saijo et Loo, 2020).

Les travaux de Ting Wu *et al.* (2015) ont montré que le sorbitol joue un rôle dans la tolérance aux stress biotiques et abiotiques en modulant directement ou indirectement l'expression des gènes de réponse au stress. Selon ces auteurs, il s'agit notamment des gènes impliqués dans la synthèse/dégradation de l'acide abscissique (ABA), de l'acide salicylique (SA) et de l'acide jasmonique (JA), de l'éthylène, des gènes de résistance aux répétitions riches en leucine (NBS-LRR) et des gènes de transporteurs de cassettes de liaison à l'ATP (ABC). Ces phytohormones sont impliquées dans la transmission de messages en cas de stress biotique ou abiotique, et leur faible poids moléculaire leur permet de se déplacer très facilement au sein de la plante pour signaler la présence d'une infection phytopathogène ou la présence d'un insecte (Lee et Luan, 2012). De même, Formela-Luboińska *et al.* (2020) ont mis en évidence le rôle des sucres en tant que composés de signalisation pour la régulation des phytohormones telles que l'acide abscissique, l'éthylène, l'acide salicylique et le jasmonate. La libération de ces hormones de stress déclenche la production de phytoalexines dans la plante pour la protéger des ravageurs (Erb *et al.*, 2012 ; Mauch-Mani *et al.*, 2017 ; Tibebu, 2018).

Partie expérimentale

Par ailleurs, des applications foliaires de sucres peuvent modifier les stimuli biochimiques du phylloplan impliqués dans l'oviposition et ainsi induire une résistance à la ponte du carpocapse sur les pommiers (**Derridj et al., 2012**). En effet, lorsque le carpocapse entre en contact avec la surface de la plante-hôte et teste cette surface par des contacts répétés avec ses pattes, ses antennes et son ovipositeur, l'insecte tente de percevoir des signaux physiques et chimiques indiquant l'acceptabilité du site où la femelle pond un seul œuf, d'autres signaux peuvent stimuler la femelle à continuer à pondre plus d'œufs (**Curtis et al., 1990 ; Stammitti, 1995 ; Amat et al., 2024**). En revanche, si la plante ou le site est rejeté, la femelle revient à un stade comportemental antérieur. Une telle régression peut également se produire au milieu de la séquence comportementale lorsque les informations et les conditions ne sont plus suffisantes pour stimuler une progression normale (**Stammitti, 1995 ; Maher et al., 2006**). Sur le site de ponte, la femelle pond plus ou moins d'œufs en fonction des stimuli biochimiques rencontrés (**Derridj et al., 1999 ; Derridj et al., 2011 ; Amat et al., 2024**).

Selon **Lombarkia et Derridj (2002, 2008)**, la ponte du carpocapse est liée à la concentration des métabolites nécessaires à la ponte, et la préférence et l'intensité de la ponte dans les pommiers sont liées à un mélange de trois hydrates de carbone solubles (saccharose, D-fructose et glucose) et de trois sucres alcools (sorbitol, quebraquitol, *myo*-inositol) présents à la surface du pommier. Ces auteurs ont montré que le rapport entre les composés de ce mélange est le facteur déterminant de la ponte du carpocapse. Ainsi, l'application exogène de micro-doses de sucres provoque un déséquilibre dans les sucres et dans les sucres-alcools présents à la surface des feuilles, induisant des signaux à la surface des feuilles qui indiquent aux femelles que la plante peut ne pas convenir à leur progéniture (**Derridj et Borges, 2006 ; Arnault et al., 2016**). Cela réduit le nombre d'œufs pondus et donc les dégâts causés par le carpocapse.

La ponte de *C. pomonella*, est stimulée par ces six métabolites (saccharose, D-fructose, glucose, sorbitol, quebraquitol et *myo*-inositol), le fructose et le sorbitol étant les plus influents (**Lombarkia et Derridj, 2008**). Cela confirme nos résultats montrant que le sorbitol protège mieux contre le carpocapse que le glucose et le saccharose, et qu'il est équivalent ou meilleur que le fructose.

Une autre hypothèse qui pourrait expliquer les effets protecteurs équivalents du fructose et du sorbitol, proposée par **Escobar-Gutiérrez et al. (1994)**, est que le fructose exogène peut être converti en sorbitol dans les feuilles de pommier. **Escobar-Gutiérrez et Gaudillère (1996)** ont montré que lorsque du glucose, du fructose ou du saccharose sont fournis à des tissus foliaires contenant des alditols, ces trois sucres peuvent être rapidement et largement convertis en polyols correspondants. C'est le cas du mannitol chez les Oléacées et du sorbitol chez les Rosacées. Le sorbitol peut être synthétisé par les feuilles à partir des produits de la photosynthèse (**Moing et al., 1992 ; Escobar-Gutiérrez, 1995**), mais aussi par la conversion d'hexoses exogènes, par exemple à

Partie expérimentale

partir du glucose chez le prunier, du fructose chez le pommier et du saccharose chez le pêcher (Escobar-Gutiérrez, 1995 ; Escobar-Gutiérrez et Gaudillere, 1996).

De nombreuses études ont montré que parmi les trois sucres les plus testés (glucose, fructose et saccharose) sur le carpocapse, le fructose est meilleur que le saccharose et le glucose. **Abdesselam (2016)**, en travaillant sur la Golden Delicious dans la région d'Inoughissen, a constaté que l'efficacité du fructose à 100 ppm ($69,06\% \pm 4,01$) était supérieure à celle du glucose à 10 ppm ($8,28\% \pm 3,88$). L'étude de **Meradi (2015)**, menée dans la région de Lambiridi sur Starkrimson, a rapporté que le fructose à 100 ppm ($31,71\% \pm 3,42$) était plus efficace que le saccharose à 100 ppm ($11,93\% \pm 5,97$). De même, **Arnault et al. (2015)** ont trouvé que le fructose à 100 ppm pulvérisé sur des arbres de pommier de la variété Gala avait une efficacité de 76% contre seulement 10% pour le saccharose. D'autre part, **Ondet, (2018)** a constaté que le fructose a fourni une protection meilleure ou équivalente à celle du saccharose sur les cultivars Gala et Golden. Des résultats différents ont été obtenus par **Tiffrent (2023)** qui a trouvé que l'efficacité de 100 ppm de fructose était équivalente à celle de 100 ppm de glucose sur les variétés Royal Gala et Golden Delicious dans son travail réalisé dans la région de Beni Foudhala en 2019.

Dans les essais entrepris **en 2019**, dans deux régions géographiquement distinctes (Ain Touta et Chelia), le traitement avec 100 ppm de sorbitol a permis d'obtenir de faibles pourcentages de fruits attaqués par *C. Pomonella*. Sur Golden Delicious, le traitement avec 100 ppm de sorbitol seul a produit des effets comparables à ceux enregistrés pour le traitement avec l'insecticide seul à la dose recommandée (D1), tandis que sur Royal gala, le sorbitol seul a été plus efficace que l'insecticide seul à la dose recommandée (D1), dans les deux vergers d'étude.

Les résultats ont également montré que le sorbitol à une dose de 100 ppm améliore l'efficacité de l'insecticide chimique « Deltaméthrin », aussi bien à la dose recommandée D1 qu'à la dose réduite D2 (demi-dose recommandée), dans les deux régions (Ain Touta et Chelia) et pour les deux variétés étudiées (Royal et Golden). Les pommiers traités avec de sorbitol à 100 ppm en combinaison avec l'insecticide (Deltamethrin) ont présenté les pourcentages les plus bas de fruits endommagés et les meilleures efficacités. Dans une région où la pression du carpocapse est moyenne (verger d'Ain Touta), l'efficacité des traitements sur les fruits sur l'arbre était très élevée, atteignant 74% pour Royal et 58% pour Golden, tandis que l'efficacité sur les fruits tombés au sol arrivait à 78% pour Royal et 66% pour Golden. Dans une région à faible pression de carpocapse (verger Chelia), l'efficacité a été surprenante, atteignant 86% sur les fruits sur l'arbre et 88% sur les fruits tombés au sol pour Royal Gala. L'efficacité était également très élevée sur Golden Delicious, atteignant 64% sur les fruits sur l'arbre et 75% sur les fruits tombés au sol. Les résultats **d'Arnault et al., (2015)** confirment nos

Partie expérimentale

résultats, en montrant que la pulvérisation de 100 ppm de fructose en combinaison avec des traitements chimiques conventionnels, un Organophosphate (OP) et un régulateur de croissance des insectes (RCI), sur la variété Granny Smith a permis de réduire le nombre de fruits piqués par rapport aux traitements OP et RCI seuls. Selon les mêmes auteurs, l'efficacité a été améliorée de 35% lorsque 100 ppm de fructose ont été ajoutés à un programme phytosanitaire.

Dans le même ordre d'idées, **Arnault et al. (2016)** ont montré que la combinaison du saccharose à 100 ppm avec le traitement chimique Thiaclopride sur des arbres Golden Delicious a permis de réduire les dégâts sur les fruits par rapport au Thiaclopride seul et au saccharose seul. L'association de saccharose à 100 ppm et de Thiaclopride a amélioré l'efficacité ($59,5\% \pm 12,8$) de 18,4%. L'effet de cette combinaison n'était pas additif mais plutôt potentialisateur, car le saccharose augmentait l'efficacité du traitement chimique. L'hypothèse émise par ces auteurs est que l'insecticide ou sa formulation déclenche des voies de signalisation qui sont en partie les mêmes que celles qui sont déclenchées par le saccharose seul. Les formulations commerciales de nombreux produits phytosanitaires sont introduites pour améliorer l'adhésion à la surface et la pénétration à travers la cuticule. Cela pourrait éventuellement entraîner un risque de modification de la perméabilité de la cuticule et donc de la composition du mélange et de ses effets sur le comportement des ravageurs.

Des études menées par **Ballard et al., (2000)** ; **Ferré et al., (2008)** ; **Lombarkia et al., (2005)** ; **Derridj et al., (2011)** ; **Arnault et al. (2015, 2016, 2021)** ont mis en évidence, sur un large échantillon de cultures, que l'ajout de sucres permet de réduire la dose d'insecticide jusqu'à 50 % tout en conservant le même niveau d'efficacité contre les bioagresseurs. Ceci a été confirmé par les résultats de nos essais 2019, dans lesquels le traitement combinant 100 ppm de sorbitol avec l'insecticide à demi-dose (D2) a été aussi efficace que le traitement combinant 100 ppm de sorbitol avec l'insecticide à dose complète (D1).

2.2.2. Effet des traitements au sorbitol sur le type de dégâts larvaires

Les dégâts larvaires enregistrés dans le verger d'Ain Touta **en 2017** sur les fruits (sur l'arbre ou tombés au sol) des deux variétés (Royal Gala et Golden Delicious), dans les parcelles témoins et celles traitées au sorbitol à des concentrations de 0,1, 1 et 10 ppm, ont présenté un pourcentage très élevé d'attaques actives par rapport aux attaques stoppées et cicatrisées. En revanche, le traitement au sorbitol à la dose de 100 ppm a permis de réduire significativement les attaques actives et les dégâts larvaires les plus importants enregistrés sur ces arbres étaient de type cicatrisé ou stoppé.

En 2018, dans le même verger " Ain Touta ", les résultats obtenus sur les variétés Royal Gala et Golden Delicious ont également montré que les arbres témoins non traités présentaient un

Partie expérimentale

pourcentage d'attaques actives plus élevé que les attaques stoppées et cicatrisées. Par contre, les arbres pulvérisés avec les sucres " fructose, saccharose et sorbitol ", chacun à une dose de 100 ppm, présentaient un pourcentage de dégâts actifs très faible par rapport aux dégâts stoppés et cicatrisés, sauf pour le " glucose à 100 ppm " qui présentait des pourcentages identiques pour les trois types de dégâts larvaires.

Au cours de l'année **2019**, dans les deux vergers (Ain Touta, Chelia) et pour les deux variétés (Royal Gala et Golden Delicious), les arbres non traités et les arbres traités avec l'insecticide seul, soit à la dose recommandée (D1), soit à la dose réduite (D2), ont eu un taux plus élevé d'attaques actives que d'attaques stoppées et cicatrisées. L'utilisation de 100 ppm de sorbitol seul ou associé à un insecticide à la dose recommandée (D1) ou à la dose réduite (D2) a permis de réduire significativement les attaques actives et les dégâts ont été stoppés ou cicatrisés.

Les résultats de l'étude de **Brahim (2010)** sur la même variété Golden Delicious dans la région de Lambiridi ont également montré que les attaques actives étaient plus importantes que les attaques stoppées et cicatrisées dans les parcelles témoins non traitées. De même, dans une étude réalisée dans la région de Lambiridi sur la variété Starkrimson, **Meradi (2015)** a montré que les arbres non traités présentaient un pourcentage très élevé de dégâts actifs par rapport aux dégâts stoppés et cicatrisés, et que le traitement avec 100 ppm de fructose seul ou en combinaison avec le Madex® provoquait des attaques cicatrisées et stoppées plus importantes que les attaques actives.

A partir de nos résultats, collectés sur une période de trois années consécutives, **de 2017 à 2019**, nous pouvons confirmer que, quelles que soient la région, la variété et l'année d'étude, l'utilisation de sucres solubles « saccharose ou fructose » à 100 ppm chacun ou de sucre-alcool « sorbitol » à 100 ppm, seul ou en combinaison avec un insecticide, permet de réduire significativement la pénétration en profondeur des larves de carpocapse « dégâts actifs ». Les dégâts sur les pommes se présentent sous forme de morsures et de traces superficielles « dégâts cicatrisés ou stoppés », ce qui signifie que les larves n'ont pas trouvé de pommes propices à leur développement, où elles sont mortes aux premiers stades larvaires dans l'épiderme du fruit.

Hern et Dorn (2004), Davis et al. (2013), Wearing (2016) et Akroute et al. (2023a) ont expliqué que la sélection de plantes-hôtes appropriées par les femelles du carpocapse pour la ponte de leurs œufs et le développement de leurs larves est basée sur les caractéristiques physiques, biochimiques et phytochimiques des fruits, ainsi que sur des indices olfactifs. Cependant, cette sélection n'est pas seulement faite par les femelles, mais les larves participent également au processus de sélection et décident des fruits qu'elles vont infester (**Casado, 2007, Meni Mahzoum et al., 2018**). Le choix des larves est principalement basé sur la présence ou l'absence du terpène α -farnésène (**Yan**

Partie expérimentale

et al., 2003, Akroute *et al.*, 2023a), qui est un stimulant important impliqué dans la sélection de l'hôte par les femelles adultes du carpocapse et les larves néonates (Bradley et Suckling, 1995, Vallat et Dorn, 2005, Wearing, 2020). En particulier, les deux isomères du farnésène, E,E et Z,E, qui ont la propriété de stimuler la ponte et le comportement des larves de carpocapse (Landolt *et al.*, 2000), de faibles doses étant attractives et de fortes doses étant répulsives (Hern et Dorn 1999, Vogler *et al.*, 2010). L'alpha-farnésène est présent dans la peau et la cire des pommes (Landolt *et al.*, 2000). Ce sont ensuite les substances non volatiles présentes dans la couche de cire qui font la décision finale (Städler, 2002). Ces substances peuvent être des cations (Na⁺, K⁺, Ca⁺), des acides organiques, des acides aminés, des esters, des alcanes et des métabolites primaires. Ces derniers stimulent l'alimentation des adultes et des larves du carpocapse (Vrieling et Derridj, 2003 ; Cabanat, 1999).

Le groupe de chercheurs Arnault *et al.* (2021) a récemment montré que les sucres sont impliqués dans la modification de la signature chimique des pommiers à travers leurs composés organiques volatils (COV). Ils ont montré que différents types et quantités de COV étaient émis par des plantes traitées avec des sucres (comme le fructose ou le saccharose à 100 ppm). En outre, les sucres provoquent d'importantes modifications biochimiques à la surface des pommes, entraînant une résistance systémique rapide, qui empêche probablement les larves de *C. pomonella* de reconnaître les fruits, de s'y nourrir et de s'y enfoncer. Les larves pénètrent alors peu profondément dans le fruit, ce qui réduit le nombre d'attaques actives. Il en résulte soit un arrêt des dégâts, soit une cicatrisation.

2.2.3. Effet des traitements au sorbitol sur les chrysalides et les larves collectées dans les bandes de pièges

Au cours de trois années d'études, 2017, 2018 et 2019, les comptages de larves et chrysalides séquestrées et logées par bandage des troncs d'arbre des variétés Royal Gala et Golden Delicious ont révélé des nombres très élevés dans les parcelles de témoins non traitées.

La pulvérisation foliaire de pommiers, des deux variétés Royal Gala et Golden Delicious, réalisée dans le verger d'Ain Touta en 2017, avec du sorbitol à la dose de 100ppm a permis de réduire le nombre de larves et de nymphes à un niveau très faible par rapport aux autres doses de sorbitol « 0,1, 1, et 10ppm ».

Les traitements au saccharose, fructose, glucose ou sorbitol, à 100ppm chacun des arbres des deux variétés Royal Gala et Golden Delicious, dans les essais menés en 2018, ont permis de réduire significativement le nombre total de larves et nymphes capturées dans les bandes-pièges par rapport au témoin. Ces résultats sont identiques à ceux obtenus par Meradi (2015), qui a montré que la pulvérisation foliaire d'arbres de la variété Starkrimson avec du fructose ou du saccharose à 100ppm

Partie expérimentale

a permis de réduire le nombre de larves et de nymphes par rapport aux arbres témoins. En revanche, **Tiffrent (2023)** n'a pas trouvé de différences significatives entre les modalités " Témoin, glucose 100 ppm et fructose 100 ppm " pour le nombre total de larves et de chrysalides sur Golden Delicious, alors qu'il a observé des différences significatives entre ces modalités sur la variété Royal Gala, au cours de la campagne 2019/2020.

Nous avons constaté que le nombre de larves femelles et mâles était similaire et significativement supérieur au nombre de nymphes pour toutes les modalités, y compris le témoin, dans les essais menés **en 2018 et 2019**, quels que soient la variété et le verger d'étude. Ces résultats sont en accord avec ceux trouvés par **Tiffrent (2023)** sur le cultivar Golden en 2019 et sur le cultivar Royal gala en 2021. Ce résultat a également été obtenu par **Hmimina (2015)** dans une étude réalisée au Maroc, dans la région d'Azrou, sur une période de deux ans (2013-2014). Il a enregistré une véritable égalité entre les larves mâles et femelles capturées dans des bandes pièges placées sur 1710 arbres appartenant aux trois variétés Golden delicious, Red delicious et Royal gala.

Les expérimentations menées **en 2019** dans les vergers d'Ain Touta et de Chelia, et sur les variétés Royal Gala et Golden Delicious, ont montré que le traitement au sorbitol à 100ppm seul réduisait le nombre moyen de larves et de nymphes, capturées dans les bandes pièges, et qu'en combinaison avec un insecticide à la dose recommandée D1 ou à la dose réduite D2, le nombre total de larves et de nymphes était fortement réduit, voire complètement éliminé (dans le verger de Chelia, sur Royal Gala). Cela indique que les stratégies de lutte à base de sorbitol ont réduit de manière significative la population de carpocapse. Comme l'explique **Hmimina (2015)** : "Une réduction des populations hivernales suivie d'un contrôle de la première génération est plus que suffisante pour protéger les vergers".

Plusieurs études ont démontré une réduction du nombre de larves et de nymphes capturées dans les bandes pièges à la suite d'une pulvérisation foliaire à base de sucres sur les pommiers (**Meradi, 2015 ; Nasri, 2015 ; Arnault et al., 2016, Brahim et al., 2018 ; Tiffrent, 2023**).

Partie expérimentale

2.2.4. Comparaison entre les deux variétés de pommes au cours des années 2017, 2018 et 2019

Les résultats ont montré que le verger d'Ain Touta présentait des niveaux très élevés d'infestation par *C. pomonella* en **2017** et **2018**, allant de 77 à 79 % pour Royal Gala et de 80 à 83 % pour Golden Delicious. Les dégâts causés par le carpocapse dans les vergers non gérés peuvent varier entre 45 et 84% (**Unlü et Esenali, 2021**), et ce niveau d'infestation peut varier considérablement en fonction du cultivar (**Joshi et al., 2016 ; Wearing, 2020 ; Mahi et al., 2021**).

Une étude récente menée au Maroc, étudiant la sensibilité de 12 variétés de pommes au *C. pomonella*, signale que les variétés à maturation tardive et semi-précoce sont plus touchées que les variétés à maturation précoce. Ils ont indiqué que les variétés à maturation tardive telles que « Golden Smoothee et Golden Delicious » et la variété à maturation semi-précoce « Gala » présentaient les taux de dommages les plus élevés (91%, 87% et 78%, respectivement) par rapport aux variétés à maturation précoce telles que « Anna et Dorsett », pour lesquelles les dommages ne dépassaient pas 20 % (**Akrout et al., 2023b**). Une autre étude de **Meni Mahzoum et al. (2017)** a montré que les trois variétés testées - Golden Delicious, Royal Gala et Starking Delicious - étaient toutes vulnérables aux attaques du carpocapse. Cependant, le carpocapse a montré une préférence pour la Golden Delicious par rapport à la Royal Gala et à la Starking Delicious.

En **2017 et 2018**, Royal Gala et Golden Delicious ont présenté le même schéma de dommages. La forte densité de population de *C. pomonella* au cours de ces deux années pourrait expliquer ce phénomène.

La différence entre les deux variétés en termes de dégâts et d'infestation par *C. pomonella* a été observée en **2019**, aussi bien sur le site chaud (Ain Touta) que sur le site froid (Chelia). La variété Golden Delicious a été la plus attaquée avec un pourcentage moyen de 64% dans le verger d'Ain Touta et 32% dans le verger de Chelia, par rapport à la variété Royal Gala qui a montré un faible pourcentage de dégâts de l'ordre de 39% et 15% dans les vergers d'Ain Touta et de Chelia, respectivement.

Selon **Hmimina (2015)**, les variétés de pommes sont soumises à la même menace "aérienne", mais certaines sont plus ciblées que d'autres par les attaques de carpocapse sur les fruits. La sensibilité des variétés de pommes au carpocapse peut être influencée par plusieurs facteurs, notamment le profil aromatique des pommes, leurs émissions volatiles (**Vallat et Dorn, 2005 ; Wearing, 2020**) et les paramètres physicochimiques et biochimiques des fruits (**Akrout et al., 2023a,b**). Une expérience menée aux Etats-Unis pour évaluer la sensibilité de 10 cultivars de pommes à la ponte par *C. pomonella* a montré que les femelles préféraient pondre sur la variété Golden Delicious qui mûrissait

Partie expérimentale

plus tard que sur la variété Gala qui mûrissait plus tôt (**Joshi et al., 2015**). L'étude menée par **Hmimina (2015)** a également montré que la variété 'Golden Delicious' était plus infestée que la variété 'Royal Gala'. **Coracini et al. (2004)** et **Kaisoon, (2021)** ont montré que les composés volatils libérés par les pommes varient considérablement d'une variété à l'autre et augmentent lorsque le fruit mûrit. Ces composés peuvent agir comme des attractifs, stimulant l'alimentation et la ponte, tandis que d'autres peuvent avoir des propriétés répulsives, dissuadant le papillon de pondre des œufs et de se nourrir sur le fruit (**Hern et Dorn, 1999, 2004**).

Il a été démontré que les cultivars de pommes peuvent produire différents types et quantités de composés volatils, y compris le farnésène E, E-alpha, un stimulant important impliqué dans la sélection des hôtes par les carpocapses adultes (femelles) et les larves néonates (**Vallat et Dorn, 2005 ; Wearing, 2020**), ce qui peut entraîner une sensibilité différente aux attaques de *C. pomonella* (**Akroute et al., 2023a,b**).

D'autres paramètres tels que la fermeté, le poids et le diamètre des pommes influencent l'attaque du carpocapse et sa préférence pour certaines variétés (**Akrout et al., 2023b**). La pubescence des feuilles peut également jouer un rôle dans la sélection des plantes-hôtes. **Wearing (2020)** ont montré que les cultivars de pommes avec moins de poils, comme la Golden delicious, permettent aux femelles de pondre plus d'œufs.

2.2.5. Effet des traitements à base de sorbitol 100 ppm sur les deux variétés de pommes en 2017, 2018 et 2019.

En **2017** et **2018**, dans des situations de forte pression (verger Ain Touta), le sorbitol a permis une protection satisfaisante contre le carpocapse, et similaire entre les deux variétés, de 50 à 52% pour Golden Delicious et Royal Gala respectivement, en 2017 et de 48 à 53% pour Golden et Gala respectivement, en 2018.

Cependant, **en 2019**, dans le verger à pression moyenne de carpocapse (**Ain Touta**) et dans le verger à faible pression (**Chelia**), nous avons enregistré des différences dans la réponse des variétés testées. La Royal Gala a mieux répondu à la pulvérisation de 100 ppm de sorbitol (63% à 78%) que la Golden Delicious (32% à 51%). **Ferré (2008)** a également noté une variabilité entre les variétés testées, suite à des traitements au saccharose à 10 ppm, l'efficacité Abbott pour la variété Golden Delicious atteignant 61,90%, avec Royal Gala l'efficacité était surprenante à 100%, tandis qu'avec Mondial Gala, l'efficacité était de 37,89%. De leur côté, **Ferré et al. (2008)** ont montré que le fructose à 100 ppm réduisait la ponte du carpocapse et les dégâts dans un verger de pommiers, avec une efficacité d'environ 62,5 % sur la variété Royal Gala et de 36,01 % sur la variété Golden

Partie expérimentale

Delicious, et de seulement 19,52 % sur Mondial Gala. **Ondet *et al.* en 2019** ont confirmé le même résultat, que la variété Royal Gala répondait mieux que Golden Delicious aux traitements de saccharose et de fructose à 100 ppm.

Les différences observées entre les variétés pourraient être liées à la perméabilité cuticulaire, qui est spécifique à la plante (espèce, genre, variété) (**Derridj, 2010**). La perméabilité cuticulaire joue un rôle fondamental dans la perception des sucres dans la plante. Les sucres pénètrent par les stomates, qui régulent les échanges gazeux et la pression osmotique. La perméabilité des produits dépend de la densité des stomates, qui varie en fonction du cultivar et de la surface des feuilles (**Arnault *et al.*, 2021**). De plus, les différences entre cultivars pourraient s'expliquer par des différences d'informations chimiques à leur surface, ce qui pourrait avoir un effet sur le comportement des insectes (**Derridj, 2009**).

Les résultats obtenus au cours des trois années de l'étude ont montré que l'efficacité du sorbitol à une concentration de 100 ppm dépendait du niveau de la population de carpocapse. L'efficacité du sorbitol a été bonne en 2017 et 2018 lorsque la population était élevée, meilleure en 2019 lorsque la population était moyenne (verger Ain Touta) et bien meilleure quand la population était faible (verger Chelia). Ceci est en accord avec les conclusions d'**Ondet *et al.* (2019)** et d'**Arnault *et al.* (2021)**. Ils ont trouvé des résultats intéressants avec les traitements à base de sucre, qui étaient plus efficaces à des niveaux moyens à faibles de population de carpocapse, qu'à des niveaux élevés, quelle que soit la variété traitée.

Conclusion et perspectives

Au cours de ce travail, des essais ont été réalisés en 2017 dans un verger de pommiers à Ain Touta sur Golden Delicious et Royal Gala pour déterminer la dose de sorbitol la plus efficace. Des essais ont été réalisés en 2018 dans le même verger et sur les deux variétés pour comparer le sorbitol avec d'autres sucres (glucose, saccharose et fructose), et des essais ont été réalisés en 2019 sur les mêmes variétés dans le verger d'Ain Touta et dans un verger à Chelia pour évaluer l'effet de la combinaison du sorbitol avec un traitement chimique et la possibilité de réduire la dose de ce produit phytosanitaire. Les principaux résultats de ces essais sont les suivants :

- Parmi les doses testées, à savoir 0,1, 1, 10 et 100 ppm, la dose la plus efficace de sucre-alcool "sorbitol" était de 100 ppm. Cette dose a permis de réduire significativement les dommages causés par *C. pomonella*, sur les deux variétés testées Royal Gala et Golden Delicious.
- La pulvérisation foliaire de sucres solubles (saccharose, fructose ou glucose) ou de sucre-alcool (sorbitol) à 100 ppm chacun a significativement réduit les dégâts causés par *C. pomonella*. Le sorbitol a été plus efficace que le glucose, le saccharose et le fructose sur Royal Gala, tandis que sur Golden Delicious, le sorbitol a été aussi efficace que le fructose et plus efficace que le saccharose et le glucose.
- Quel que soit le niveau d'infestation par le carpocapse, la variété, l'année ou la région étudiée, les arbres traités avec 100 ppm de sorbitol ont présenté de faibles dégâts larvaires sur les fruits, qu'ils soient sur l'arbre ou tombés au sol, par rapport aux témoins non traités.
- L'association du sorbitol à 100 ppm avec l'insecticide chimique Deltaméthrine offre un effet synergique et un gain d'efficacité supérieur à l'insecticide seul et au sorbitol seul dans les vergers moyennement à faiblement infestés par le carpocapse, verger de Ain Touta et Chelia respectivement.
- Indépendamment de la zone, de la variété ou de l'année d'étude, les arbres témoins présentaient un pourcentage très élevé d'attaques actives par rapport aux attaques stoppées et cicatrisées. Par contre, la pulvérisation foliaire des pommiers avec les sucres solubles "sucrose, glucose ou fructose" à 100 ppm chacun, ou avec le sucre-alcool "sorbitol" à 100 ppm, seul ou en combinaison avec un insecticide chimique, a permis de réduire significativement les dégâts actifs, et la plupart des dégâts larvaires enregistrés sur ces arbres étaient de type cicatrisé ou stoppé.

Conclusion et perspectives

- Le traitement au sorbitol seul a permis de réduire significativement le nombre moyen de larves diapausantes et de nymphes par rapport au témoin, quelle que soit la région, la variété ou l'année. Lorsque le sorbitol est combiné à un insecticide à base de deltaméthrine à la dose recommandée ou à la moitié de la dose recommandée, les nymphes sont complètement éliminées et le nombre de larves diapausantes capturées dans les bandes de pièges est fortement réduit.
- Le verger d'Ain Touta a présenté des niveaux très élevés de *C. pomonella* en 2017 et 2018. Les variétés Royal Gala et Golden Delicious ont été touchées de manière similaire. Toutefois, en 2019, la Golden Delicious a été plus appréciée par le carpocapse que la Royal Gala, aussi bien dans le verger modérément infesté (Ain Touta) que dans le verger faiblement infesté (Chelia),
- En 2017 et 2018, en conditions de forte pression (verger Ain Touta), le sorbitol à 100 ppm a permis une protection satisfaisante contre le carpocapse et similaire entre les deux variétés, Royal Gala et Golden Delicious. En revanche, en 2019, dans un verger à pression moyenne de carpocapse (verger d'Ain Touta) et dans un verger à faible pression (verger de Chelia), des différences de réponse des variétés testées ont été enregistrées, Royal Gala répondant mieux à la pulvérisation de sorbitol à 100 ppm que Golden Delicious.

Ces résultats ont montré que la pulvérisation foliaire de métabolites primaires (sucres solubles ou polyols) à des infra-doses de l'ordre du ppm induit chez le pommier une résistance systémique vis-à-vis du carpocapse, ravageur particulièrement difficile à contrôler. Cette induction dépend du sucre, de sa dose et de la variété.

Les sucres pulvérisés en infra-doses à la surface de la plante constituent des signaux systémiques qui déclenchent dans la plante des réactions en chaîne conduisant à la résistance à l'insecte. Ces mécanismes interviennent à la fois avant l'attaque, par la reconnaissance de l'hôte par l'insecte à la surface de la plante, et pendant l'attaque, par l'activation de voies de défense dans la plante. Les sucres agissent donc comme une sorte de "**Vaccin**", capable d'activer le "**Système immunitaire**" de la plante pour qu'une plante initialement sensible à un bioagresseur devienne résistante.

Les sucres peuvent être utilisés en combinaison avec des pesticides chimiques dans le cadre d'une stratégie de lutte intégrée contre les ravageurs, ce qui permet de réduire les doses de produits

Conclusion et perspectives

chimiques. De plus, les traitements à base de sucre sont moins coûteux que les traitements chimiques et présentent d'autres avantages :

- Agissent seulement en quelques heures (signal rapide) et effets pendant plusieurs jours ;
- Ne sont pas toxiques et non persistants à la surface des plantes et dans l'environnement ;
- Molécules naturelles et reproductibles ;
- Larges possibilités d'utilisation : Bio-agresseurs (champignons, insectes, nématodes) et cultures (pérennes, annuelles, monocotylédones et dicotylédones) ;
- Agissent par systémie où les parties non pulvérisées sont également protégées ;
- Faciles à intégrer dans les itinéraires techniques ;
- Efficaces à de très faibles doses qui ne peuvent pas provoquer directement la prolifération des micro-organismes ;
- et ne présentent aucun risque pour le manipulateur (allergies).

Les perspectives proposées dans cette étude sont les suivantes :

- Développer cette technologie et l'intégrer dans la gestion des cultures, en priorité dans les situations où de nouvelles solutions sont urgentes.
- L'appliquer à d'autres cultures (arboriculture, horticulture, grandes cultures et viticulture) et contre d'autres bioagresseurs.
- Expérimenter d'autres métabolites primaires (mono-, di- ou oligosaccharides, polyols, acides aminés, etc.).
- Étudier les combinaisons de sucre avec des doses chimiques plus faibles, comme un tiers ou un quart de la dose de référence.
- De comprendre les mécanismes impliqués en utilisant des outils de diagnostic moléculaire pour déterminer les voies de défense activées par les sucres, en particulier les voies de l'acide jasmonique, de l'acide salicylique et de l'éthylène.
- D'utiliser cette méthode dans la sélection variétale en identifiant les gènes régulés dans l'induction de la résistance par les sucres, ce qui permettra de sélectionner des variétés plus résistantes et/ou plus inductibles.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Abbott WS., 1925.** A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, 18: 265-267.
- Abdesselam Z., 2016.** Utilisation des sucres et virus de la granulose pour la lutte contre le carpocapse (*Cydia pomonella* L.) (Lepidoptera, Tortricidae) en verger de pommier situé dans la région d'Inoughissen (W. Batna). Thèse Magist. Sc. Agr.Univ. Batna1, 71 p.
- Akroute D., EL Iraqui S. et EL Houssaini, 2023 (a).** Sensibilité de différentes variétés de pommier vis-à-vis du carpocapse *Cydia pomonella* L. *INRA Meknès Magazine*, 5p.
- Akroute D., Douaik A., Habbadi K., ElBakkali A., Ben Bouazza A., Benkirane R., El Iraqui E. et El Houssaini S., 2023 (b).** Influence of Some Fruit Traits on Codling Moth (*Cydia pomonella* L.) Preference among Apple Varieties in Two Contrasted Climatic Conditions. *Horticulturae*, 9 (7):788.
- Amat C., Prasad R. et Gemenio C., 2024.** Ovipositional responses of tortricid moths to sugars, salts and neem oil. *Scientific Reports* 14: 1677.
- Arnault I., 2015.** Utilisation de micro-doses de sucres en protection des plantes - Projet Usage. Colloque recherche, 14 et 15 Octobre 2015, CETU Innophyt, Université de Tours, France.
- Arnault I., Chovelon M. et Derridj S., 2012.** Preliminary tests in field conditions of alternatives substances against grape downy mildew in organic farming. In: Working Group Biological control of fungal and bacterial plant pathogens. Biocontrol of plant pathogens in sustainable agriculture, Reims, France: 24-27.
- Arnault I., Bardin M., Ondet S., Furet A., Chovelon M., Kasprick A.C., Marchand P., Clerc H., Davy M., Roy G., Romet L., Auger J., Mançois A. et Derridj S., 2015.** Utilisation de micro-doses de sucres en protection des plantes. *Innovations Agronomiques*, 46 : 1-10.
- Arnault I., Lombarkia N., Joy-Ondet S., Romet L., Brahim I. Meradi R., Nasri A., Auger J. et Derridj S., 2016.** Foliar application of microdoses of sucrose to reduce codling

Références bibliographiques

- moth *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera: Tortricidae) damage to apple trees. Pest Management Science, 72 (10): 1901-1909.
- Arnault I., Zimmermann M., Furet A., Chovelon M., Thibord J.B. et Derridj S., 2018.** Fructose and sucrose as priming molecules against pathogens and pests? Induced Resistance in Plants Against Insects and Diseases IOBC-WPRS Bulletin, 135:110-112.
- Arnault I., Aveline N., Bardin M., Brisset M.N., Carriere J., Chovelon M., Delanoue G., Furet A., Frérot B., Lambion, J., Ondet S., Marchand P., Desmoucaux N., Romet L., Thibord J.B. et Trouvelot S., 2021.** Optimisation des stratégies de bio contrôle par la stimulation de l'immunité des plantes avec des applications d'infra-doses de sucres simples, Innovations Agronomiques, 82 : 411-423.
- Arthurs S., Lacey L. et Behle R., 2006.** Evaluation of spray-dried lignin-based formulations and adjuvants as solar protectants for the granulovirus of the codling moth, *Cydia pomonella* (L). Journal of Invertebre Pathology, 93(2): 88-95.
- Aubry O., 2008.** Lutte attracticide et lâchers inondatifs de trichogrammes contre le carpocapse de la pomme, *Cydia pomonella* (Lepidoptera : Tortricidae). Mémoire de Maitrise en Biologie, Université De Québec, 103p.
- Aydoğan D. et Ünlü L., 2019.** Determination of Population Development and Infestation Rates of Codling Moth [*Cydia pomonella* (L.) (Lep.: Tortricidae)] in Apple Orchards in Konya Province. Selcuk Journal of Agricultural and Food Sciences, 33 (1): 45-51.
- Baric B., Pajac I. et Grubisic D., 2008.** The current issue codling moth control in the Croatian apple orchards, p. 190. In Proceedings, the 7th international conference on integrated fruit production, 27-30 October 2008, Avignon, France.
- Benhamou N. et Rey P., 2012.** Stimulateurs des défenses naturelles des plantes : une nouvelle stratégie phytosanitaire dans un contexte d'écoproduction durable. II. Intérêt des SDN en protection des cultures. Phytoprotection, 92: 24-35.
- Bernays E A. et Chapman R F., 1994.** Behavior: the process of host-plant selection, pp 95-108. In: Miller T.A. et van Emden H S. Host-plant selection by phytophagous insects. Ed. Chapman et Hall. New York, 201 p.

Références bibliographiques

- Berüter J., Studer feusi M.E. et Rüedi P., 1997.** Sorbitol and sucrose partitioning ingrowing apple fruit. *Journal of plant physiology*, 151: 269-276.
- Birch ANE., Robertson WM. et Fellows LE., 1993.** Plant products to control plant parasitic nematodes. *Pesticide Science*, 39: 141-145.
- Boivin T. et Sauphanor B., 2005.** Modélisation de la phénologie du carpocapse des pommes : Vergers. *Phytoma-La Défense des végétaux*, 581: 25-27.
- Bolouri Moghaddam M.R. et Van den Ende W., 2012.** Sugars and plant innate immunity. *Journal of Experimental Botany*, 63 (11): 3989-3998.
- Bolouri Moghaddam MR. et Van den Ende W., 2013.** Sweet immunity in the plant circadian regulatory network. *Journal of Experimental Botany* 2013, 64: 1439-1449.
- Bonnemaison M., 1961.** Les ennemis animaux des plantes cultivées et des forêts. Ed. SEP., Paris, 605p.
- Bradley SJ. et Suckling DM., 1995.** Factors influencing codling moth larval response to α -farnesene. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 75: 221-227.
- Brahim I., 2010.** Étude du comportement du ponte du carpocapse de (*Cydia pomonella* L.) (Lepidoptera : Tortricidae) sur deux variété de pommier. Mémoire de Magister, Agronomie, Univ. Batna1, 131p.
- Brahim I. et Lombarkia N., 2018.** L'utilisation des sucres de commerce pour lutter contre le carpocapse des pommes et des poires (*Cydia pomonella*L.) dans la région de Lambiridi (W. de Batna, Algérie). *Research and innovation as tools for sustainable agriculture, food and nutrition security*: 46-53.
- Brévault T., Quilici S., 2007.** Influence of habitat pattern on orientation during host fruit location in the tomato fruit fly, *Neoceratitis cyanescens*. *Bulletin of entomological research*, 97(6): 637-642.
- Briens M. et Larher F., 1983.** Sorbitol accumulation in Plantaginaceae; further evidence for a function in stress tolerance. *Zpflanzenphysiol*, 110: 447-458.
- Cabanat I., 1999.** Étude du comportement de recherche du site alimentaire par les chenilles néonates de *Cydia pomonella* L. lépidoptère ravageur des pommes et des poires en

Références bibliographiques

relation avec les médiateurs biochimiques présents à la surface des organes végétaux du pommier. Mémoire de DEA. 25 p.

Calatayud PA., Sauvion N., Thiéry D., Rebaudo D. et Jacquin-Joly E., 2013. Interactions plantes-insectes. IRD Éditions, Marseille, 749 p.

Calatayud PA., Rebebaudo F., Ahuya P., Le RuB., 2020. Light and dark rhythms of pupal eclosion and egg hatching in tropical stem borers' moths. *Phytoparasitica*, 48 (3): 415-425.

Casado D., 2007. *Cydia pomonella* (L.) behavior and responses to host volatiles. Universitat de Lleida. Thèse de Doctorat. Disponible en ligne: <http://hdl.handle.net/10803/8365>.

Catalogue pommes, 2021. Variétés de pommes. Disponible sur le site https://www.pep-hprovence.com/_DOCS/Catalogues/catalogue%20pommes.pdf [Consulté le : 12/12/2023].

Chapman RE., 2003. Contact chemoreception in feeding by phytophagous insects. *Annual Review of Entomology*, 48: 455-84.

Charmillot PJ., Hofer D. et Pasquier D., 2000. Attract and kill : a new method for control of the codling moth *Cydia pomonella*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 94(2): 211-216.

Chen LQ., Hou BH., Lalonde S., Takanaga H., Hartung ML., Qu XQ., Guo WJ., Kim JG., Underwood W. et Chaudhuri B., 2010. Sugar transporters for intercellular exchange and nutrition of pathogens. *Nature*, 468: 527–532.

Chen LQ., Qu XQ., Hou BH., Sosso D., Osorio S., Fernie AR. et Frommer WB., 2012. Sucrose efflux mediated by SWEET proteins as a key step for phloem transport. *Science*, 335: 207-211.

Chen L., Huang XX., Zhao SM., Xiao DW., Xiao LT., Tong JH., Wang WS., Li YJ., Ding Z et Hou BK., 2020. IPyA glucosylation mediates light and temperature signaling to regulate auxin-dependent hypocotyl elongation in *Arabidopsis*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117: 6910-6917.

Références bibliographiques

- Cheng L., Zhou R., Reidel E.J., Sharkey T.D., Dandekar A.M., 2005.** Antisense inhibition of sorbitol synthesis leads to up-regulation of starch synthesis without altering CO₂ assimilation in apple leaves. *Planta*, 220: 767–776.
- Choudhary A., Nirmaljit Kaur A. et Kaur H., 2022.** Molecular cues of sugar signaling in plants. *Physiologia Plantarum*, 174 (1): 1-20.
- Chouinard, G., 2011.** Réseau d'avertissements phytosanitaires. Pommier, Avertissement (8) : 27 mai 2011.
- Chowanski S., Kudlewska M., Marciniak P. et Rosinski G. 2014.** Synthetic insecticides-Is there an alternative? *Polish Journal of Environmental Studies*, 23: 291-302.
- Conrath U., Beckers GJ., Flors V., García-Agustín P. Jakab G., Mauch F., Newman MA., Pieterse CMJ., Poinssot B., Pozo MJ., Pugin A., Schaffrath U., Ton J., Wendehenne D., Zimmerli L. et Mauch-Mani B., 2006.** Priming: Getting ready for battle. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 19: 1062-1071.
- Coracini M., Bengtsson M., Liblikas I. et Witzgall P., 2004.** Attraction of codling moth males to apple volatiles. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 110 (1): 1-10.
- Cormier D., Pelletier F., Vanoosthuyse F., Chouinard G., Bellerose S. et Aubry O., 2015.** Lutter contre le carpocapse de la pomme par l'utilisation de nouveaux moyens à risque réduit. Journée pomicole provinciale. Mont-Saint Grégoire.
- Curtis CF., Tebbets JS. et Clarch JD., 1990.** Ovipositional behaviour of the codling moth on stone fruit in the field and an improved oviposition cage for use in the laboratory. *Journal of Economic Entomology*, 83: 131-134.
- Davis TS., Garczynski SF.; Stevens Rumann C. et Landolt PJ., 2013.** A test of fruit varieties on entry rate and development by neonate larvae of the codling moth, *Cydia pomonella*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 148: 259-266.
- Demaret J., 2017.** Infra dose de sucres Contre le carpocapse des pommes. *Arbo. Bio. Infos.*, 217: 1-2.
- Deravel J., Krier F. et Jacques F., 2014.** Les biopesticides, compléments et alternatives aux produits phytosanitaires chimiques. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 18(2) :220-232.

Références bibliographiques

- Derridj S., 1996.** Nutrients on the leaf surface (pp 25-42). In Morris CE., Nicot PC. et Nguyen C. Ed. Aerial and plant surface microbiology, Plenum Press, New York, 294p.
- Derridj S., 2009.** L'induction de la résistance à des phyto-agresseurs par des infra dose des sucres : une nouvelle technologie. Journées fruits et légumes. ITAB (paris) : 9-14.
- Derridj S., 2010.** Conditions d'application des sucres comme inducteurs de résistance des plantes aux phyto-agresseurs. Journée technique, fruits et légumes biologiques. France, 8 p.
- Derridj S., 2013.** Induction de résistances de la plante contre des bio-agresseurs une nouvelle technologie reposant sur l'application d'infra-doses de sucres solubles. Journées Substances Naturelles en Protection des cultures 9-10 Avril 2013.
- Derridj S. et Borges A., 2006.** Apple tree resistance against an insect pest by an elicitor (ASM). Investigations by analyses of the leaf surface metabolites of the tree sites. IOBC/WPRS, Bulletin 29 (8): 9-13.
- Derridj S., Lombarkia N. et Wu BR., 1999.** Biochemicals from the apple tree organ surfaces and oviposition of *Cydia pomonella* (Lepidoptera, Olethreutidae). First Asia Pacific Conference on Chemical Ecology for Asian Agriculture and Forestry, 1-4 November, Shanghai, China: 124-246.
- Derridj S., Grégoire v., Boutin J.P. et Fiala V., 1989.** Plant growth stages in the interspecific oviposition preference of the european corn borer and relations with chemicals present on the leaf surfaces. Entomologia Experimentalis et Applicata, 53: 267-276.
- Derridj S., Arnault I., Lombakia N., Ferre E., Galy H., Lambion J. et Auger J., 2011.** Les sucres solubles utilisés comme inducteurs de résistance de la plante aux bio-agresseurs. Quatrième conférence internationale sur les méthodes alternatives en protection des cultures, Lille - 8, 9, 10 mars 2011: 383-388.
- Derridj S., Elad Y. et Birch A.N.E., 2012 (a).** Sugar signaling as a new way for vegetable and fruit induced resistance against insects, pathogens and nematodes. Induced resistance in plants against insects and diseases. IOBC. WPRS, 83: 127.
- Derridj S., Lombarkia N., Garrec J.P., Galy H. et Ferré E., 2012 (b).** Sugars on leaf surfaces used as signals by the insect and the plant: implications in orchard protection against

Références bibliographiques

- Cydia pomonella* L. (Lepidoptera, Tortricidae). In: Moths: types, ecological significance and control. Ed. Cauteruccio L., Nova Science Publishers: 1-38.
- De Vos M., Van Oosten VR., Van Poecke RMP., Van Pelt JA., Pozo MJ., Mueller MJ., Buchala AJ., Metraux JP., Van Loon LC., Dicke M. et Pieterse CMJ., 2005.** Signal signature and transcriptome changes of Arabidopsis during pathogen and insect attack. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 18: 923-937.
- De Waal JY., MALAN AP. et Addison MF., 2011.** Efficacy of entomopathogenic nematodes (Rhabditida: Heterorhabditidae and Steinernematidae) against codling moth, *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) in temperate regions. *Biocontrol Science Technology* 21 :1161- 1176.
- Dianzinga NT. 2020.** Diversité des communautés d'arthropodes et efficacité de la lutte biologique contre les insectes ravageurs. Thèse de Doctorat en Biologie des populations et Ecologie, CIRAD - Université de La Réunion, 185p.
- Dicke M., Van Poecke RMP., De Boer JG., 2003.** Inducible indirect defence of plants: from mechanisms to ecological functions *Basic and Applied Ecology*, 4(1): 27–42.
- D.S.A. 2023 (a).** Statistiques agricoles sur la pomiculture. Direction des services agricoles de Khenchela. Disponible sur : <https://www.algerie-eco.com/production-de-pommes/>[Consulté le : 10/12/2023].
- D.S.A. 2023 (b).** Statistiques agricoles sur la pomiculture. Direction des services agricoles de Batna. Disponible sur : <https://www.algerie-eco.com/production-de-pommes/>[Consulté le : 10/12/2023].
- Dufresne MP. et Boulanger A., 2022.** Arboriculture. *Bulletin de Santé du Végétal, Ecophyto* (30), 16p.
- Egger B., Kambor J., La Forgia D. et Kuske S., 2022.** Carpocapse des pommes et des poires *Cydia pomonella*. Agroscope Fiche technique 146, 2p.
- Eom JS., Chen LQ. Sosso D., Julius BT., Lin IW., Qu XQ. Braun DM. et Frommer WB., 2015.** SWEETs, transporters for intracellular and intercellular sugar translocation. *Current Opinion in Plant Biology*, 25:53-62.

Références bibliographiques

- Erb M., Meldau S. et Howe G., 2012.** Role of phytohormones in insect-specific plant reactions. *Plant Science*, 17(5): 250-259.
- Escobar-Gutiérrez AJ., 1995.** Photosynthèse, partition du carbone et métabolisme du sorbitol dans les feuilles adultes de pêcher (*Prunus persica* (L) Batsch). Thèse de Doctorat, Université de Poitiers, France. Disponible sur <http://www.theses.fr/1995POIT2273> [Consulté le : 05/12/2020].
- Escobar-Gutiérrez AJ et Gaudillère JP., 1994.** Variabilité in sorbitol: sucrose ratios in mature leaves of different peach cultivars. *Journal of the American Society for Horticultural*, 119: 321-324.
- Escobar-Gutiérrez AJ., Carbone F. et Gaudillère JP., 1994.** Apoplastic sucrose and sorbitol metabolism in peach leaves. In: *Plant Sciences 1994*, Kouchkovsky Y. et Larher F., Ed. Soci. Fr.Phys.Vég., Paris, 128p.
- Escobar-Gutiérrez AJ. et Gaudillère JP., 1996.** Distribution, métabolisme et rôle du sorbitol chez les plantes supérieures. *Agronomie*, 16(5) : 281-296.
- FAO Stat, 2023.** Statistics Division. Productions agricoles, cultures primaires. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponible: <https://www.fao.org/statistics>[Consulté 9/12/2023].
- Ferré E., 2008.** Utilisation de sucre pour l'optimisation de la lutte contre (*Cydia pomonella* L.) (Lepidoptera : Tortricidae) en vergers de pommiers. Mémoire Ingénieur en Agronomie Université Toulouse, 73p.
- Ferré E., Galy H., Moulin F., Clement G et Derridj S., 2008.** Le saccharose inducteur de résistance du pommier contre *Cydia pomonella* L. 8^{ème} Conf. Int. Agric. Montpellier (France) : 1-8.
- Fiala V., Boutin JP., Barry P. et Derridj S., 1993.** Les métabolites de surface foliaire (phylloplan) : présence et rôle dans les relations plante-insecte. *Acta Botanica Gallica*, 40: 207-216.
- Finch S. et Collier RH., 2000,** Host-plant selection by insects - a theory based on 'appropriate/inappropriate landings' by pest insects of cruciferous plants. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 96: 91-102.

Références bibliographiques

- Finney DJ., 1971.** Analyse Probit. Cambridge University Press, Cambridge, 333 p.
- Formela-Luboińska M., Chadzinikolau T., Drzewiecka K., Jelen H., Bocianowski J., Kesy J. Labudda M., Jeandet P. et Morkunas I., 2020.** The Role of Sugars in the Regulation of the Level of Endogenous Signaling Molecules during Defense Response of Yellow Lupine to *Fusarium oxysporum*. International Journal of Molecular Sciences, 21: 4133.
- Fuchs B., Kuhnert E. et Krauss J., 2020.** Contrasting effects of grass-endophyte chemotypes on a tri-trophic cascade. Journal of Chemical Ecology, 46: 422-429.
- Furet A., 2019.** Des infradoses de sucres en protection du vignoble. La Luciole, Bulletin des pratiques bio en Auvergne-Rhône-Alpes, 262 : 24-25.
- Gaffney T., Friedrich L., Vernooij B., Negrotto D., Nye G., Uknes S., Ward E., Kessmann H. et Ryals J., 1993.** Requirement of salicylic acid for the induction of systemic acquired resistance. Science 261: 754-756.
- Gangola M P. et Ramadoss BR., 2018.** Sugars play a critical role in abiotic stress tolerance in plants (pp17-38). In: Wani SH., ed. Biochemical, Physiological and Molecular Avenues for Combating Abiotic Stress in Plants, Amsterdam: Elsevier.
- Giordanengo N., 2004.** Ravageurs des cultures, agents de contrôle et lutte biologique et intégrée. Ed. Jules et Verne. Paris, 94 p.
- Gómez-Ariza J., Campo S., Rufat M., Estopà M., Messeguer J., San Segundo B. et Coca M., 2007.** Sucrose-mediated priming of plant defense responses and broad-spectrum disease resistance by overexpression of the maize pathogenesis-related PRms protein in rice plants. Molecular Plant-Microbe Interactions 20 (7):832-842.
- Guarnizo N., Oliveros D., Murillo-Arango W. et Bermúdez-Cardona M., 2020.** Oligosaccharides: Defense inducers, their recognition in plants, commercial uses and perspectives. Mol., 25: 5972.
- Guignard et Dupont, 2004.** Botanique : systématique moléculaire. Ed. Masson, Paris: 164-179.
- Hammann E., Blevins C., Franks SJ., Jameel MI., Anderson JT., 2021.** Climate change alters plant-herbivore interactions. New Phytologist, 229: 1894-1910.

Références bibliographiques

- Hammond-Kosack KE. et Jones JDG., 2000.** Response to plant pathogens (pp 1102–1157). In Buchannan B., Gruissem W. et Jones R. Biochemistry and Molecular Biology of Plants. Ed. MD American Society of Plant Physiologists.
- He S. et Krainer KMC., 2020.** Pandemics of people and plants: which is the greater threat to food security? *Molecular Plant*, 13: 933-934.
- Heil M., 2008.** Indirect defence via tritrophic interactions. *New Phytologist*, 178: 41-61.
- Heil M., Ibarra-Laclette .E, Adame-Álvarez RM., Martínez O., Ramirez-Chávez E., Molina-Torres J. et Herrera-Estrella L., 2012.** How plants sense wounds: damaged-self recognition is based on plant-derived elicitors and induces octadecanoid signaling. *PLoS One* 7: e30537.
- Heitz T., 2018.** Réguler le régulateur : comment le métabolisme de l'acide jasmonique impacte l'induction des défenses chimiques des plantes. *Planet-Vie*, disponible sur le site <https://planet-vie.ens.fr/thematiques/vegetaux/phytopathologie> [Consulter le : 10/01/2024].
- Hern A. et Dorn S., 1999.** Sexual dimorphism in the olfactory orientation of adult *Cydia pomonella* in response to α -farnesene. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 92:63-72.
- Hern A. et Dorn S., 2004.** A female-specific attractant for the codling moth, *Cydia pomonella*, from apple fruit volatiles. *Naturwissenschaften* 91:77–80.
- Hmimina M., 2007.** Les ravageurs des arbres fruitiers, le carpocapse des pommes et de poires. *Bulletin Mensuel d'Information*, 158: 1-4.
- Hmimina M., 2015.** Distribution des larves hivernantes de *Cydia pomonella* L (Lep.Tortricidae) sur les troncs d'arbres de trois variétés de pommier d'un verger commercial à Azrou. *Revue Marocaine de Protection des Plantes*, 7: 43-50.
- Iqbal N., Fatma M., Gautam H., Umar S., Sofo A., D'ippolito I., et Khan NA., 2021.** The crosstalk of melatonin and hydrogen sulfide determines photosynthetic performance by regulation of carbohydrate metabolism in wheat under heat stress. *Plants* 10:1778.

Références bibliographiques

- Jacquot M. et Wright J. 2019.** Réseau d'essais participatifs « plantes et vignes » au pays de la Clairette sur les alternatives au cuivre. Rapport technique d'expérimentation, V19AURA0332, 6p.
- Jeandet P., Formela-Luboińska M., Labudda M. et Morkunas L., 2022.** The Role of Sugars in Plant Responses to Stress and Their Regulatory Function during Development. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(9): 5161.
- Jeffree CE., 1986.** The cuticle, epicuticular waxes and trichomes of plants, with reference to their structure, functions and evolution (pp 23-64). In Juniper B. et Southwood R.. *Insects and the plant surface*, Ed. Arnold, London.
- Jetter R., Schâffer S. et Riederer M., 2000.** Leaf cuticular waxes are arranged in chemically and mechanically distinct layers: evidence from *Prunus laurocerasus* L. *Plant, Cell & Environment*, 23: 619-628.
- Jones WE., Brunner JF. et Faubion D., 2004.** Guide to codling moth damage identification. Washington state university, 2p.
- Jones RAC. et Naidu RA., 2019.** Global dimensions of plant virus diseases: current status and future perspectives. *Annual Review of Virology*, 6: 387-409.
- Joshi NK., Rajotte EG., Myers CT., Krawczyk G. et Hull LA., 2015.** Development of a susceptibility index of apple cultivars for codling moth, *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae) oviposition. *Frontiers in Plant Sc.*, 6: 1-13.
- Ju D., Mota-Sanchez D., Fuentes-Contreras E., Zhang YL., Wang XQ. et Yang XQ., 2021.** Insecticide resistance in the *Cydia pomonella* (L): Global status, mechanisms, and research directions. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 178: 104925.
- Ju D., Hu C., Li P, Gao P, Li Y et Yang XQ., 2023.** A common mechanism of detoxification for lambda-cyhalothrin and abamectin in *Cydia pomonella*. *CABI Agriculture et Biosciences*, 4: 52.
- Ju D., Liu Y., Liu X., Dewer Y., Mota-Sanchez D. et Yang XQ.. 2023.** Exposure to lambda-cyhalothrin and abamectin drives sublethal and transgenerational effects on the development and reproduction of *Cydia pomonella*. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 252:114581.

Références bibliographiques

- Kaisoon M., 2021.** Susceptibility of Different Apple Varieties to Codling Moth (*Cydia pomonella*) and the Factors That Influence the Infestation Level. Mster's Thesis, Norwegian Univ. of Life Sciences, Disponible <https://hdl.handle.net/11250/2986033>[Consulté le: 15/03/2022].
- Kanno H. et Harris MO., 2000.** Physical features of grass leaves influence the placement of eggs within the plant by the Hessian fly. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 96: 69-80.
- Kashirskaya N., Kuzin A. et Kochkina A., 2021.** Biological efficiency of plant protection products to control codling moth on apple immune cultivars. *International Scientific Conference*, 34, 5p.
- Keunen E., Peshev D., Vangronsveld J., Van Den Ende W. et Cuypers A., 2013.** Plant sugars are crucial players in the oxidative challenge during abiotic stress: extending the traditional concept *Plant, Cell & Environment*, 36(7):1242-1255.
- Kheyri F., Taheri P. et Jafarinejad-Farsangi S., 2022.** Thiamine and Piriformospora indica induce bean resistance against *Rhizoctonia solani*: The role of polyamines in association with iron and reactive oxygen species, *Biological control*, 172: 104955.
- Klassen W. et Curtis C., 2005.** History of the sterile insect technique *Sterile Insect Technique*: 3-36.
- Kliot A. et Ghanim M., 2012.** Fitness costs associated with insecticide resistance. *Pest Management Science*, 68(11) : 1431-1437.
- Koçi R, Dupuy F, Lebbar S, Gloaguen V, Faugeron Girard C., 2022.** A New Promising Plant Defense Stimulator Derived from a By-Product of Agar Extraction from *Gelidium sesquipedale*. *Horticulturae*, 8(10): 958.
- Korn M., Peterek S., Mock HP., Heyer AG. et Hinch DK., 2008.** Heterosis in the freezing tolerance, and sugar and flavonoid contents of crosses between *Arabidopsis thaliana* accessions of widely varying freezing tolerance. *Plant, Cell & Environment*, 31(6): 813–827.
- Lafaoun JP., Tharaud-Payer C. et Levy G., 1996.** *Biologie des plantes cultivées*. 2ème Edition. Tome 1. Organisation et physiologie de la nutrition. Ed. Tec et Doc. Paris, 227 p.

Références bibliographiques

- Lafargue I. et Bourgoïn B., 2015.** Les vergers de pommiers dans l'enquête sur les pratiques phytosanitaires en arboriculture. Surveillance, prévention, lutte alternative limitent les traitements. Agreste Aquitaine, 92, 6p.
- Lambion J. et Mazollier C., 2016.** Protection de la tomate en culture biologique sous abris : du sucre contre *Tuta absoluta*. MARAICHAGE BIO INFO, 89:1-2.
- Lambion J. et Arnault I., 2019.** Les sucres contre la mineuse de la tomate, Projet Casdar SWEET, 4 p.
- Lamers J., Van Der Meer T. et Testerink C., 2020.** How plants sense and respond to stressful environments. *Plant Physiol.*, 182: 1624-1635.
- Landolt PJ., Brumley JA., Smithhisler CL. et al, 2000.** Apple fruit infested with codling moth are more attractive to neonate codling moth larvae and possess increased amounts of (E,E)- α -farnesene. *Journal of Chemical Ecology*, 26:1685-1699.
- Larsson S., 2002.** Resistance in trees to insects - an overview of mechanisms and interactions. Mechanisms and Deployment of Resistance in Trees to Insects (pp 1-29). In Wagner MR., Clancy KM, Lieutier F. et Paine TD., Academic Publishers, Netherlands.
- Lee SC. et Luan S., 2012.** ABA signal transduction at the crossroad of biotic and abiotic stress responses. *Plant, Cell & Environment*, 35: 53-60.
- Li C., Williams MM., Loh YT., Lee GI et Howe GA., 2002.** The octadecanoid-signaling pathway regulates resistance of cultivated tomato to cell content feeding herbivores. *Plant Physiology*, 130: 494-503.
- Li C., Liu Y., Tian J., Zhu Y. et Fan J., 2020.** Changes in sucrose metabolism in maize varieties with different cadmium sensitivities under cadmium stress. *PLoS ONE* 2020, 15: e0243835.
- Li L., Liu KH. et Sheen J., 2021.** Dynamic Nutrient Signaling Networks in Plants. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*, 37: 341–367.
- Li Z., Ouyang L., Wu Q., Peng Q., Zhang B., Qian W., Liu B. et Wan F., 2024.** Cuticular proteins in codling moth (*Cydia pomonella*) respond to insecticide and temperature stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 270: 115852.

Références bibliographiques

- Lieutier F., Giordanengo F., Dugravot S. et Cortesero AM., 2013.** Défenses induites (pp 407-422). In Giordanengo P. et Rahbé Y., 2013. Défense des plantes contre les insectes. Se défendre sans pouvoir s'échapper. Ed. IRD, 425p.
- Lombarkia N. et Derridj S., 2002.** Incidence of apple fruit and leaf surface metabolites on *Cydia pomonella* oviposition. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 104:79-87.
- Lombarkia N. et Derridj S., 2008.** Resistance of apple trees to *Cydia pomonella* egg laying due to leaf surface metabolites. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 128: 57-65.
- Lombarkia N., Ioriatti C. et Derridj S., 2005.** Effect of Madex® (granulovirus) on *Cydia pomonella* L. egg laying and larval damages on two apple varieties- Relationships with plant surface metabolites. *Bulletin IOBC*, 28 (7): 419-422.
- Losel PM., Penners G., Potting RPJ., Ebbinghaus D., Elbert A., et Scherckenbeck J., 2000.** Laboratory and field experiments towards the development of an attract and kill strategy for the control of the codling moth, *Cydia pomonella*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 95: 39-46.
- Mabberley DJ., Jarvis CE. et Juniper BE., 2001.** The name of the apple. *Telopea*, 9(2) : 421-430.
- Maher N., Thiery D. et Städler E., 2006.** Ponte d'œufs par *Lobesia botrana* est stimulé par glucides détectés par les chimiorécepteurs de contact. *Entomologie physiologique*, 31: 14-22.
- Mahi T, Harizia A., Benguerai A, Canelo T. et Bonal R., 2021.** Assessment and forecast of damages caused by *Cydia pomonella* in apple orchards of Northern Africa (Algeria). *Bulletin of Insectology* 74(1): 139-146.
- Mauch-Mani B., Baccelli I., Luna E. et Flors V., 2017.** Defense priming: An adaptive part of induced resistance. *Annual Review of Plant Biology*, 68: 485–512.
- Meng D., Li C., Park H., González J., Wang J., Dandekar A., Turgeon B. et Cheng L., 2018.** Sorbitol modulates resistance to *Alternaria alternata* by regulating the expression of an NLR resistance gene in apple. *Plant Cell* 30: 1562-1581.

Références bibliographiques

- Meni Mahzoum A., Lazraq A., EL Ghadraoui L., Rais C. et 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.
- Meni Mahzoum A., Louahlia S., El Ghadraoui L., Rochdi M., Lazraq A., 2018.** Dynamics of codling moth larvae (*Cydia pomonella* L.) in three varieties of apple (*Malus domestica* Borkh.) in the region of Aït Sbaa (Morocco). Journal of Materials and Environmental Sciences, 2018, 9 (5): 1512-1517.
- Meradi R., 2015.** Utilisation des sucres et virus de la granulose pour la lutte contre le carpocapse (*Cydia pomonella* L.) (Lepidoptera, Tortricidae) en verger de pommier situé dans la région de Lambiridi (Wilaya de Batna). Mémoire de Magister en Sciences Agronomiques, Univ. Batna 1, 84 p.
- Mewis L., Ulrich C. et Schnitzler WH., 2002.** The role of glucosinolates and their hydrolysis products in oviposition and host-plant finding by cabbage webworm. *Hellula undalis*. Entomologia Experimentalis et Applicata, 105: 129-139.
- Mijailovic N., Nesler A., Perazzolli M., Aït Barka E. et Aziz A., 2021.** Rare Sugars: Recent Advances and Their Potential Role in Sustainable Crop Protection. Molecules, 26 (6): 1720.
- Miletic N., Tamas N. et Graora D., 2011.** The control of codling moth in apple trees. Zemdirbystė Agriculture, 98: 213-218.
- Mochizuki S., Fukumoto T., Ohara T., Ohtani K., Yoshihara A., Shigematsu Y., Tanaka K., Ebihara K., Tajima S., Gomi K., Ichimura K., Izumori K. et Akimitsu K., 2020.** The rare sugar D-tagatose protects plants from downy mildews and is a safe fungicidal agrochemical. Communications Biology, 3(1): 423.
- Moing A, Carbonne F, Rashad MH, Gaudillère JP., 1992.** Carbon fluxes in mature peach leaves. Plant Physiology, 100: 1878-1884.
- Moinina A., Lahlali R. et Boulif M., 2019.** Important pests, diseases and weather conditions affecting apple production: Current state and perspectives. Revue marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires, 7: 71-87.

Références bibliographiques

- Morel M., Chouinard G. et Bellerose S., 2013.** Méthodes alternatives de protection des pommiers. Principales méthodes applicables pour le jardin domestique et la pomiculture commerciale. IRDA, 142p.
- Morgan B., 2022.** 13 Apple Tree Pests: How to Get Rid of and Prevent Them on Apple Trees. Minneopa Orchards. Disponible sur : <https://minnetonkaorchards.com/about/> [Consulté le : 12/12/2023].
- Morin Y., Cormier D. et Chouinard G., 2015.** Le carpocapse de la pomme. Guide de référence en Production Fruitière Intégrée, Fiche 76, 7p.
- Morkunas I. et Ratajczak L., 2014.** The role of sugar signaling in plant defense responses against fungal pathogens. *Acta Physiologiae Plantarum*, 36: 1607-1619.
- Morkunas I., Bednarski W. et Kozłowska M., 2004.** Response of embryo axes of germinating seeds of yellow lupine to *Fusarium oxysporum*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 42: 493-499.
- Morkunas I., Marczak L., Stachowiak J. et Stobiecki M., 2005.** Sucrose stimulated accumulation of isoflavonoids as a defense response of lupine to *Fusarium oxysporum*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 43: 363–373.
- Morkunas I., Narożna D., Nowak W., Samardakiewicz W. et Remlein-Starosta D., 2011.** Cross-talk interactions of sucrose and *Fusarium oxysporum* in the phenylpropanoid pathway and the accumulation and localization of flavonoids in embryo axes of yellow lupine. *Journal of Plant Physiology*, 168: 424-433.
- Nasri A., 2015.** Utilisation des sucres et virus de la granulose pour la lutte contre le carpocapse (*Cydia pomonella* L.) (Lepidoptera, Tortricidae) en verger de pommier situé dans la région d'Ain-touta (Wilaya de Batna). Mémoire de Magister en Sciences Agronomiques. Univ. Batna 1, 79p.
- Nosarzewski M., Downie AB., Wu B. et Archbold DD., 2012.** The role of SORBITOL DEHYDROGENASE in *Arabidopsis thaliana*. *Functional Plant Biology*, 39: 462-470.
- Ohlendorf BL., 1999.** Integrated Pest Management for Apples and Pears. Ed. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, Oakland, 1999, 214p.

Références bibliographiques

- Ondet S.J., 2018.** Infra-doses de sucre pour limiter les dégâts de carpocapse sur pommier : retour de 6 années d'expérimentations en vergers bio. Arbo Bio Info, Focus 235, 4p.
- Ondet S.J. et Roux M., 2012.** Stratégie de maîtrise du carpocapse du pommier par infra doses de sucre. Arboriculture. Bio. Infos 2012, 2p
- Ondet S.J., Romet L. et Arnault I., 2019.** Les sucres contre le carpocapse du pommier, Projet Casdar SWEET, 4 p.
- O'Rourke D., 2003.** World production, trade, consumption and economic outlook for apples (pp15-29). In Ferre DC. et Warrington I.(Eds.), Apples: Botany, Production and Uses CAB Int., Wallingford, UK.
- Orozco-Mosqueda MdC., Santoyo G. et Glick BR., 2023.** Recent Advances in the Bacterial Phytohormone Modulation of Plant Growth. Plants, 12(3):606.
- Osei-Owusu, J., Vuts J., Caulfield JC, Woodcock CM., Withall DM., Hooper AM., Osafo-Acquaah S. et Birkett MA., 2020.** Identification of Semiochemicals from Cowpea, *Vigna unguiculata*, for Low-Input Management of the Legume Pod Borer, *Maruca vitrata*. Journal of Chemical Ecology., 46: 288-298.
- Oukabli A., Chahbar A., Laghezali M., Lahlou M., Amahrach M. et Quennou, M., 2001.** Evaluation de la qualité pomologique des fruits d'une collection de pommes. AI Awamia, 103: 39-49.
- Pasquier C., 2018.** Monitoring de *Cydia pomonella* en vergers de noyers. Comparaison de l'efficacité de différentes modalités de piégeage, 18P. Disponible sur <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/fr/> [Consulté : 12/03/2019].
- Patrick J.W., Botha F.C. et Birch R.G., 2013.** Metabolic engineering of sugars and simple sugar derivatives in plants. Plant Biotechnology Journal, 11:142-156.
- Pérez Mora WH., Castillejo M.A., Novo J.J., Melgarejo L.M. et Ardila H.D., 2024.** Thiamine-induced resistance in carnation against *Fusarium oxysporum* f. sp dianthi and mode of action studies based on the proteomics analysis of root tissue, Scientia Horticulturae, 323: 112549.

Références bibliographiques

- Perren S., Schöneberg A., Inderbitzin J., Kellerhals M. et Schmid M., 2018.** Nouvelles variétés de pommes à valeur ajoutée. *Revue suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture*, 50 (2): 120-126.
- Pieterse CMJ., Van der Does D., Zamioudis C., Leon-Reyes A. et Van Wees SCM., 2012.** Hormonal modulation of plant Immunity. *Annual Review of Cell and Developmental Biology* 28: 489-521.
- Pitcairn MJ., Zalom FG., Bentley WJ., 1990.** Weather factors influencing capture of *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) in pheromone traps during overwintering flight in California. *Environmental Entomology*, 19(5): 1253-1258.
- Price J., Laxmi A., St Martin SK. et Jang JC., 2004.** Global transcription profiling reveals multiple sugar signal transduction mechanisms in *Arabidopsis*. *Plant Cell*, 16: 2128-2150.
- Proels RK. et Hückelhoven R., 2014.** Cell-wall invertases, key enzymes in the modulation of plant metabolism during defence responses. *Molecular Plant Pathology*, 15: 858-864.
- Pszczolkowski MA., 2023.** Prospects of Codling Moth Management on Apples with Botanical Antifeedants and Repellents. *Agriculture*, 13: 311.
- Ramaswamy S., 1988,** Host finding by moths: sensory modalities and behaviours. *Journal of Insect Physiology*, 34:235-49.
- Ramel F., Sulmon C., Gouesbet G. et Couée I., 2009.** Natural variation reveals relationships between pre-stress carbohydrate nutritional status and subsequent responses to xenobiotic and oxidative stress in *Arabidopsis thaliana*. *Annals of Botany*, 104(7): 1323-137.
- Ricci B., 2009.** Dynamique spatiale et dégâts de carpocapse dans la basse vallée de la Durance. Université d'Avignon: 89-109.
- Ritcher R., Leisso R., Mendrey K., Miller Z., 2021.** Backyard Guide to Codling Moth Management. MSU Montana State University Extension. Disponible sur: <<https://apps.msuextension.org/guide.html?sku=MT202106A>>[consulté le : 02/07/2021].

Références bibliographiques

- Roessingh P., Hora K., Van Loon JJA. et Menken SBJ., 1999.** Evolution of gustatory sensitivity in *Yponomeuta caterpillars*: sensitivity to the stereo-isomers dulcitol and sorbitol is localised in a single sensory cell. *Journal of Comparative Physiology*, 184: 119-126.
- Roessingh P., Hora K., Ying Fung S., Peltenburg A. et Menken SB., 2000.** Host acceptance behaviour of the small ermine moth *Yponomeuta cagnagellus*: larvae and adults use different stimuli. *Chemoecology*10: 41-47.
- Rolland F., Baena-Gonzalez E. et Sheen J, 2006.** Sugar sensing and signaling in plants: Conserved and novel mechanisms. *Annual Review of Plant Biology*, 57: 675-709.
- Rosenheim JA., Johnson MW., Mau RFL., Welter ST. et Tabashnik BE., 1996.** Biochemical Preadaptations, Founder Events, and the Evolution of Resistance in Arthropods. *Journal of Economic Entomology*,89 (2): 263-273.
- Saijo Y., Loo E., 2020.** Plant immunity in signal integration between biotic and abiotic stress responses. *Nieuw Phytologist*, 225: 87-104.
- Savary S., Willocquet L., Pethybridge SJ., Esker P., McRoberts N. et Nelson A., 2019.**The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nature Ecology & Evolution*, 3: 430-439.
- Savra A., Tarkowski LP., Janse van Rensburg HC., Deleye E., Vaerten J. ; De Storme N., Keulemans W. et Van den Ende W., 2020.** Sweet immune : L'effet des fructanes exogènes sur la sensibilité de la pomme (*Malus × domestica* Borkh.) à *Venturia inaequalis*. *International Journal of Molecular Sciences*, 21: 5885.
- Schoonhoven LM., Jermy T. et Van Loon JA., 1998.** Host-plant selection: When to accept a plant. In : *Insect-plant Biology. From physiology to evolution*. Ed. Chapman et Hall: 156-193.
- Schoonhoven LM., Loon JAV. et Dicke M., 2005.** Host-plant selection: when to accept a plant, In *Insect Plant Biology*, Ed. Oxford Academic: 135-168 [Consulté le 01/03/2022].
- Schuman MC. et Baldwin IT., 2016.** The layers of plant responses to insect herbivores. *Annual Review of Entomology*, 61: 373-394.

Références bibliographiques

- Severac G. et Romet L., 2009.** Vergers de pommiers, Alt'Carpo tend ses filets: Cette méthode alternative de lutte contre le carpocapse continue à se développer. *Phytoma-La Défense des végétaux*, 624 (25): 30-33.
- Sharma S., Kooner R. et Arora R., 2017.** Insect Pests and Crop Losses (pp 45-66). In: Arora R., Sandhu S.. Ed. *Breeding Insect Resistant Crops for Sustainable Agriculture*. Springer, Singapore.
- Sheng H., Zhang S., Wei Y. et Chen S., 2021.** Exogenous Application of Low-Concentration Sugar Enhances Brassinosteroid Signaling for Skotomorphogenesis by Promoting BIN2 Degradation. *International Journal of Molecular Science*. 22 (24): 13588.
- Silvy C. et Riba G., 1989.** Combattre les ravageurs des cultures : enjeux et perspectives. *Ed.Quae*: 291-365.
- Smeekens S., Ma J., Hanson J., Rolland F., 2010.** Sugar signals and molecular networks controlling plant growth. *Current Opinion in Plant Biology*, 13: 274-279.
- Soldaat LL., Boutin JP. et Derridj S., 1996.** Species specific composition of amino acids on leaf surface of four Senecio species. *Journal of Chemical Ecology*, 22: 1-12.
- Soltani N., Semir H. et Djebbar M., 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 (1) : 196-206.
- Städler E., 2002.** Indices chimiques végétaux importants pour la ponte des œufs par les insectes herbivores (pp 171-204). In : Hilker M. et Meiners T. (Eds.), *Chimiécologie des œufs d'insectes et de leur dépôt*. Éd. Blackwell, Berlin.
- Stammitti L., 1995.** Etude de la composition en métabolites primaires du phylloplan et des compartiments foliaires sources, l'apoplaste et le milieu intracellulaire. Importance de la barrière cuticulaire dans le passage des métabolites vers la surface foliaire. Thèse Doctorat en Biologie Végétale. Univ. Henri Poincaré-Nancy, 172p.
- Statistica, 2023.** Le portail statistique pour les données de marché. Disponible sur le site : <https://fr.statista.com/statistiques/571584/principaux-pays-producteur-de-pommes-dans-le-monde/> [Consulté le 12 Décembre 2023].

Références bibliographiques

- Stoeckli S., Hirschi M., Spirig C., Calanca P., Rotach W. et Samietz J., 2012.** Impact of climate change on voltinism and prospective diapause induction of a global pest insect *Cydia pomonella* (L.). PloS One, 7(4):35723.
- Thibord J.B. et Arnault I., 2019.** Les sucres contre la pyrale du maïs, Projet Casdar SWEET 2019, 4 p.
- Thiéry D. et Gabel B., 1993.** Inter-specific avoidance of egg-associated semiochemicals in four tortricids. Experientia, 49 : 998 -1001.
- Thiéry D., Derridj S., Calatayud PA., Maher N. et Marion-Poll F., 2013.** L'insecte au contact des plantes. In : Sauvion N., Calatayud PA., Thiéry D., Marion-Poll F. Interactions insectes- plantes. IRD Marseille (FRA), Versailles : IRD Editions : 347- 368.
- Thomas G., Rusman Q., Morrison WR., Magalhães DM., Dowell JA., Ngumbi E., Osei-Owusu J., Kansman J., Gaffke A., Pagadala Damodaram KJ., 2023.** Deciphering Plant-Insect-Microorganism Signals for Sustainable Crop Production. Biomolecules, 13(6):997.
- Tibebu B., 2018.** Defense Mechanisms of Plants to Insect Pests: From Morphological to Biochemical Approach. Trends in Technical & Scientific Research, 2(2): 30-38.
- Tiffrent A., 2023.** Induction de la résistance du pommier (*Malus domestica* Borkh.) par l'application foliaire des sucres pour la lutte contre le carpocapse des pommes et des poires, *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera, Tortricidae). Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques, Univ. Batna1, 79p.
- Ting Wu T., Wang Y., Zheng Y., Fei Z., Dandekar AM., Xu K., Han Z. et Cheng L., 2015.** Suppressing Sorbitol Synthesis Substantially Alters the Global Expression Profile of Stress Response Genes in Apple (*Malus domestica*) Leaves. Plant Cell Physiology 56(9): 1748-1761.
- Trouvelot S., Héloir M.C., Poinssot B., Gauthier A., Paris F., Guillier C., Combiér M., Trdá L., Daire X. et Adrian M., 2014.** Carbohydrates in plant immunity and plant protection: Roles and potential application as foliar sprays. Frontiers in Plant Science, 5: 592.

Références bibliographiques

- Turlings TCJ. et Wackers FL., 2004.** Recruitment of predators and parasitoids by herbivore-injured plants (pp 21-75). In Cardés RT. et Millar JG., Advances insect chemical ecology. Ed. Cambridge University Press.
- Unlü L. et Esenali UT., 2021.** Population Development and Infestation Rate of Codling Moth (*Cydia Pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae)) In Apple Orchards in Northern Kyrgyzstan. Journal of the Science of Food and Agriculture, 35(2):108-114.
- Vallat A. et Dorn S., 2005.** Changes in volatile emissions from apple trees and associated response of adult female codling moths over the fruit-growing season. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53(10): 4083-4090.
- Van Bel AE., 2003.** The phloem, a miracle of ingenuity. Plant, Cell & Environment, 26: 125-149.
- Van Bel AE. et Hess PH., 2008.** Hexoses as phloem transport sugars: the end of a dogma ? Journal of Experimental Botany, 59: 261-272.
- Van der Geest LP. et Evenhuis HH., 1991.** Tortricid pests: their biology, natural enemies and control. Ed. Elsevier Science, Amsterdam:765-774.
- Vogg G., Fischer S., Leide J., Emmanuel E., Jetter R., Levy AA. et Riederer M., 2004.** Tomato fruit cuticular waxes and their effects on transpiration barrier properties: functional characterization of a mutant deficient in a very-long-chain fatty acid B-ketoacyl-CoA synthase. Journal of Experimental Botany., 55(401):1401-1410.
- Vogler E., Rott AS., Gessler C. et Dorn S., 2010.** Comparison between volatile emissions from transgenic apples and from two representative classically bred apple cultivars. Transgenic Research, 19:77-89.
- Vrieling K. et Derridj S., 2003.** Pyrrolizidine alkaloids in and on the leaf surface of *Senecio jacobaea* L. Phytochemistry, 64: 1223-1228.
- Walgenbach J., 2014.** Codling moth. NC State Extension Publications. Disponible sur: <<https://content.ces.ncsu.edu/codling-moth>> [consulté le : 05/03/2021]
- Walker RP., Bonghi C., Varotto S., Battistelli A., Burbidge CA., Castellarin SD., Chen ZH., Darriet P., Moscatello S., Rienth M., Sweetman C. et Famiani F., 2021.** Sucrose Metabolism and Transport in Grapevines, with Emphasis on Berries and

Références bibliographiques

- Leaves, and Insights Gained from a Cross-Species Comparison. *International Journal of Molecular Sciences*, 22 (15): 7794.
- Wan F., Yin C., Tang R., Chen M., Wu Q. et Huang C., 2019.** A chromosome-level genome assembly of *Cydia pomonella* provides insights into chemical ecology and insecticide resistance. *Nature Communications*, 10(1): 4237.
- Wang D., Zhou L., Wang Q. et Ding J., 2020.** Plant Chemistry Determines Host Preference and Performance of an Invasive Insect. *Frontiers in Plant Science*, 11: 594663.
- Wearing CH., 2016.** Distribution characteristics of eggs and neonate larvae of codling moth, *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera: Tortricidae). *International Journal of Insect Science*, 8: 33-53.
- Wearing CH., 2020.** Distribution Characteristics of Eggs and Neonate Larvae of Codling Moth, *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae). *International Journal of Insect Science* 8(1), disponible sur le site <https://doi.org/10.1177/IJIS.S38>[consulté le : 22/11/2023].
- Wearing CH. et McLaren GF., 2001.** Evidence that sweet cherry, *Prunus avium* L. is not a host of codling moth, *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae). *Crop Protection*, 20(7): 571-579.
- Will T., Tjallingii WF., Thönnessen A. et van Bel AE., 2007.** Molecular sabotage of plant defense by aphid saliva. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 104 (25):10536-10541.
- Xu Q., Chen S., Yunjuan R., Chen S. et Liesche J. 2018.** Regulation of sucrose transporters and phloem loading in response to environmental cues. *Plant Physiol.*, 176: 930-945.
- Yan F., Bengtsson M., Makranczy G. et Löfqvist J., 2003.** Roles of α -Farnesene in the Behaviors of Codling Moth Females. *Naturforsch*, 58: 113-118.
- Yanagisawa S., Yoo SD. et Sheen J., 2003.** Differential regulation of EIN3 stability by glucose and ethylene signalling in plants. *Nature*, 425: 521-525.

Références bibliographiques

- Yang XQ. et Zhang YL., 2015.** Investigation of insecticide-resistance status of *Cydia pomonella* in Chinese populations. Bulletin of Entomological Research, 105(3):316-325.
- Yoon J., Cho L., Tun W., Jeon S. et An G., 2021.** Sucrose signaling in higher plants. Plant Science, 302 : 110703.
- Zhu JK., 2016.** Abiotic stress signaling and responses in plants. Cell, 167: 313-324.
- Zhu F., Cao MY., Zhang QP., Mohan R., Schar J., Mitchell M., Chen H., Liu F., Wang D. et Fu ZQ., 2024.** Join the green team: Inducers of plant immunity in the plant disease sustainable control toolbox. Journal of Advanced Research, 57:15-42.

ANNEXES

Annexe 1 : Situation géographique et vue générale du verger de Tazoult (essai réalisé en 2018)



Annexe 2 : Caractéristiques du verger de Tazoult

Caractéristiques	Verger de Tazoult
Situation géographique	Le verger est situé à 10 km à l'est du chef-lieu de la commune de Tazoult. Il se trouve en face de la route nationale n° 88, qui relie Batna à Timgad
Âge de la plantation Superficie	13 ans 1.74 ha
Type d'arbres Arbres de pommier	Pommier et olivier 370 arbres
Variété	Golden Delicious (100%)
Densité de plantation Labour	4 x 5m en hiver
Irrigation Taille	goutte à goutte en hiver
Fertilisation Désherbage	N.P.K (15.15.24) + fumier organique manuel
Programme de protection	les huiles blanches et la bouillie bordelaise
Traitement phytosanitaire de la parcelle d'étude	aucun

Résumé

Les glucides sont produits par la photosynthèse sous forme d'aldoses, de cétooses et de polyols, qui sont des métabolites primaires présents à la surface des feuilles des plantes et qui jouent un rôle dans la reconnaissance des ravageurs. Appliqués à faible dose à la surface de la plante, ces métabolites agissent comme des signaux perçus par l'insecte au contact et influencent ensuite son comportement dans la sélection de la plante-hôte pour l'oviposition. Ils agissent également comme des molécules élicitrices qui interagissent avec le réseau de signalisation hormonale qui régule le système immunitaire de la plante. Des pulvérisations foliaires de l'ordre de ppm de ces métabolites primaires induisent donc une résistance des plantes aux bioagresseurs les plus difficiles à contrôler, dont le carpocapse. Des essais en blocs complets randomisés ont été menés dans des vergers de pommiers pendant trois ans (2017 à 2019). Dix essais ont été menés pour évaluer la possibilité d'utiliser un sucre-alcool, le sorbitol, pour lutter contre le carpocapse sur deux variétés de pommes, Golden Delicious et Royal Gala, huit dans la région d'Ain Touta et deux à Chélia. Ces essais ont permis de déterminer la dose de sorbitol la plus efficace, de comparer le sorbitol avec des sucres solubles (glucose, saccharose et fructose), d'évaluer l'effet de la combinaison du sorbitol avec un traitement chimique (Deltaméthrine) et d'évaluer la possibilité de réduire la dose de ce produit chimique. Les résultats ont montré que pour les pommiers, la dose la plus efficace du sucre-alcool "sorbitol" pour réduire les dégâts causés par le carpocapse était de 100 ppm sur Golden Delicious et Royal Gala. Le sorbitol, le fructose, le saccharose et le glucose, à 100 ppm chacun, ont réduit l'infestation par *C. pomonella*, le sorbitol étant le plus efficace sur Gala, suivi par le fructose, le saccharose et enfin le glucose, tandis que sur Golden, le sorbitol et le fructose ont été les plus efficaces, suivis par le saccharose et le glucose. La combinaison du sucre alcool « Sorbitol » avec la modalité chimique « Deltaméthrine », a permis de réduire la dose d'insecticide jusqu'à 50 % tout en maintenant le même niveau d'efficacité.

Mots clés : *Cydia pomonella*, Pommier, Métabolites primaires, Sorbitol, Deltaméthrine, Résistance, Royal Gala, Golden Delicious.

Abstract

Glucides are produced by photosynthesis in the form of aldoses, ketoses and polyols, which are primary metabolites present on the surface of plant leaves and play a role in pest recognition. Applied in low doses to the plant surface, these metabolites act as signals perceived by the insect on contact and then influence its behaviour in the selection of the host plant for oviposition. They also act as elicitor molecules that interact with the hormonal signalling network that regulates the plant's immune system. Foliar sprays of the order of ppm of these primary metabolites therefore induce plant resistance to the most difficult to control pests, including codling moth. Randomised complete block trials were conducted in apple orchards over three years (2017 to 2019). Ten trials were carried out to assess the possibility of using a sugar-alcohol, sorbitol, to control codling moth on two apple varieties, Golden Delicious and Royal Gala, eight in the Ain Touta region and two in Chélia. These trials were used to determine the most effective dose of sorbitol, to compare sorbitol with soluble sugars (glucose, sucrose and fructose), to assess the effect of combining sorbitol with a chemical treatment (Deltamethrin) and to evaluate the possibility of reducing the dose of this chemical product. The results showed that for apple trees, the most effective dose of sugar-alcohol 'sorbitol' to reduce codling moth damage was 100 ppm on Golden Delicious and Royal Gala. Sorbitol, fructose, sucrose and glucose, at 100 ppm each, reduced *C. pomonella* infection, with sorbitol being most effective on Gala, followed by fructose, sucrose and finally glucose, while on Golden, sorbitol and fructose were most effective, followed by sucrose and glucose. Combining the sugar-alcohol "Sorbitol" with the chemical modality "Deltamethrin" reduced the insecticide dose by up to 50% while maintaining the same level of efficacy.

Key words: *Cydia pomonella*, Apple tree, Primary metabolites, Sorbitol, Deltamethrin, Resistance, Royal Gala, and Golden Delicious.

ملخص

يتم إنتاج الجلوسيدات عن طريق عملية التمثيل الضوئي على شكل ألدوز، كيتوز و بوليولات، وهي مستقلبات أولية موجودة على سطح أوراق النبات وتلعب دورًا في التعرف على الآفات. عند تطبيقها بجرعات منخفضة على سطح النبات، تعمل هذه المستقلبات كإشارات تستشعرها الحشرة عند ملامستها ثم تؤثر على سلوكها في اختيار النبات المضيف لوضع البيض. كما أنها تعمل كجزئيات مثيرة تتفاعل مع شبكة الإشارات التي تنظم الجهاز المناعي للنبات. وبالتالي فإن الرش الورقي بترتيب جزء في المليون من هذه المستقلبات الأولية يحفز مقاومة النبات لأصعب الآفات التي يصعب السيطرة عليها، بما في ذلك دودة التفاح. أجريت تجارب عشوائية كاملة في بساتين التفاح على مدى ثلاث سنوات (2017 إلى 2019). عشر تجارب تم إجراءها لتقييم إمكانية استخدام السكر الكحولي، السوربيتول، لمكافحة دودة التفاح على صنفين من التفاح، فولدن دليسيوز وروبال غالا، ثمانية في منطقة عين التوتة واثنان في شلية. استخدمت هذه التجارب لتحديد الجرعة الأكثر فعالية من السوربيتول، مقارنة السوربيتول مع السكريات القابلة للذوبان (الجلوكوز، السكروز والفركتوز)، وتقييم تأثير الجمع بين السوربيتول والمعالجة الكيميائية (الدلتامثرين) وإمكانية تخفيض الجرعة من هذا المنتج الكيميائي. أظهرت النتائج أنه بالنسبة لأشجار التفاح، كانت الجرعة الأكثر فعالية من "السوربيتول" لتقليل أضرار دودة التفاح هي 100 جزء في المليون على فولدن دليسيوز وروبال غالا. أدى السوربيتول، الفركتوز، السكروز والجلوكوز، عند 100 جزء في المليون لكل منهما، إلى تقليل العدوى بـ *Cydia pomonella*، حيث كان السوربيتول أكثر فعالية على غالا، يليه الفركتوز والسكروز وأخيرًا الجلوكوز، بينما على فولدن، كان السوربيتول والفركتوز أكثر فعالية، يليه السكروز. إن دمج السكر الكحولي "السوربيتول" مع المعالجة الكيميائية "الدلتامثرين" أدى إلى تقليل جرعة المبيد الحشري بنسبة تصل إلى 50% مع الحفاظ على نفس مستوى الفعالية.

الكلمات المفتاحية: *Cydia pomonella*، التفاح، المستقلبات الأولية، السوربيتول، الدلتامثرين، المقاومة، فولدن دليسيوز وروبال غالا.